21 del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA

60 ANIVERSARIO cujae

# PROGRAMA Y MEMORIAS
# CCIA 2024

ISBN: 978-959-261-635-6

21 del 25 al 29 de noviembre de 2024
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA

60 ANIVERSARIO cujae

# Programa General y Técnico

# CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA CUJAE

# 21 CCIA 2024

## Palacio de las Convenciones
## La Habana

**Del 25 de noviembre al**
**29 de noviembre de 2024**




Edición y revisión: Comité Organizador

## INDICE DE LA PROGRAMACIÓN TÉCNICA 21 CCIA.


| EVENTO | PROGRAMA | PÁGINA |
|---|---|---|
| XII Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica. (*CCIM 2024*) | General | 12 |
| | Memorias | 18 |
| I Simposio Internacional sobre Electromovilidad y Transición Energética (ELECTROMOVILIDAD 2024) | General | 392 |
| | Memorias | 396 |
| VII Congreso Internacional de Ingeniería Química, Biotecnológica y Alimentaria (*VII CIIQBA*) | General | 568 |
| | Memorias | 574 |
| VI Congreso de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (*CIIISI'2024*) | General | 1081 |
| | Memorias | 1087 |
| VI Congreso Internacional de Ingeniería Civil en Cuba (*VI CIIC*) | General | 1249 |
| | Memorias | 1257 |
| VI Congreso Internacional de Educación y Extensión Universitaria (*CEEU 2024*) | General | 1593 |
| | Memorias | 1600 |
| XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines (*XII SIIA*) | General | 2159 |
| | Memorias | 2172 |
| VII Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable (*MACDES 2024*) | General | 2550 |
| | Memorias | 2554 |
| XII Congreso Internacional de Telemática y Telecomunicaciones (*CITTEL 2024)* | General | 2702 |
| | Memorias | 2714 |
| XI Conferencia Internacional del Centro Europeo Latinoamericano de Logística. Proyectos Ecológicos (*CELALE*) | General | 3165 |
| | Memorias | 3167 |

*Estimados amigos y colegas:*

*Con motivo de la celebración de la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura en su XXI edición, 21 CCIA, la cual se realizará entre los días 25 y 29 de noviembre del presente año en el marco del 60 Aniversario de la inauguración de nuestra querida CUJAE, el Comité Organizador ha invitado a participar en la misma a la Comunidad Científica internacional.*

*En la última Convención realizada (20 CCIA, celebrada en el año 2022) tuvimos la oportunidad de contar con 130 especialistas procedentes de 20 países y organizaciones de Norte, Centro y Suramérica, del Caribe, Europa, África y Asia, que junto a los 737 delegados cubanos convirtieron la misma en un evento científico y cultural de Primer Nivel; esta edición estará conformada por 9 eventos científicos principales dentro de los cuales se celebrarán diferentes Talleres, Simposios y Foros colaterales: un total de 50 trabajos de especialistas extranjeros más otros 373 trabajos de especialistas cubanos, conforman un espectro científico y cultural que desde estos propios instantes auguran el éxito de la 21 Convención.*

*Esperamos que la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura de la CUJAE permita incrementar las acciones de colaboración en el marco del intercambio de las experiencias y resultados que serán expuestos por los representantes de las Universidades, Institutos de Investigaciones y Empresas de diferentes objetos sociales, pero todas relacionadas con la formación de las nuevas generaciones, el adelanto científico–técnico y el acervo cultural de nuestros respectivos países.*

*Es para toda la comunidad científica de la CUJAE un honor poder compartir con colegas y amigos de todo el mundo nuestras experiencias, recibirlos en nuestra Patria y ofrecerles la hospitalidad natural del pueblo cubano.*

*Esperamos disfruten su estancia en nuestro país, y en lo particular puedan admirar la maravillosa sede que son el Palacio de las Convenciones de la Habana y nuestra siempre querida ciudad.*

*Sin otro particular,*

*Atentamente,*




Firmado digitalmente por Martha Dunia Delgado Dapena (FIRMA)

*Dra. C. Martha Dunia Delgado Dapena*
*Rectora*

**COMITÉ ORGANIZADOR.**

**Presidente:** Dra. Martha Dunia Delgado Dapena

**Vicepresidente Primero:** Dr. Daniel Alfonso Robaina

**Vicepresidentes:**

Dra. Anaisa Hernández González
Dr. Osney Pérez Ones
Ing. Diego de los Ángeles Fernández Labrada
Ing. Yoimi Trujillo Reina
Dra. Ana Isabel González Santos
Dr. Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán

**Miembros:**

Dr. Gil Cruz Lemus (Secretario Ejecutivo)
Dr. Miguel Castro Fernández (Secretario Científico)
Dr. Ariel Santos Fuentefría
MSc. Danae Pigueiras Otero
Lic. Delvia Noris González Martínez
Dra. Ada Esther Portero
Dra. Nayma Cepero Pérez
Dr. Eduardo Sánchez Ansola
Dr. Antonio Aurelio Ferras Valcárcel
Lic. Ania Llano Gil
Dr. Rolando Serra Toledo
MSc. Gladys Eloina Mesa Palacios
MSc. Esther Ansola Hazday
OPC. Angel Salabarría Lay
Ing. Eduardo González Díaz

## INFORMACIÓN GENERAL

La acreditación se efectuará en el Palacio de las Convenciones entre el 25 de noviembre y el 28 de noviembre de 2024 desde las 09:00 horas hasta las 14:00 horas.

## SEDE

La sede del evento es el Palacio de Convenciones de La Habana, en cuyas instalaciones se celebrarán todas las sesiones de trabajo.

El acceso a sus áreas es a partir de las 08:30 a.m, y los participantes deben asistir con ropa ocasional de acuerdo con el protocolo de nuestros eventos.

## OFICINA DEL COMITÉ ORGANIZADOR



El Comité Organizador y el Comité Científico radican en la oficina 1102, ubicada en la planta alta.

## OFICINA DE INFORMACIÓN



Durante los días del evento, usted puede indagar sobre cuestiones del evento en el Buró de Información 1, ubicado en el vestíbulo principal del Palacio de Convenciones de La Habana (Petit Foyer). Teléfonos: 7208 7558, 7208 0450 y a través de la pizarra 7210 7100, extensiones 1210 y 1211.

## POSTA MÉDICA



La posta médica brinda sservicio durante todo el tiempo que sesione el evento. Está ubicada en la planta baja, local 617, teléfono: 7210 7100, extensión 617.



**BUROES DE TURISMO**

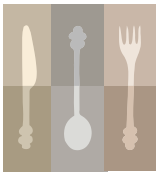
Los Buroes de Turismo radican en los diferentes hoteles donde se alojan los participantes, los que pueden solicitar reservaciones para visitar centros turísticos y otros lugares de interés.

**COMUNICACIONES**



El Centro de Negocios del Hotel Palco dispone de facilidades para el envío de fax, acceso a Internet, correo electrónico, impresión de documentos, fotocopias, y venta de periódicos en el horario de 08:30-17:00 horas.

**SERVICIOS GASTRONÓMICOS**



**Restaurante "El Bucán"**, situado en la planta baja, frente a la entrada principal, ofrecerá servicio de almuerzo a los participantes entre las 13:30 a 15:00 h.

**Snack Bars**, ubicados en la primera planta, ofrece sus servicios a partir de las 8:30 am.

**MEDIOS AUDIOVISUALES**

Las salas de conferencias disponen para las presentaciones de:





- **Proyector de datos**
- **Computadora**

Las presentaciones en CD, DVD, memorias USB y otros medios de almacenamiento masivo que contengan los trabajos, deben entregarlo los propios ponentes en la Oficina de Recepción de Medios Audiovisuales, ubicada junto al Buró de Información 1. La entrega se realizará un día antes de la presentación y en el horario en que se encuentre sesionando el evento.

## DISPOSICIONES GENERALES.

Las actividades científicas de la XXI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura serán las siguientes:

- Conferencias magistrales.
- Mesas redondas.
- Talleres.
- Exposición asociada.
- Feria expositiva

Todas las actividades tendrán una hora de inicio y terminación definidas en el Programa, las cuales deben ser cumplidas rigurosamente.

El Comité Organizador se reserva el derecho de modificar el Programa ante la eventual ausencia de algún ponente en los temas oficiales. Los ajustes al mismo se anunciarán en las primeras horas de cada mañana, en las salas en que se efectúen, y en la pizarra que se encuentre a la entrada de cada una de ellas.

Para lograr el adecuado desarrollo del programa, todos los participantes deberán estar en la sala 15 minutos antes del comienzo de la sesión.

**PROGRAMA GENERAL**
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
**21 CCIA 2024**

<table>
<tr><th></th><th colspan="5">Día</th></tr>
<tr><th>Horario</th><th>25</th><th>26</th><th>27</th><th>28</th><th>29</th></tr>
<tr><td>09:00-<br>11:00</td><td colspan="4">Acreditación</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">09:00-<br>13:00</td><td></td><td rowspan="2" colspan="3">Sesiones de trabajo, 09:00-13:00 horas</td><td></td></tr>
<tr><td>Acto inaugural<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas</td><td>Acto<br>Clausura<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas</td></tr>
<tr><td>13:00-<br>15:00</td><td></td><td colspan="3">Almuerzos<br>Restaurante El Bucán</td><td></td></tr>
<tr><td>14:00-<br>15:30</td><td>Buffet de<br>bienvenida<br>XXI CCIA<br>Restaurante<br>El Bucán<br>14:00 horas</td><td colspan="3"></td><td rowspan="3">Brindis de<br>despedida<br>XXI CCIA<br>Rest.<br>El Bucán<br>14:00- 17:00<br>horas</td></tr>
<tr><td>14:00-<br>17:00</td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Ceremonia<br>Condecoraciones,<br>14:00-16horas</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>18:00</td><td></td><td></td></tr>
</table>

**NOTA**: ST.- Sesiones de trabajo: Salas del Palacio de las Convenciones: 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14. Salas del Hotel Palco: Salón de Protocolo, Sala Conferencia, Sala Multipropósito. En paralelo a este programa se desarrolla una feria expositiva en el lobby del Palacio de Convenciones.

# PROGRAMA GENERAL

# XII Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica

# (CCIM 2024)

# PROGRAMA GENERAL
## XII Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica
## CCIM2024
## Del 25 al 29 de noviembre de 2024

<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Día/Day</td></tr>
<tr><td>Horario</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr>
<tr><td>09:00-<br>11:00</td><td colspan="4">Acreditación</td><td></td></tr>
<tr><td>09:00-<br>13:00</td><td>Acto inaugural<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas</td><td>Inauguración del Congreso. Conferencias magistrales y presentación de ponencias. Sala 9 y 13</td><td>Mesas redondas<br>Sala 9</td><td>Presentación de ponencias<br>Sala 9</td><td>Acto Clausura<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas</td></tr>
<tr><td>13:00-<br>15:00</td><td></td><td colspan="3">Almuerzos<br>Restaurante El Bucán</td><td></td></tr>
<tr><td>14:00-<br>15:30</td><td>Buffet de bienvenida<br>XXI CCIA<br>Restaurante<br>El Bucán<br>14:00 horas</td><td colspan="3"></td><td rowspan="3">Brindis de despedida<br>XXI CCIA<br>Rest.<br>El Bucán<br>14:00- 17:00 horas</td></tr>
<tr><td>14:00-<br>17:00</td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Ceremonia Condecoraciones,<br>14:00-16 horas</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>18:00</td><td></td></tr>
</table>

# PROGRAMA TÉCNICO

## XII Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica CCIM 2024

**Día:** 26 de noviembre **Sala: 9** **Sesión:** Mañana

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| Martes 26 de noviembre | | |
| 9:00-9:10 | 01 | **Palabras de apertura** |
| | | Dr. Deny Oliva Merencio (Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Presidente del Comité Organizador del CCIM2024) |

## XII Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento

**Día:** 26 de noviembre **Sala: 9** **Sesión:** Mañana

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 9:30-10:30 | 02 | Conferencia Magistral: “Tecnología de gestión de mantenimiento asistida por computadora: SGestMan, estado actual y futuro”. |
| | | M.Sc. José Antonio Rodríguez Ramírez (Inversiones Gamma S.A.) |
| 11:00-12:00 | 03 | Conferencia Magistral: “El mantenimiento actual y futuro en las entidades Biofarmacéuticas”. Ing. Orestes Treto Cárdenas (BioCubaFarma) |
| | | Ing. Orestes Treto Cárdenas (BioCubaFarma) |
| 12:30-13:30 | 04 | Conferencia Magistral: “El empleo de los aceites Castrol, usos, destinos y desarrollo”. |
| | | Especialistas y directivos de Castrol Cuba S.A. |

## Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica CCIM2024

**Día:** 26 de noviembre **Sala: 13** **Sesión:** Mañana

| Biomecánica y Biomateriales. Moderador: **Tania Rodríguez Moliner** | | |
|---|---|---|
| 9:15-9:25 | 05 | Data augmentation strategies for machine learning modelling of compressive strength of biomedical scaffolds |
| | | Alejandro González González |
| 9:30-9:40 | 06 | Biodegradation of Plastics by Alphitobius diaperinus Larvae **VIRTUAL** |
| | | Ana Luisa García **(Panamá)** |
| | | Análisis mediante el método elementos finitos de cajas |

| | | |
|---|---|---|
| 9:45-9:55 | 07 | intersomáticas fabricadas con poliéter-éter-cetona (PEEK) y Ti-6Al-4V |
| | | Camila del Carmen García Martínez |
| 10:00-10:10 | 08 | Análisis de fatiga en implantes maxilofaciales porosos |
| | | Carlos Rafael Figueroa Hernández |
| 10:15-10:25 | 09 | Diseño a partir de imágenes médicas usando técnicas de inteligencia artificial |
| | | Carlos Alberto Armand Márquez |
| 10:30-10:40 | 10 | Tratamientos de superficie en andamios de PLA: una revisión |
| | | Jesús Eduardo González-Ruíz |
| 10:45-10:55 | 11 | Finite element analysis of PLA-based porous structures for radial bone defects: a mechanical study |
| | | Brian J. Moya |
| 11:00-11:10 | 12 | Análisis de la marcha humana desde el método óptico |
| | | Melissa Martell Cabrera |
| 11:15-11:25 | 13 | Obtención de tornillos interferenciales y de anclaje por fabricación aditiva |
| | | Oscar Arencibia Díaz |
| 11:30-11:40 | 14 | Andamios electrohilados de gelatina tipo a: comparación entre gelatina no entrecruzada y entrecruzada |
| | | Reyniel Gómez González |
| 11:45-11:55 | 15 | Comparación entre métodos de filtrado recursivo en el filtrado de señales biomecánicas de la marcha |
| | | Alejandro Batista Taboada |
| 12:00-12:10 | 16 | Caracterización del patrón de marcha de un paciente pediátrico con pie caído |
| | | Antonio Falcón Gómez |
| 12:15-12:25 | 17 | Aplicación del método Cardan-Euler para determinar patrones de marcha humana |
| | | Alejandra Fernández González |
| Mecánica Aplicada y Tecnología<br>Moderador: **Mario Martínez López** | | |
| 12:30-12:40 | 18 | Metodología para el análisis y la síntesis de sistemas. investigaciones de aplicación |
| | | José Arzola Ruiz |
| 12:45-12:55 | 19 | Descomposición de la tarea de selección óptima de hornadas en la industria siderúrgica |
| | | José Arzola Ruiz |
| | | Desarrollo de material compuestos de tejido de fibras de |

| | | |
|---|---|---|
| 13:00-13:10 | 20 | henequén con matriz de PEBD |
| | | Daniel Díaz Batista |
| 13:15-13:25 | 21 | Demostración efectiva de resonancia mediante impresión 3D y mecánica computacional |
| | | J. Flores Méndez **(México)** |
| 13:30-13:40 | 22 | Diseño y simulación multicuerpos de plataforma para simulador de moto |
| | | Javier Guerra Miranda, Jaime González Albiza |
| 13:45-13:55 | 23 | Design and prototyping of an affordable mechanical ventilator for mass production in respiratory failure patients **VIRTUAL** |
| | | Jay Molino **(Panamá)** |
| 14:00-14:10 | 24 | Diseño y simulación de un sistema de alimentación utilizando herramientas CAD-CAM para obtener tochos por cera perdida en horno de inducción al vacío |
| | | Leandro Ramírez Acosta, Abel Fumero Pérez |

## XII Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento

**Día:** 27 de noviembre **Sala: 9** **Sesión:** Mañana

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 9:30-10:30 | 25 | Mesa Redonda: “Las Resoluciones No. 66 y No. 67 de 2021 del Ministerio de Industrias. Estado actual y futuro” |
| | | Ing. Leduan O. Hernández Celeiro (MINDUS) y Dr.C. Armando Díaz Concepción |
| 11:00-12:00 | 26 | Mesa Redonda: “La formación continua en la ingeniería y gerencia del mantenimiento, estado actual y desarrollo a futuro. El empleo de la Inteligencia Artificial en la enseñanza del mantenimiento”. |
| | | Dr.C. Armando Díaz Concepción, Dr.C. Jesús Cabrera Gómez, Dr.C. Evelio Palomino Marín y M.Sc. Rodolfo A. Parra Rojas, (BioCubaFarma) |
| 9:30-13:30 | 27 | Presentación de los trabajos, martes 26 y jueves 27 en modalidad Poster. Sala 9. |

# Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica
# CCIM2024

**Día:** 28 de noviembre **Sala: 9** **Sesión:** Mañana

| | | |
|---|---|---|
| Mecánica Aplicada y Tecnología<br>Moderador: **Mario Martínez López** | | |
| 9:00-9:10 | 28 | Tecnología de moldeo para tapa del reductor prominent empleando la impresión 3D<br>**VIRTUAL** |
| | | Yadisleydis La´o Hernández |
| 9:15-9:25 | 29 | Diseño y simulación de un reactor de alta velocidad para la aglomeración de minerales finos en presencia de óxido de polietileno (PEO) |
| | | Pablo Cabrera Ferrán **(Chile)** |
| 9:30-9:40 | 30 | Módulo de modelación para una arquitectura de monitoreo orientada a industria 4.0 |
| | | Ramón Quiza Sardiñas |
| 9:45-9:55 | 31 | Desarrollo de paneles acústico considerando estructuras<br>inspiradas en origami: análisis del efecto de la densidad de celdas |
| | | Jose Fernando Portilla Rosero, Wilfredo Montealegre Rubio<br>**(Colombia)** |
| 10:00-10.10 | 32 | Comparative analysis of mechanical and tribological performance of babbitt B83 alloy: gravity vs. centrifugal casting methods |
| | | Yuniel Ernesto Martínez Pérez |
| Energía<br>Moderador: **Joel Morales Salas** | | |
| 10:15-10:25 | 33 | Producción de metano a partir de suero de queso en sistemas anaerobios de una etapa y dos etapas |
| | | Ania Cabrera-Díaz |
| 10:30-10:40 | 34 | Selección de sistemas fotovoltaicos para el suministro eléctrico a centros de salud |
| | | José Augusto Medrano Hernández |
| 10:45-10:55 | 35 | Utilización del cálculo térmico normativo digitalizado en el análisis de regímenes complejos |
| | | Alberto E. Calvo-González |
| 11:00-11:10 | 36 | Sistema de calentamiento solar para la industria |
| | | César Arnaldo Cisneros Ramírez |
| | | Diseño y fabricación de prototipo de pequeño aerogenerador de eje horizontal tipo hélice para las |

| | | |
|---|---|---|
| 11:15-11:25 | 37 | condiciones cubanas de 1500 w de potencia nominal |
| | | Conrado Moreno Figueredo |
| 11:30-11:40 | 38 | Modelación con el método de diferencias finitas de la gasificación de biomasa |
| | | Elbis D´Espaux Shelton |
| 11:45-11:55 | 39 | Programa de evaluación integral de la energía y el desarrollo sostenible para la industria alimentaria |
| | | Guillermo Eliecer Valencia Ochoa **(Colombia)** |
| 12:00-12:10 | 40 | Recycling of renewable technologies in Cuba: photovoltaic |
| | | Joel Morales Salas |
| 12:15-12:25 | 41 | Evaluación de los indicadores de consumo energético en una planta torrefactora de café |
| | | Josué Imbert González |
| 12:30-12:40 | 42 | Evaluación del recubrimiento metálico magnelis® en condiciones de alta corrosividad |
| | | Laís Díaz Cordero |
| 12:45-12:55 | 43 | Optimización energética en planta de tratamiento de agua potable de Manabí, Ecuador |
| | | Lenin Julián Pita Cantos **(Ecuador)** |
| 13:00-13:10 | 44 | Estudios de potenciales hidráulicos mediante sig. Caso estudio Río de Oro |
| | | Jorge Líder Macias Ramos **(Ecuador)** |
| 13:15-13:25 | 45 | Presión del aire y consumo de combustible en el motor de combustión interna mtu |
| | | Manuel Jeremías Rodríguez Romero |
| 13:30-13:40 | 46 | Potencialidades energéticas de las semillas de moringa oleifera lam ecotipos nicaragua y criolla |
| | | Cándida Ferrer Serrano, Martha Mazorra Mestre |
| 13:45-13:55 | 47 | La eficiencia energética. influencia del tratamiento magnético |
| | | Nuria de los Ángeles Vaillant López |
| 14:00-14:10 | 48 | Anaerobic co-digestion of cow manure and banana waste as a contribution to local energy sustainability |
| | | Ileana Pereda Reyes |

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# DATA AUGMENTATION STRATEGIES FOR MACHINE LEARNING MODELLING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF BIOMEDICAL SCAFFOLDS

**Alejandro González González[1], Patricia del Carmen Zambrano Robledo[2], Rolando Javier Lima de la Torre[1], Sandra García Ortega[3]**

[1]Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible, Universidad de Matanzas, 44740. Carretera a Varadero, km 3 y ½ Matanzas, Cuba. [2]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, [3]Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica, Carretera a Salinas Victoria Km 2.3, C.P. 66600, Apodaca, Nuevo León, Mexico.
[1]e-mail: alejandro.glez@umcc.cu

## ABSTRACT

We study the influence of layer thickness, extrusion temperature and porosity on compressive strength of 3D printed PLA scaffolds by experimental methods, which results in insufficient data for neural network regression modelling. This paper aims to evaluate two data augmentation strategies based on a Gaussian Copula (GC) method and on a conditional tabular generative adversarial network (CTGAN). The results indicate that the GC method generates a more statistically similar data than the CTGAN method. A feed-forward neural network with fixed 3-8-1 architecture and Levenberg-Marquardt learning algorithm is used for regression using synthetic and real data from both methods and evaluated through the coefficient of determination (R) and mean square error (MSE). Both metrics point to a better regression performance of the GC method, with R-values above 80 % and lower MSE values compared to the less than 40% R-values and larger MSE values corresponding to the CTGAN method. The performance plots show a better stability of the networks training-validation processes for data generated with the GC method.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# Biodegradation of Plastics by *Alphitobius diaperinus* Larvae

**Ana Luisa García[2], Jay Molino[3] Hildaura Acosta de Patiño[4], Marcos Salazar[5], Maira Díaz[1]**

[1] Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular, Centro I+D+i de Biotecnología, Energías Verdes y Cambio Climático, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS).
Albrook, Paseo de La Iguana 0843-014, Republic of Panama.
maira.diaz.852@udelas.ac.pa

[2] Laboratorio de Análisis Ambientales, Centro I+D+i de Biotecnología, Energías Verdes y Cambio Climático, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS).
Albrook, Paseo de La Iguana 0843-014, Republic of Panama.
ana.garcia.4@udelas.ac.pa

[1] Molecular Observation and Research in Nanodynamics (MORiN), Centro I+D+i de Biotecnología, Energías Verdes y Cambio Climático, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS).
Albrook, Paseo de La Iguana 0843-014, Republic of Panama.
Jay.molino@udelas.ac.pa

[4] Universidad de Panamá, Centro de Investigación e Información de Medicamentos y Tóxicos (CIIMET), Facultad de Medicina y Farmacia.
Ciudad Universitaria Dr. Octavio Méndez Pereira, Republic of Panama.
hildaura6@gmail.com

[5] Universidad de Panamá, Depto. Bioquímica, Facultad de Ciencias. Nat., Exactas y Tecnología.
Ciudad Universitaria Dr. Octavio Méndez Pereira, Republic of Panama.
marcos.salazar@up.ac.pa

## ABSTRACT

Polystyrene, a common material in Panama's waste, is challenging to biodegrade due to its resistance to environmental factors. However, recent research has shown that certain insects, such as the larvae of various beetles, can break down polystyrene through their oral apparatus.

The study examined the potential of Alphitobius diaperinus larvae to degrade polystyrene. A bioassay was conducted in which the larvae were fed polystyrene and chicken feed for 7 days. The results showed that the larvae caused physical damage to the polystyrene, evidenced by the formation of holes and changes in the material's structure. Additionally, chemical analysis using infrared spectroscopy (ATR-FTIR) revealed a decrease in the intensity of characteristic polystyrene signals, indicating the beginning of possible chemical degradation.

The results highlight the potential of A. diaperinus to aid in reducing polystyrene waste. However, further research on the physiology and microbiota of these insects is needed to improve their effectiveness in biodegradation.

**KEYWORDS:** biodegradation; polystyrene; *Alphitobius diaperinus*; FTIR-ATR Spectroscopy.

## INTRODUCTION

Polystyrene is one of the single-use materials that make up a large volume of the waste found in Panama. The biodegradation of plastic is defined as a physical or chemical change in constituent polymers due to environmental factors such as light, heat, moisture, chemical substances, or biological activity (Shah et al., 2008). However, until a decade ago, most petroleum-derived plastics were believed to resist biodegradation. Research on the biodegradation capacity of plastics by some Lepidopteran insects, such as *Galleria mellonella* (Bombelli et al., 2017) and *Plodia interpunctella* (Lou et al., 2022), *Achroia grisella F.* (Chalup et al., 2018), and Coleopteran insects such as *Tenebrio molitor*, *Tenebrio obscurus F.*, *Tribolium castaneum, H.*, *Zophobas atratus F.*, and *Plesiophthalmus davidis* (Fabreag & Familara, 2019, Yang, Wang, and Xia, 2020, Woo, Song, and Cha, 2020, Yang et al., 2021), and *Alphitobius diaperinus* (Horna Gil, 2020) has changed this paradigm. Both larvae and adults have demonstrated the ability to decompose polyethylene and polystyrene through the action of their mouthparts, leading to proposals for their application in processing these wastes. However, the degradation of PS in coleopterans depends on the microbiota of the digestive system (Tsochatzis et al., 2021, Yang et al., 2021, Yu Lou, 2021, Yu Lou, 2021), and the participation of the chewing apparatus in fragment size reduction is necessary. The beetle *A. diaperinus* is a pest that affects the infrastructure of chicken breeding and fattening houses in Panama. It is prolific, easy to breed, and its small size allows for many individuals to be kept in a small area. This research aimed to identify the physical and chemical characteristics of the product of polystyrene biodegradation by *A. diaperinus* larvae using microscopy and ATR-FTIR. The results obtained are of great value in the search for alternatives for recycling, reduction, or conversion of single-use plastics.

## METHODOLOGY

### Larvae Collection

Final instar larvae of *A. diaperinus*, approximately 1.0 cm in size, were used for the study. These larvae were sourced from chicken fattening houses and reared in the Molecular Biology Laboratory of the BEVCC Faculty at UDELAS (Figure 1). The larvae were provided with chicken feed (Sarasqueta) and water on moistened paper towels during the bioassays. They were maintained under environmental conditions of 25°C and 67% humidity.



**Fig.1: Detalle de la cabeza y cuerpo de la larva de *A. diaperinus***

**Bioassay**

A bioassay was conducted by placing 10 *A. diaperinus* larvae in each Petri dish. Three replicates were performed, each with 10 larvae. A 1.0 g fragment of expanded packaging polystyrene was placed in each dish. Control groups under the same conditions were also set up without adding polystyrene, serving as negative controls. The materials to be analyzed were placed on aluminum plates to avoid contact with the plastic of the Petri dish (Fig. 2).

**Physical Degradation**

Photographs were taken at the beginning and end of the assay using a stereomicroscope M205-A with an MC170 HD camera (Leica), with a visual magnification of 7.79x and a field of view (FOV) of 19.66 mm to demonstrate the mechanical damage caused by the larvae on the polystyrene. The images were processed using Leica Application Suite software v 4.13.0.

**Chemical Degradation**

A Fourier-transform infrared spectrophotometer (model IR-tracer-100 NIR/FAR) was used to characterize the undegraded and degraded samples by *A. diaperinus* larvae. The spectra were taken in Transmittance mode, with Happ-Genzel apodization, in a range between 600-4000 $cm^{-1}$, a resolution of 4 $cm^{-1}$, and 20 scans per sample.

For the analysis of PS, thin sheets of approximately 2 mm were cut and placed directly on the ATR accessory disc, covering the surface of the crystal. The attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FT-IR) technique was used to evaluate the changes in the chemical structure of the undegraded and degraded PS material. The spectra were compared against the equipment libraries (ATR-Organic2, ATR-Polymer2, IRS-Reagent2). These analyses were conducted at the Toxicology Laboratory of the Center for Drug and Toxicology Information and Research (CIIMET), University of Panama.

**RESULTS**

**Physical Degradation**

The bioassay data indicated that, after 15 days, the polystyrene (PS) showed signs of physical degradation, evidenced by the holes caused by the larvae (Fig. 2). Additionally, when observing the structure of the polystyrene under the stereomicroscope, a variation in the physical structure of the material was noted compared to the undegraded PS (Fig. 3).




**Fig. 2.** Mechanical damage to polystyrene caused by ***A. diaperinus*** larvae.

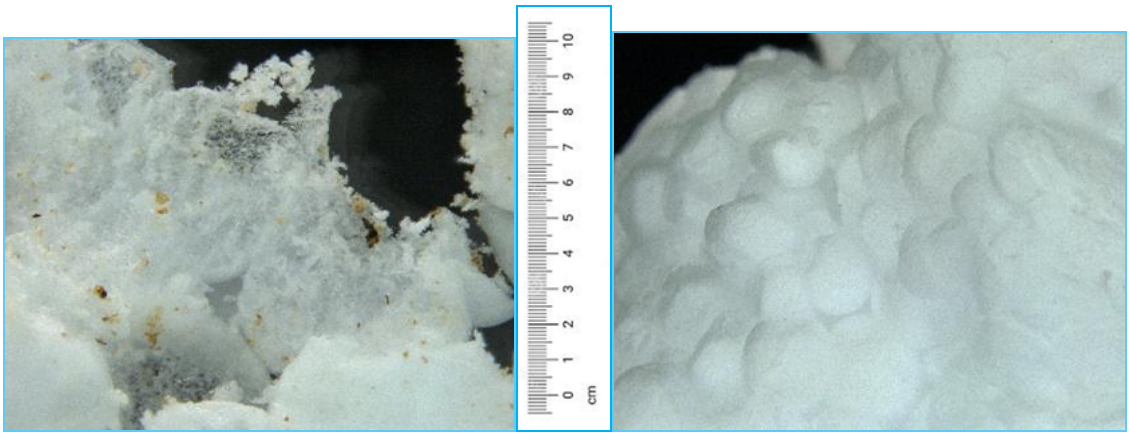


**Fig 3**. Photographs taken with the stereomicroscope show the mechanical damage caused by the larvae to the polystyrene structure. Left: Degraded. Right: Undegraded.

**Chemical Degradation**

Figure 4 of the IR spectrum of undegraded PS shows absorption peaks at wavenumbers 3024.38 $cm^{-1}$ and 3059.10 $cm^{-1}$ corresponding to the aromatic C-H stretching vibration. The absorption peaks at 1600.92 $cm^{-1}$, 1450.47 $cm^{-1}$, and 1492.9 $cm^{-1}$ correspond to aromatic C=C stretching, indicating the presence of benzene rings. The absorption peaks at 756.10 $cm^{-1}$ and 698.23 $cm^{-1}$ indicate out-of-plane C-H bending vibrations.

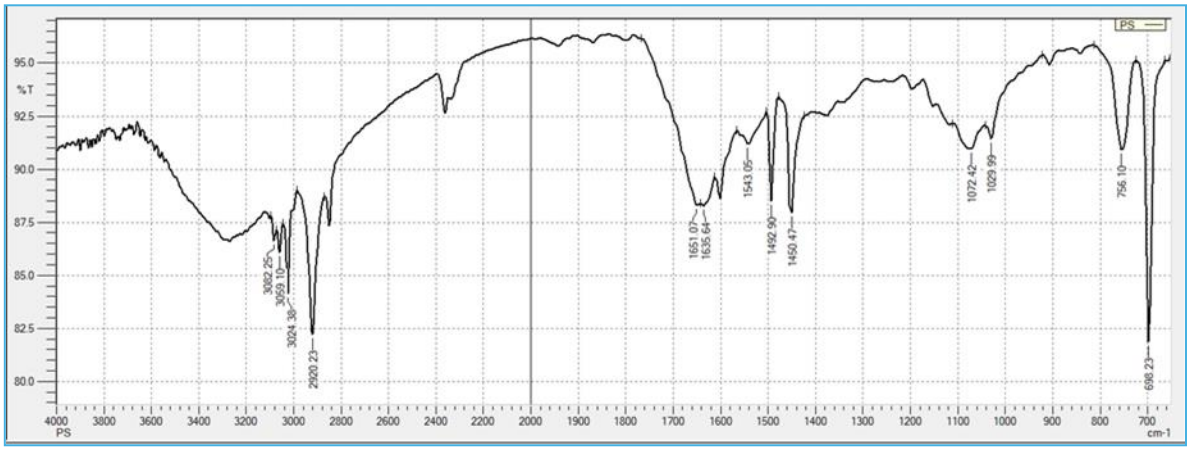



Fig. 4. Infrared spectrum of the undegraded polystyrene (PS) sample at the beginning of the bioassay.

Comparing the infrared spectrum of the undegraded sample with the internal controls of the equipment (ATR-Polymer 2 library) confirms that the material is polystyrene. During the period that PS was exposed to the action of *A. diaperinus* larvae, mechanical degradation was observed (Fig. 3B). The comparison of the ATR-FTIR spectra shows that the peaks at 698 - 750 $cm^{-1}$ (out-of-plane C-H bending vibration) had higher intensities in the undegraded PS and lower intensities in the degraded sample. Similarly, lower intensities were observed in the signals corresponding to aromatic C-H stretching (3024.38 $cm^{-1}$ and 3059.10 $cm^{-1}$) and in the signal at 1450.47-1492 $cm^{-1}$ (aromatic C=C stretching) in the degraded PS sample (Fig. 5).

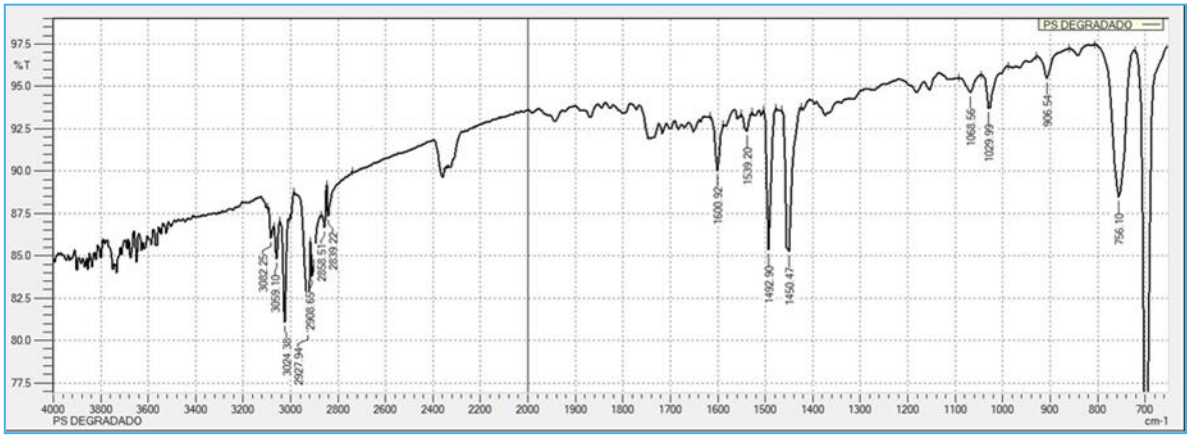



**Fig. 5. Infrared spectrum of the degraded polystyrene (PS) sample at the end of the bioassay.**

**DISCUSSION**

We have evaluated the potential of *A. diaperinus* larvae (Coleoptera) to decompose polystyrene over 15 days with a co-diet of PS and chicken feed. The comparison of polystyrene images before and after exposure to *A. diaperinus* larvae indicates mechanical damage that affects the material's structure, similar to the results obtained by Horna Gil (2020). However, no chemical analysis of the degraded PS structure was conducted in his study.

Wang et al. (2022) presented the use of FTIR as an effective method for studying PS biodegradation by *Z. atratus* larvae. In this paper, we present the infrared spectrometry data obtained from the study of PS before and after being biodegraded by *A. diaperinus* larvae. The data show a decrease in the intensity of the characteristic polymer signals in the degraded PS, which may indicate chemical and structural changes in the material due to degradation. These changes may include the loss of functional groups, alteration of the chemical structure, and reduction in the amount of material, as demonstrated by the physical degradation results observed with the M205-A stereomicroscope. Similar results were presented by Sekhar et al. (2016), who reported a decrease in signal intensity.

In similar analyses of PS degraded by coleopteran larvae using the general microbiota instead of isolated bacteria (*Exiguobacterium* sp.) from *Tenebrio molitor*, lignin was degraded and metabolized, and 50% of a PS polymer was mineralized to $CO_2$ in just 16 days (Yang et al., 2015 a, b). An insect of the same genus, *Tenebrio obscurus*, was even more effective (add time) in metabolizing PS, achieving very high yields (Peng et al., 2019). These results raise questions related to the physiology and microbiota of *A. diaperinus* larvae and adults, as co-feeding with polystyrene increases the PS biodegradation capacity due to the microbial load of the

digestive system of *T. molitor*, *P. davidis*, and *A. atratus* (Woo, S., Song, I., Cha, H.J., 2020, Tsochatzis et al., 2021, Yang et al., 2021, Yu Lou, 2021) and *T. obscurus* (Yu Lou, 2021).

## CONCLUSIONS

Our study provides information to determine the feasibility of using *A. diaperinus* larvae for the degradation of polystyrene and the possibility of conducting it in the laboratory. Thus, studies in various disciplines are needed to understand the role of microbiota in the polystyrene degradation process.

## ACKNOWLEDGMENT

Special thanks to the students Alessandro Blandino, Emmanuel Duarte, Vivian Pérez, and Alma Garrido from the Faculty of Biosciences and Public Health at UDELAS, and to the thesis student Anthony Rodríguez from the School of Chemistry at the University of Panama.

## FUNDING

This work was funded by the Laboratorio de Biotecnologìa y Biologìa Molecular y el Laboratorio de Anàlisis Ambiental, Faculty of Biosciences and Public Health, UDELAS.

## REFERENCIAS

Bombelli, P., Howe, C.J., Bertocchini, F., (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth Galleria mellonella. Curr. Biol. 27 (8).

Cucini, C., Funari, R., Mercati, D. *et al.* (2022). Polystyrene shaping effect on the enriched bacterial community from the plastic-eating *Alphitobius diaperinus* (Insecta: Coleoptera). *Symbiosis* **86**, 305–313 https://doi.org/10.1007/s13199-022-00847-y

Lou Y, Ekaterina P, Yang SS, Lu B, Liu B, Ren N, Corvini PF, Xing D. 2020. Biodegradation of Polyethylene and Polystyrene by Greater Wax Moth Larvae (*Galleria mellonella* L.) and the Effect of Co-diet Supplementation on the Core Gut Microbiome. *Environ Sci Technol*. Mar 3;54 (5):2821-2831. doi: 10.1021/acs.est.9b07044. Epub 2020 Feb 11. PMID: 32013402.

Réjasse A, Waeytens J, Deniset-Besseau A, Crapart N, Nielsen-Leroux C, Sandt C. (2021). Plastic biodegradation: Do Galleria mellonella Larvae Bioassimilate Polyethylene? A Spectral Histology Approach Using Isotopic Labeling and Infrared Microspectroscopy. *Environ Sci Technol*. 4;56(1):525-534. doi: 10.1021/acs.est.1c03417. Epub Dec 21. PMID: 34932348.

Sameh S. Ali, Tamer Elsamahy, Rania Al-Tohamy, Daochen Zhu, Yehia A.-G. Mahmoud, Eleni Koutra, Metwally A. Metwally, Michael Kornaros, Jianzhong Sun, (2021). Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. *Science of The Total Environment*, 780. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590.

Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S., 2008. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol. Adv*. 26 (3).

Wang S, Shi W, Huang Z, Zhou N, Xie Y, Tang Y, Hu F, Liu G, Zheng H. 2022. Complete digestion/biodegradation of polystyrene microplastics by greater wax moth (Galleria mellonella) larvae: Direct

in vivo evidence, gut microbiota independence, and potential metabolic pathways. *J Hazard Mater*. Feb 5;423(Pt B):127213. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127213. Epub 2021 Sep 16. PMID: 34844347.

De Leyo - Trabajo propio, Dominio público, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10764663

Wu, W.M., Yang, J., Criddle, C.S., 2017. Microplastics pollution and reduction strategies. Front. Environ. Sci. Eng. 11, 6e7.

Yu Lou, Yiran Li, Baiyun Lu, Qiang Liu, Shan-Shan Yang, Bingfeng Liu, Nanqi Ren, Wei-Min Wu, Defeng Xing 2021. Response of the yellow mealworm (Tenebrio molitor) gut microbiome to diet shifts during polystyrene and polyethylene biodegradation, *Journal of Hazardous Materials*, 416. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126222.

Wang, J., Wang, Y., Li, X., Weng Y., Dong, X. Zhao, X. 2022. Comparison on the effectiveness of Fourier transform infrared (FT-IR) and attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FT-IR) in characterizing plastics biodegradation by insect larvae. Zophobas atratus. *Science of the Total Environment* 839, 156289. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156289.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Análisis mediante el método elementos finitos de cajas intersomáticas fabricadas con poliéter-éter-cetona (PEEK) y Ti-6Al-4V.

**Ing. Camila del Carmen García Martínez[1], Msc. Jacqueline del Carmen Martínez Torres**
[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda CP 19390 Marianao La Habana Cuba.
[2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda CP 19390 Marianao La Habana Cuba,
[1]camilagarciamartinez088@gmail.com
[2]jacquemar1109@gmail.com

**RESUMEN**

Las cajas intersomáticas son implantes que se colocan para sustituir los discos vertebrales y se crearon con el fin de estandarizar la técnica de fusión intersomática y de eliminar la necesidad de usar un injerto. Estas cajas pueden fabricarse con varios materiales y los más frecuentemente usados con el poliéter-éter-cetona (PEEK) y el Ti-6Al-4V. Es necesario producir en nuestro país este tipo de implante y por lo tanto es de utilidad determinar el material más factible para este propósito. Objetivo: Analizar el comportamiento biomecánico de las cajas intersomáticas fabricadas con Ti-6Al-4V y PEEK utilizando el método de elementos finitos. Materiales y Métodos: Se utilizó el programa SolidWork para analizar mediante el método de elementos finitos las cajas intersomáticas comerciales seleccionadas para el estudio. Se establecieron las condiciones de frontera que simulaban el comportamiento del lugar donde se va a colocar el implante. Resultados: Se obtuvo como resultado que para ambas cajas estudiadas las que utilizaban Ti-6Al-4V mostraban un mejor comportamiento que el PEEK, sin embargo, luego de hacerse el análisis económico se observó que en determinadas condiciones es más factible fabricar las cajas con PEEK que con Ti-6Al-4V.
**PALABRAS CLAVES:** Cajas intersomáticas, PEEK, Ti-6Al-4V, discos intervertebrales, análisis por elementos finitos.

**Finite element analysis of intersomatic cages made of polyether-ether-ketone (PEEK) and Ti-6Al-4V.**

**ABSTRACT**

Intersomatic cages are implants that are placed to replace vertebral discs and were created in order to standardize the technique of intersomatic fusion and to eliminate the need to use a graft. These boxes can be manufactured with various materials and the most frequently used are polyether-ether-ketone (PEEK) and Ti-6Al-4V. It is necessary to produce this type of implant in our country and therefore it is useful to determine the most feasible material for this purpose. Objective: To analyze the biomechanical behavior of intersomatic cages manufactured with Ti-6Al-4V and PEEK using the finite element method. Materials and Methods: The SolidWork program was used to analyze by the finite element method the commercial intersomatic cages selected for the study. Boundary conditions were established to simulate the behavior of the site where the implant is to be placed. Results: It was obtained as a result that for both cases studied, those using Ti-6Al-4V showed a better behavior than PEEK, however, after the economic analysis it was observed that in certain conditions it is more feasible to manufacture the cases with PEEK than with Ti-6Al-4V.
**KEY WORDS:** Intersomatic cages, PEEK, Ti-6Al-4V, intervertebral discs, finite element analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Las enfermedades degenerativas de la columna vertebral traen como consecuencia el desgaste del disco intervertebral. Esto conlleva a que se compriman los nervios de la zona donde se encuentra el disco con problemas y causa dolor en el paciente. Cuando esto ocurre, es necesario retirar el disco intervertebral y se coloca en su lugar un dispositivo capaz de lograr la fusión vertebral; esta técnica permite el crecimiento

del hueso y de esta forma limitar el movimiento de las vértebras y reducir considerablemente el dolor. Generalmente esta técnica utiliza un injerto óseo.

Las cajas intersomáticas son implantes que se colocan en lugar de los discos, estas se crearon con el fin de estandarizar la técnica de fusión intersomática y de eliminar la necesidad de usar un injerto. Son construidas de diferentes materiales[1].

Estas deben cumplir con requisitos que permitan reconstruir defectos de la columna lumbar y la cervical, restablecer la capacidad de carga y lograr estabilidad a largo plazo la columna. Las cajas son implantes desarrollados como una alternativa a la utilización del injerto óseo estructural para la fusión con el segmento de la columna vertebral donde se coloque. Están realizadas de materiales biocompatibles y tienen una buena resistencia estructural. Hoy en día, se prefieren injertos artificiales y cajas para la fusión debido a su baja morbilidad, disminución del tiempo quirúrgico y una aceptable tasa de fusión del hueso[2].

Con el método de fabricación utilizando la impresión 3D las cajas pueden ser personalizadas a cada paciente permitiendo un gran nivel de coincidencia entre el tamaño del implante y la anatomía del paciente. Los poros internos de las estructuras impresas en 3D permiten que crezca un nuevo hueso, lo cual contribuye a la osteointegración, permitiendo alcanzar la estabilidad biológica[3].

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento biomecánico de las cajas intersomáticas fabricadas con Ti-6Al-4V y poliéter-éter-cetona (PEEK) utilizando el método de elementos finitos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales se utilizarán el SolidWork para modelar y realizar el análisis por el método de elementos finitos. Se seleccionarán como materiales para el mismo el Ti-6Al-4V y el PEEK debido a la capacidad de osteointegración que poseen y ser los más utilizados en las bibliografías consultadas. Las propiedades que se utilizan para el análisis son proporcionadas por el mismo programa, las cuales se mostrarán en la tabla 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1: Propiedades de Ti-6Al-4V

| | |
|---|---|
| Límite de tracción: | 1.05e+09 N/m^2 |
| Módulo elástico: | 1.048e+11 N/m^2 |
| Coeficiente de Poisson: | 0.31 |
| Densidad: | 4428.78 kg/m^3 |

Tabla 2: Propiedades de PEEK

| | |
|---|---|
| Límite de tracción: | 9.5e+07 N/m^2 |
| Módulo elástico: | 3.9e+09 N/m^2 |
| Coeficiente de Poisson: | 0.4 |
| Densidad: | 1310 kg/m^3 |

Primeramente, se elegirán los modelos a modelar y analizar después de realizar una revisión previa de diferentes catálogos de este tipo de implantes y se seleccionará el implante el lumbar TLIF C6890214E, el cual se muestra en la figura 1, y el cervical CORNERSTONE-SR 6211409 que se muestra en la figura 2. Estas se escogieron debido a que son las más sencillas de modelar y contaban además con imágenes de las piezas en distintas vistas.



Figura 1: Caja intersomática lumbar modelo TLIF C6890214E. [Tomado de [4]]

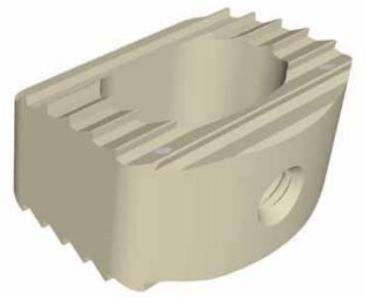


Figura 2: Caja intersomática cervical modelo CORNERSTONE-SR 6211409.[Tomado de [5]]

Se les realizará un análisis estático a las piezas con el fin de conocer el comportamiento de sus propiedades luego de aplicar las restricciones de fronteras que simulen las condiciones en las que se encontrará el implante una vez colocado dentro de la columna vertebral. Las condiciones de fronteras serán similares para ambas cajas: se le colocarán como sujeciones dos tipos diferentes, ya que las cajas intersomáticas deberán permanecer en el sitio, pero permitir cierto grado de movilidad que propicie el movimiento natural de la columna vertebral. Con este objetivo se seleccionarán la geometría fija, que limitará el movimiento del modelo, y el rodillo/control deslizante que varía el lugar donde se coloca en dependencia de la pieza. De igual forma se utilizarán dos tipos de cargas, la primera es la fuerza de gravedad que interviene directamente sobre la columna vertebral, y la otra es la masa distribuida, ya que recibe de forma distribuida sobre toda su superficie la carga de las vértebras que se encuentran encima del lugar donde se coloca. Otro elemento importante a tener en cuenta es el material que tendrán las características que se mencionan anteriormente en el capítulo. Las características de la malla dependerán del modelo que se analizará.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se realizaron tres estudios: uno de las tensiones, otro de los desplazamientos y el último de las deformaciones unitarias. Los resultados de los mismos se fueron mostrados mediante un gráfico de colores donde el color azul representa los valores mínimos y los rojos los máximos o críticos

**Resultados de la caja TLIF C6890214E utilizando Ti-6Al-4V.**

En el caso de las tensiones se obtuvo como valor máximo 6.051E+07 $N/m^2$, el cual se observa en la figura 4, y como valor mínimo se obtuvo como valor 7.402E+03 $N/m^2$. La pieza presentó casi en su

totalidad valores mínimos de tensión, como se muestra en la figura 3, por otro lado, los puntos críticos se percibieron en tres zonas específicas, el primero se mencionó anteriormente y los otros dos se exponen en la figura 5. El límite de fluencia del Ti-6Al-4V es de 8.8E+08 $N/m^2$, este valor es menor que el máximo de tensión que se obtuvo en el estudio por lo que se puede decir que la pieza no va a sufrir cambios cuando se coloque en la columna. Eryildiz [6] demostró en su investigación que la tensión del disco intervertebral es de 1.4957E+07 $N/m^2$, el cual es menor que el valor máximo obtenido en el estudio; sin embargo, la mayoría de las tensiones observadas en la pieza se encontraron por debajo de este valor. Esta autora también expresa en su trabajo que las tensiones del titanio que obtuvo se encontraron en el intervalo de los 3.06E+08 $N/m^2$, el cual, es mayor que los obtenidos en este estudio. Por otro lado, Fushimi et al. [7] en su investigación obtuvieron como resultado una tensión de 1.50E+06 $N/m^2$, el cual es menor a los valores que se obtuvieron en el estudio.

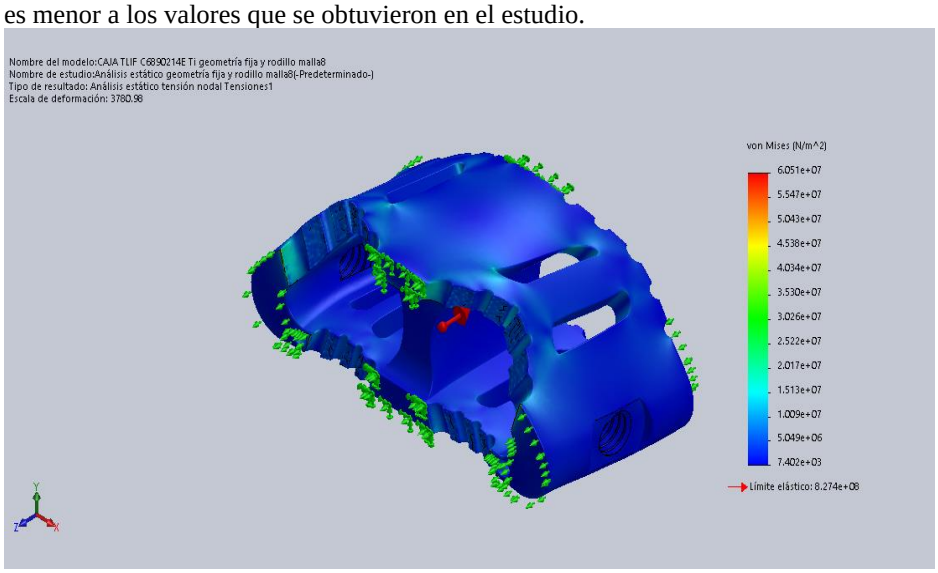


Figura 3: Resultados de las tensiones para el Ti-6Al-4V.

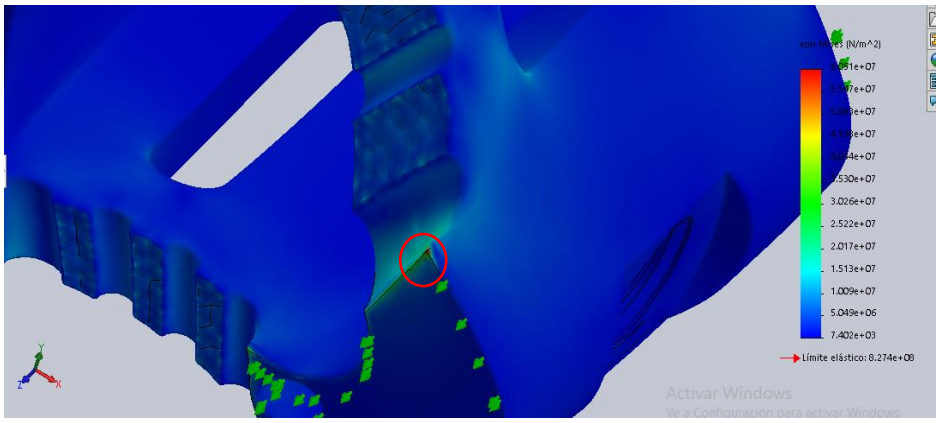


Figura 4: Resaltados el punto donde se alcanza el valor máximo de tensión para el Ti-6Al-4V.

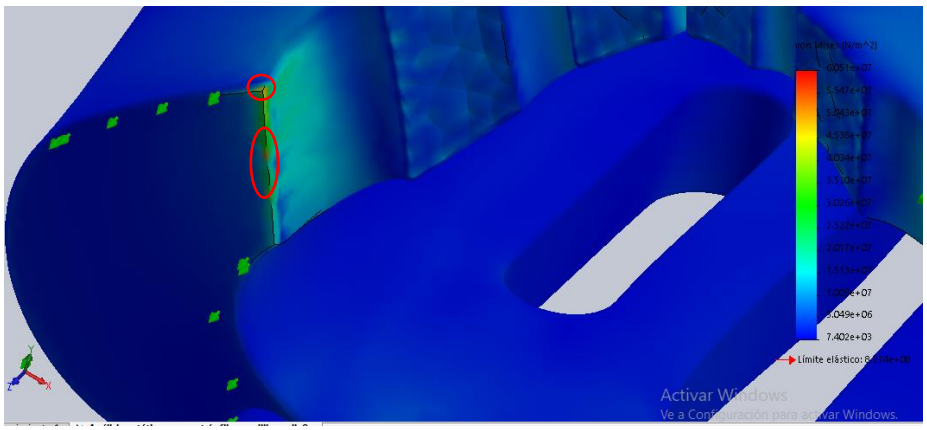



Figura 5. Resaltados los puntos donde se alcanzan los valores máximos de tensiones para el Ti-6Al-4V.

Los resultados de los desplazamientos se mostraron en una variedad de rangos, los cuales se observan en la figura 6. Los valores en la pieza predominaron los valores que se encontraron entre los valores medios y máximos del rango. Los puntos críticos se mostraron en dos lugares del modelo. El valor mínimo de desplazamiento fue de 1.00E-30mm, el cual es despreciado. El valor máximo de desplazamiento es de 8.667E-04mm, el cual es un desplazamiento mínimo. Eryildiz [6] estableció que el hundimiento de la pieza, no puede ser mayor que es de 2mm y los valores obtenidos en este estudio se encuentra muy por debajo del mismo.

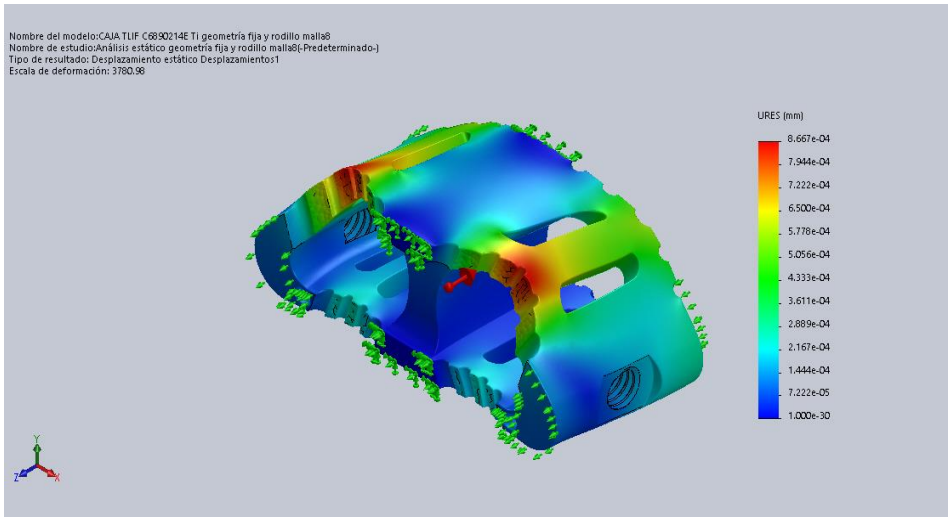



Figura 6: Resultados del desplazamiento para el Ti-6Al-4V.

En el caso de las deformaciones se observa en la figura 7 que los valores se encuentran en entre el rango mínimo y medio del rango colores. Los puntos críticos se observaron dos zonas de la pieza las cuales se muestran en la figura 8 y 9. El valor máximo de deformaciones fue 2.945E-04, el cual se encontró en la zona mostrada en la figura 8, y el mínimo de 4.671E-08. Esta aleación de titanio presenta una elongación máxima de rotura de un 10% el cual es mayor al valor obtenido en el punto crítico del estudio. Por lo tanto, se puedo determinar que la pieza no sufrirá roturas con este material. Eryildiz [6] demostró que las deformación del disco intervertebral es de 0.967 y los todos los valores obtenidos en el estudio se encontraron por debajo del mismo.

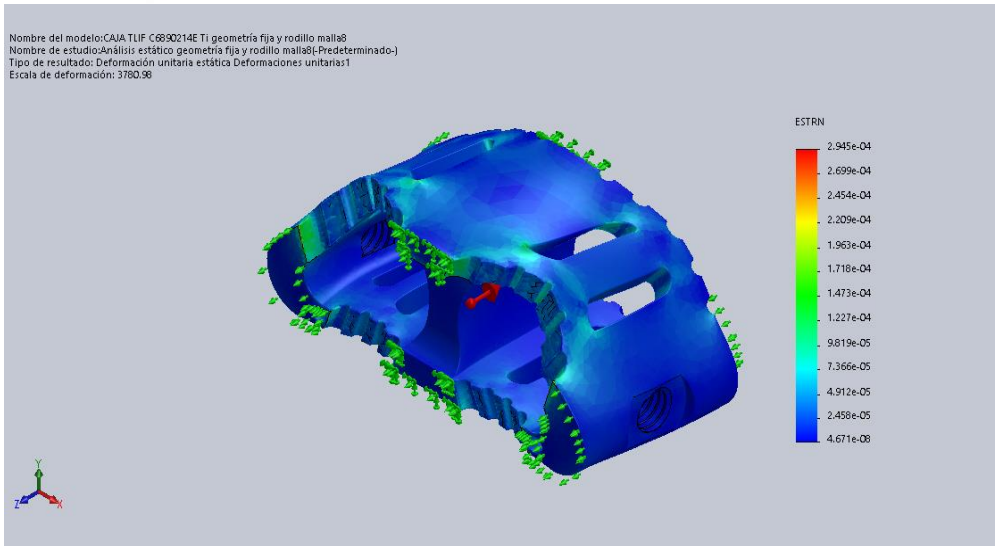


Figura 7: Resultados de las deformaciones unitarias para el Ti-6Al-4V.

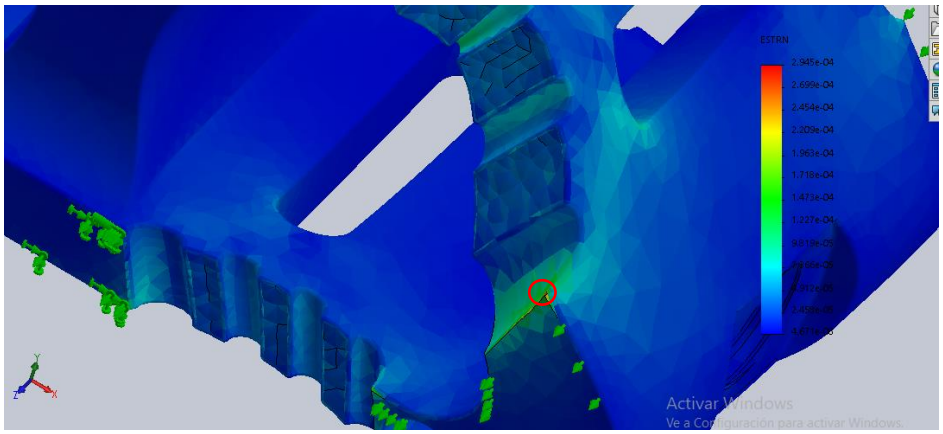


Figura 8: Resaltado el punto donde se alcanza el valor máximo de deformaciones para el Ti-6Al-4V.

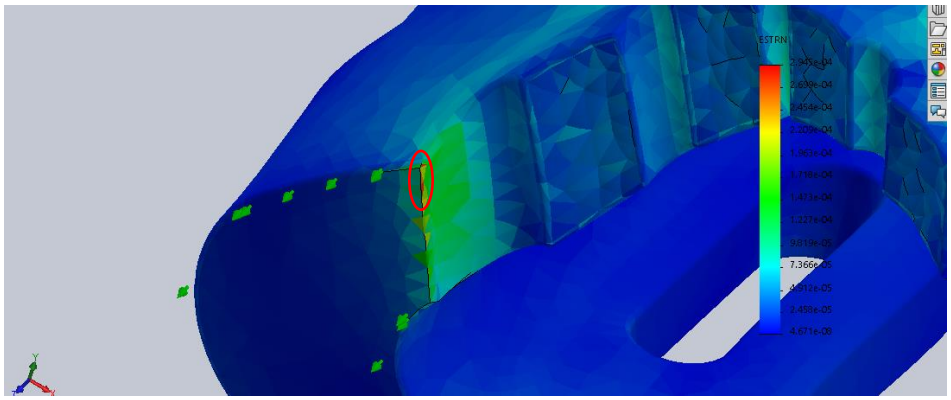


Figura 9: Resaltado el punto donde se alcanza el valor máximo de deformaciones para el Ti-6Al-4V.

**Resultados de la caja TLIF C6890214E utilizando el PEEK**.

En cuanto a las tensiones mostradas en la figura 10 la mayoría se encuentran dentro del mínimo de tensiones, con algunas zonas donde se observan los valores medios del rango de valores obtenidos. El valor máximo obtenido para este caso es de 6.618E+07$N/m^2$, el cual se observa en la figura 11 y es la

única zona de la pieza que presenta un punto crítico, y el mínimo es de 9.241E+03$N/m^2$. El límite de fluencia del PEEK es de 1.10E+08$N/m^2$, los valores obtenidos en este estudio son menores que el límite de fluencia por lo que no hay peligro de que ocurra algún cambio en la pieza. Comparando estos valores con los obtenidos por Eryildiz [6] se pudo apreciar que las tensiones máximas son mayores a las del disco intervertebral pero, a su vez, en casi la totalidad de la pieza los resultados son menores al obtenido por la autora.

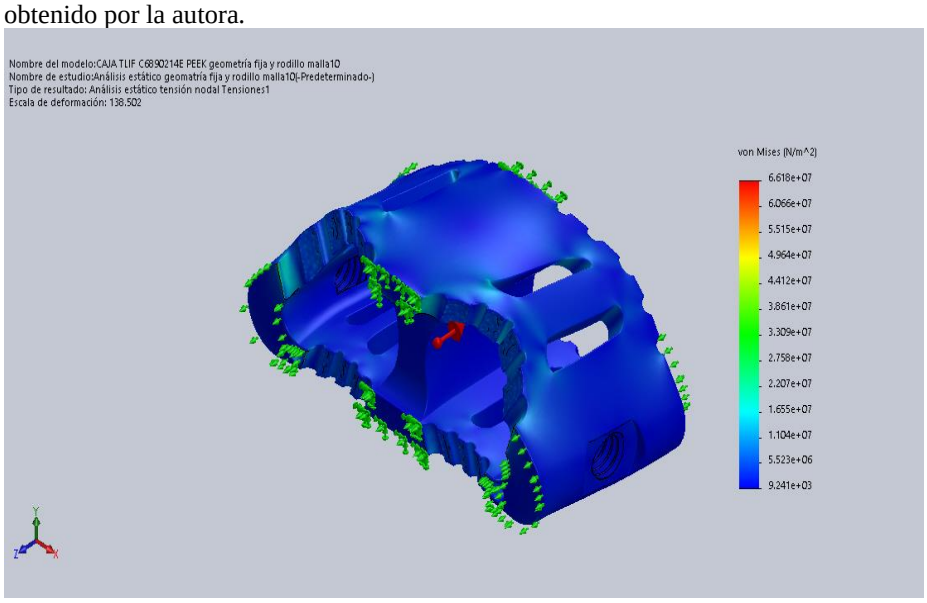


Figura 10: Resultados de las tensiones para PEEK.

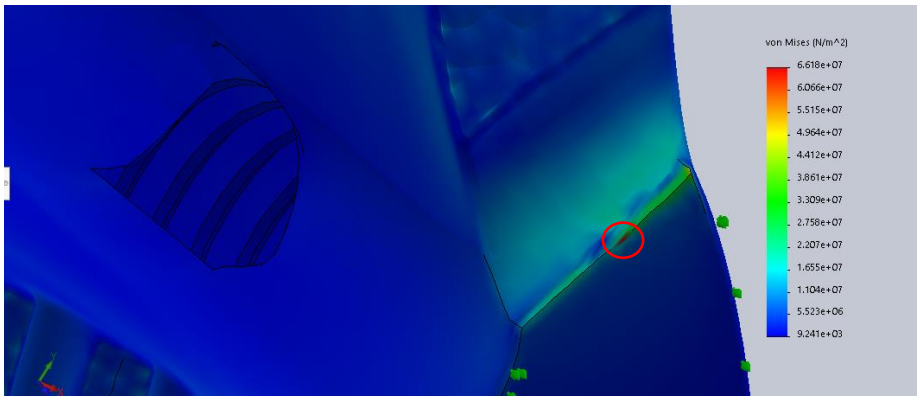


Figura 11: Resaltado el punto donde se alcanza el valor máximo de tensión para el PEEK.

En el caso de los desplazamientos el mínimo, se obtuvo 1.00E-30mm, por lo que se despreció. Como se observa en la figura 12, los desplazamientos en la pieza se mostraron en su mayoría por encima de la media de valores del rango. Los puntos críticos se concentraron en una zona específica de la pieza. El máximo de desplazamiento es de 2.380E-02mm. Este valor es menor con respecto al hundimiento máximo esperado para una caja lumbar planteado por Eryildiz [6].

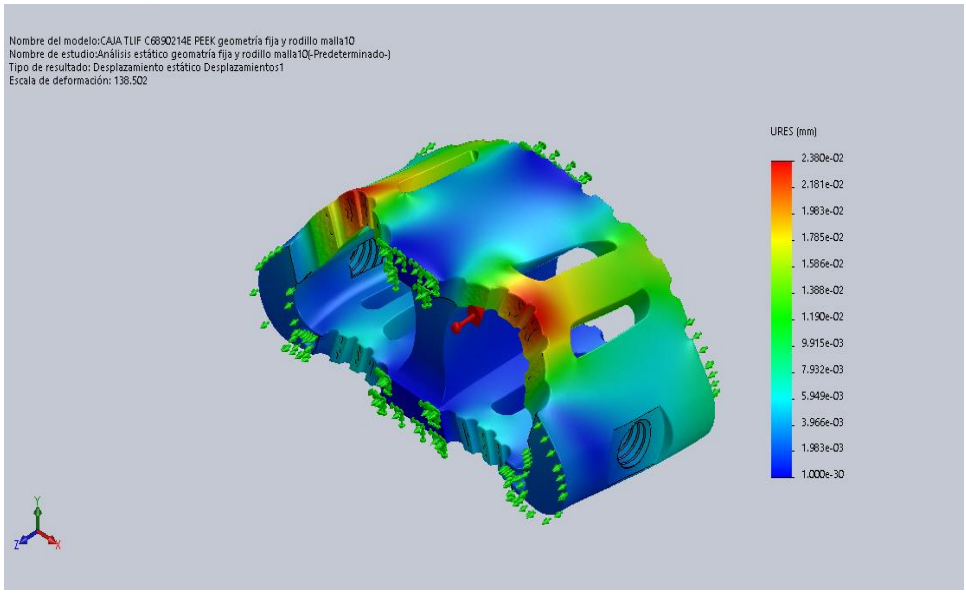


Figura 12: Resultados de los desplazamientos para PEEK.

En las deformaciones unitarias que se observan en la figura 13 y mostraron que en su mayoría se encontraron en los valores mínimos y medios del rango de colores. Los puntos críticos de la pieza se presentan en la figura 14 y 15. En esta última figura se muestra el valor máximo obtenido el cual es 8.035E-03. El mínimo de deformación es de 1.042E-06. El valor de la elongación máxima de rotura para el PEEK es de 20% y los valores de este estudio se encuentran por debajo del límite, por lo tanto, la pieza no sufre riesgo de tener alguna rotura. Estos valores son menores que los obtenidos por Eryildiz [6] en sus estudios.

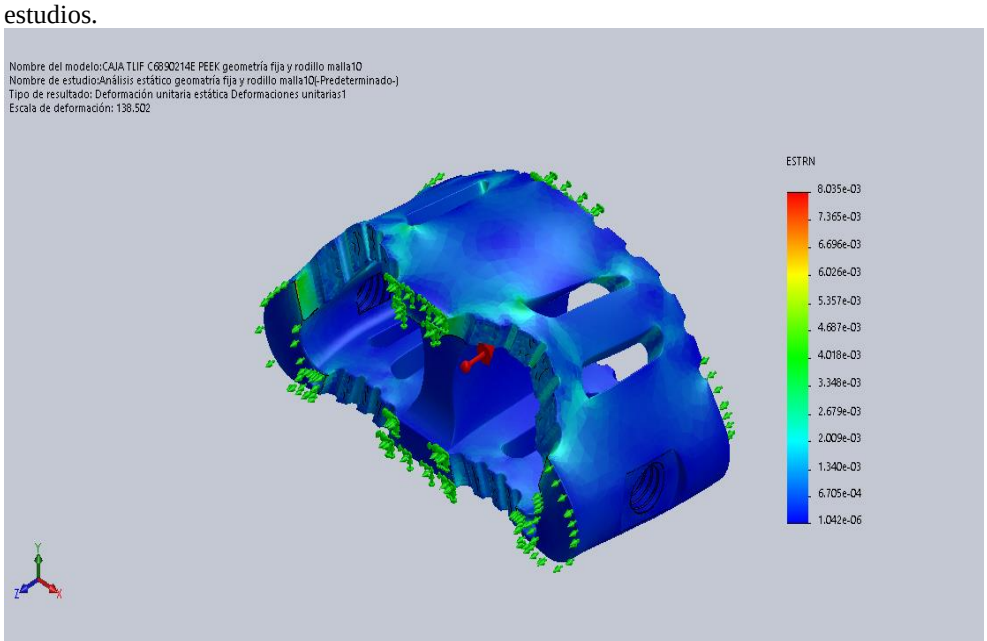


Figura 13: Resultados de las deformaciones unitarias para PEEK.

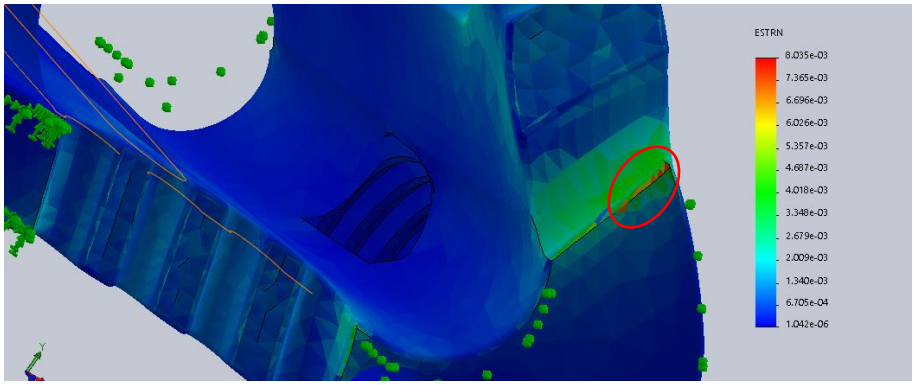
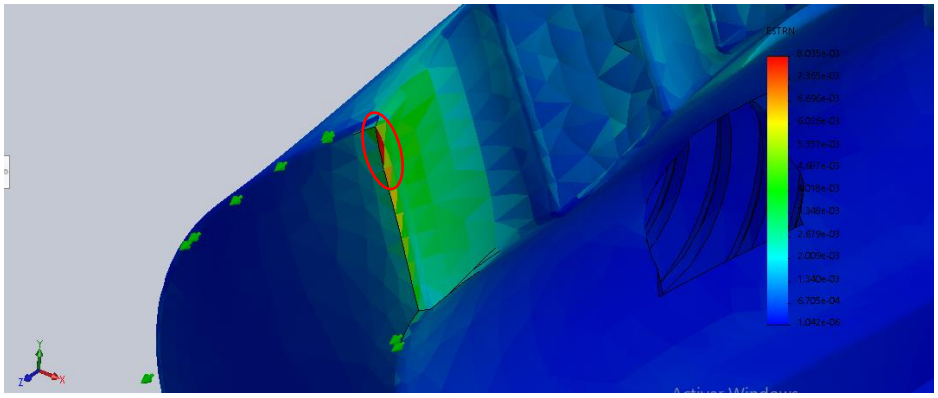


Figura 14: Resaltado la zona con las máximas deformaciones para PEEK.


Figura 15: Resaltado la zona con los valores críticos deformaciones unitarias para PEEK.

Luego de obtener resultados para ambos materiales se observó que los puntos críticos de tensiones, desplazamientos, deformaciones ocurrieron en las mismas zonas para ambos materiales. Sin embargos, para las tensiones los valores fueron ligeramente más altos para el PEEK que para el Ti-6Al-4V. Esto coincide con los planteado por Patel et al. [8] el cual obtiene como resultado que las cajas de PEEK presentaban mayor tensión frente a Ti-6Al-4V. Con respecto a los desplazamientos y las deformaciones ambas presentaron valores máximos más pequeños para el titanio que para el PEEK.

**Resultados de la caja CORNERSTONE-SR 6211409 utilizando Ti-6Al-4V.**

En el caso de las tensiones para esta caja los valores en casi la totalidad de la caja se mostraron dentro de los valores mínimos, lo cual se observa en la figura 16. Los puntos críticos se observaron en dos lugares diferentes de la caja, los cuales se observan en la figura 17. El valor máximo fue 2.852E+08 $N/m^2$ y el mínimo es de 1.365E+04$N/m^2$. El límite de fluencia en el titanio grado 5 es de 8.80E+08$N/m^2$, este valor es mayor al obtenido en el estudio por lo tanto la caja no sufrirá cambios cuando se coloque en la cervical. En el artículo de Sun et al. [9] se obtiene como valores de tensión en una cajas comercial 7.09E+08$N/m^2$ valor que es considerablemente mayor al obtenido en la investigación.

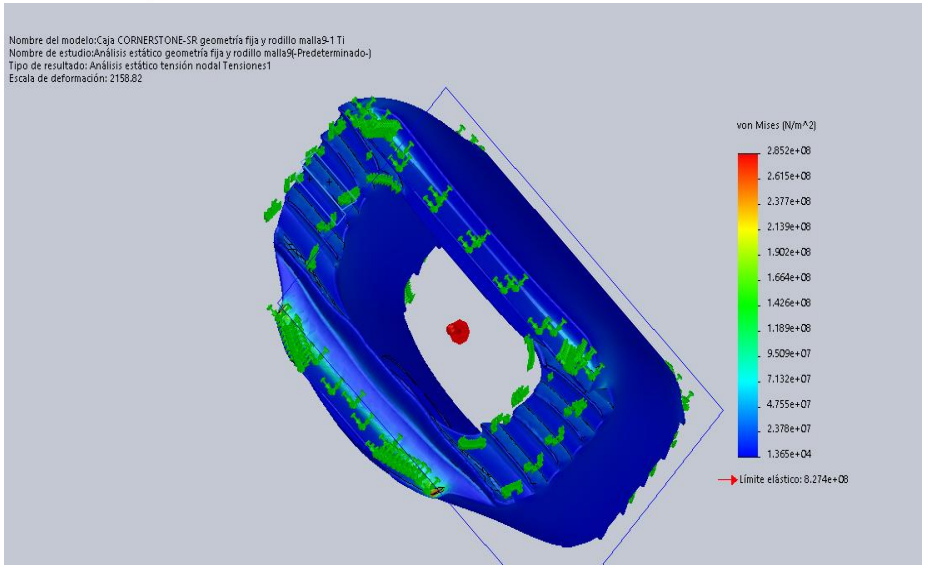
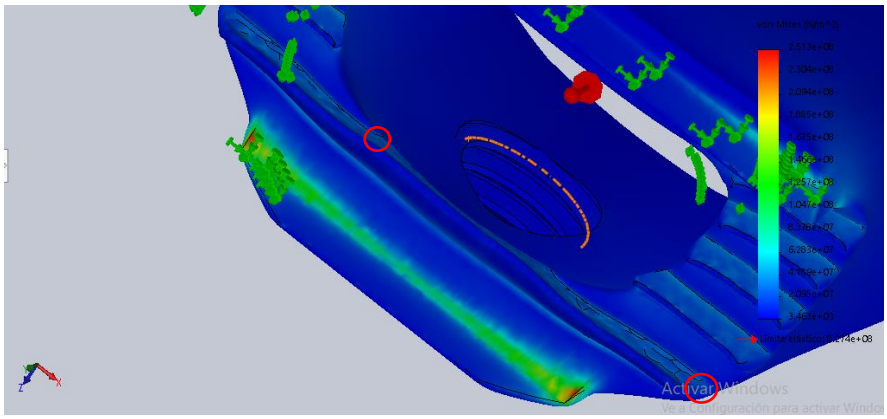


Figura 16: Resultados de las tensiones para el Ti-6Al-4V.


Figura 17: Resaltados los puntos donde se alcanzan los valores máximos de tensión para el Ti-6Al-4V.

Los distintos valores obtenidos en el rango se observaron en toda la pieza. Los puntos críticos, que se presentan en la figura 18, se observaron en los picos presentes en la superficie. El máximo de desplazamiento fue 8.198E-04mm, mientras que el valor mínimo fue despreciado. No se encontraron artículos que permitan realizar una comparación de este valor.

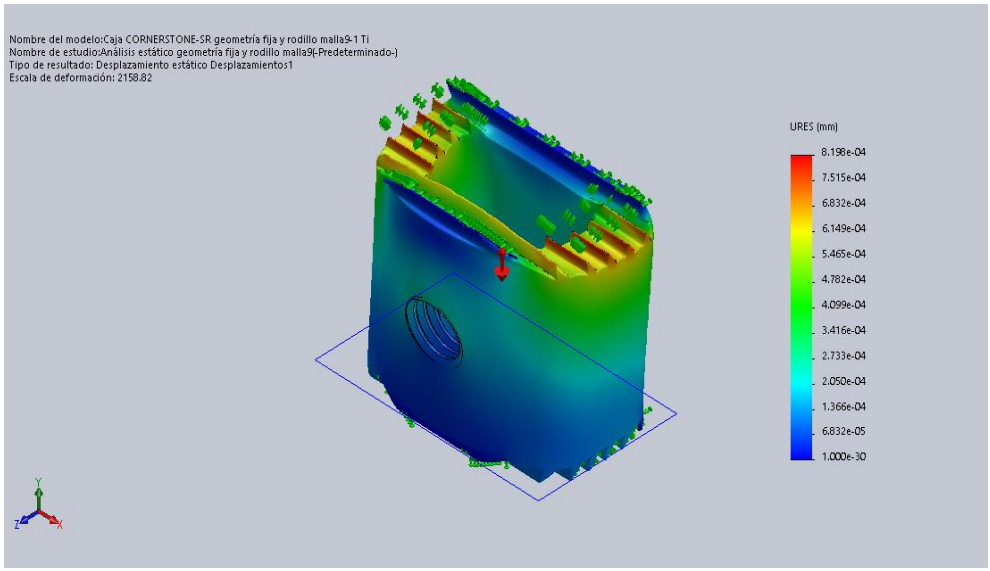


Figura 18: Resultados del desplazamiento para el Ti-6Al-4V.

Con respecto a los valores de deformación que se observan en la figura 19, se pudo apreciar que las deformaciones en su mayoría se encuentran en los valores mínimos, y los puntos críticos se encuentran en dos lugares específicos que se muestran en la figura 20. El valor máximo fue 1.346E-03 y el mínimo 8.789E-08. La elongación máxima de rotura es de 10% el cual es mayor al valor obtenido en este estudio. Para este caso no se encontraron valores en la bibliografía para poder establecer una comparación de este resultado.

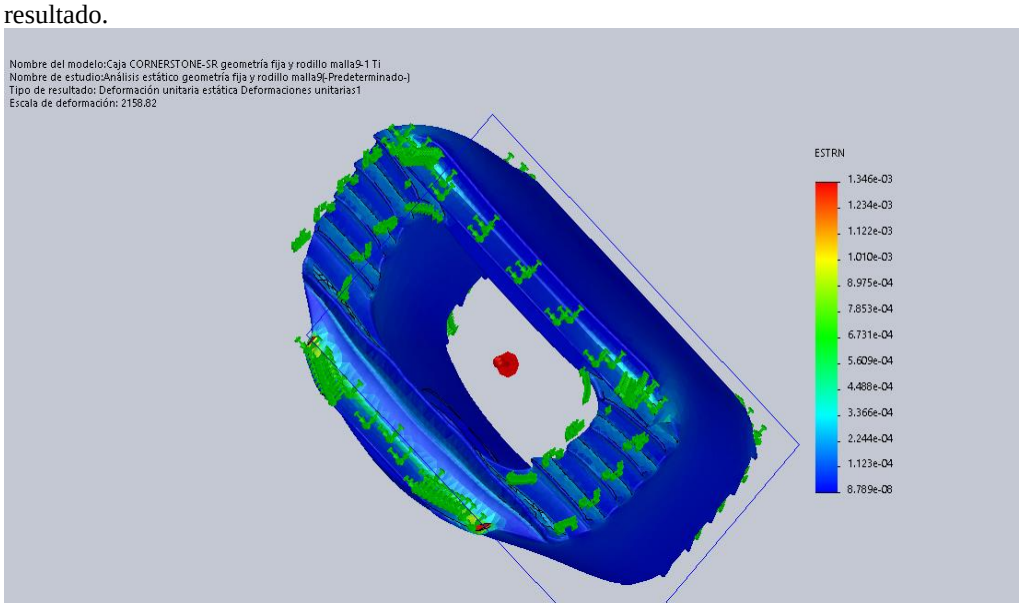


Figura 19: Resultados de las deformaciones unitarias para el Ti-6Al-4V.

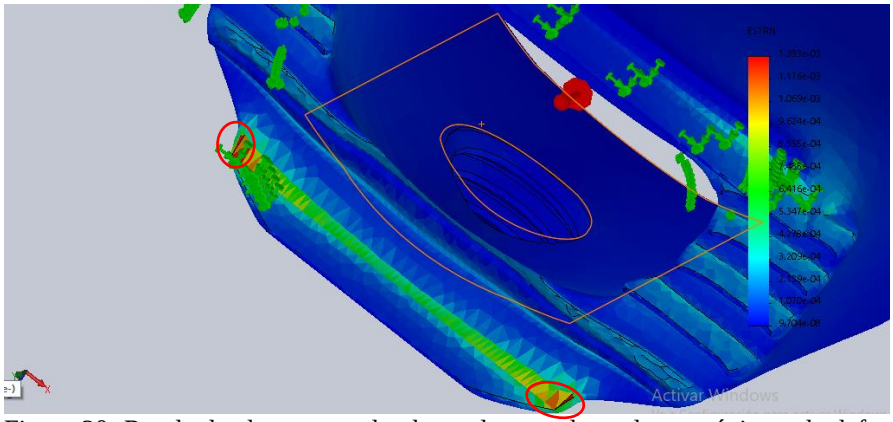


Figura 20: Resaltados los puntos donde se alcanzan los valores máximos de deformación para el Ti-6Al-4V.

**Resultados de la caja CORNERSTONE-SR 6211409 utilizando el PEEK.**

Con respecto a las tensiones que se observan en la figura 21 se pudo determinar que los valores de tensiones de las cajas se concentraron en los mínimos de tensiones obtenidos en el estudio. Los críticos se observaron en los lugares que se observan en la figura 22. El valor máximo de tensión es de 2.806E+08$N/m^2$ y el mínimo es de 1.414E+04$N/m^2$. El valor del límite de fluencia para el PEEK es de 1.10E+08$N/m^2$, en este caso los puntos críticos son mayores que el límite por lo que pueden ocurrir cambios en estos puntos de la pieza. Estos valores son menores a los obtenidos por Sun et al. [9] y mayores a los obtenidos por Choudhury [10] los cuales se encontraban en el rango de 1.00E+06 $N/m^2$ a 3.50E+06 $N/m^2$.

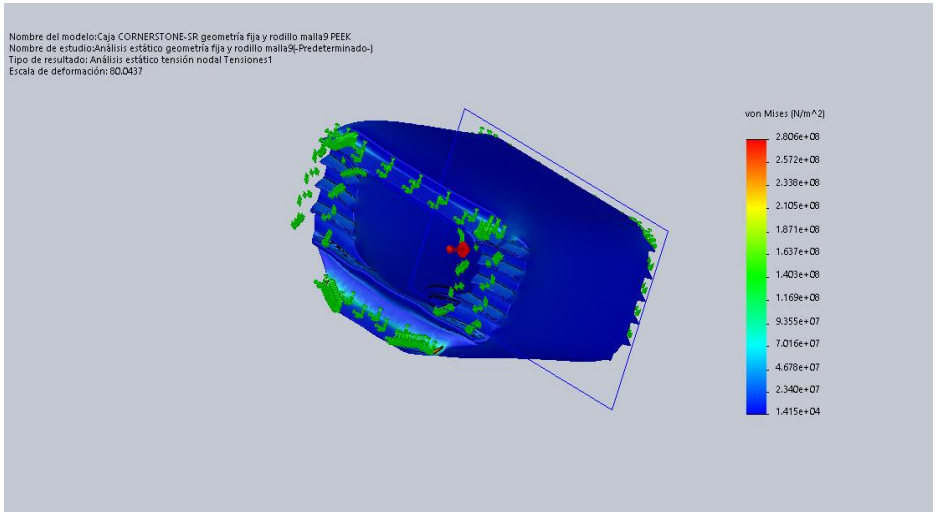



Figura 21: Resultados de las tensiones para el PEEK.

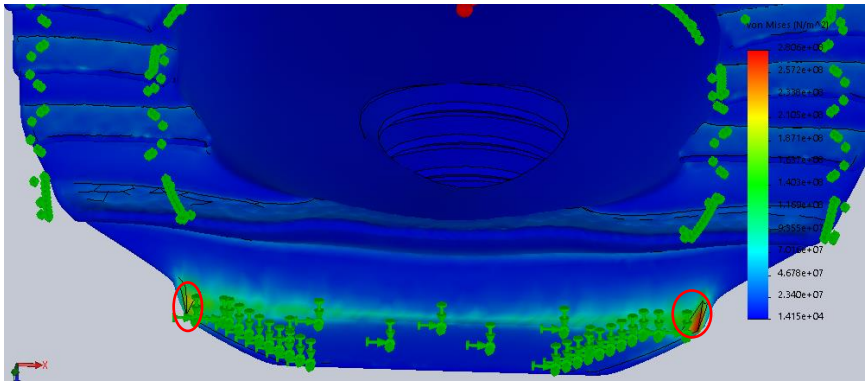



Figura *22*. Resaltados los puntos donde se alcanza el valor máximo de tensión para el PEEK.

Con respecto a los desplazamientos que se mostraron en la figura 23 se observó que la pieza mostró todos los valores de desplazamientos del rango que se obtuvo como resultado. Los puntos críticos se observaron en las puntas de los picos en los bordes de la pieza. El valor máximo que se obtuvo fue 2.220E-02mm y el mínimo, al igual que en el resto de los análisis se desprecia. En el caso de los desplazamientos no se encontraron bibliografías que permitiera comparar los resultados.

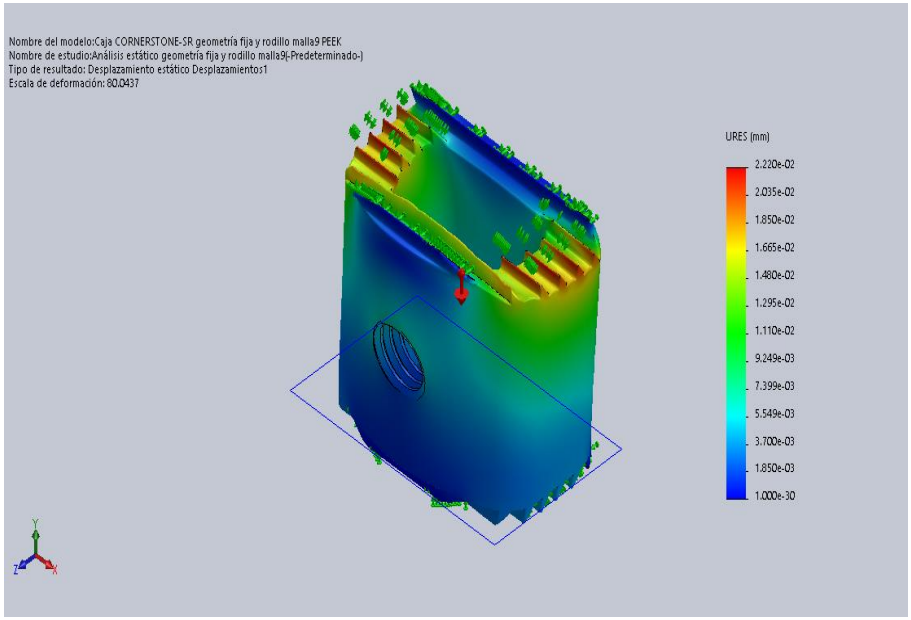



Figura 23: Resultados del desplazamiento para el PEEK.

Las deformaciones obtenidas se mostraron en la figura 24. Se observó que en la pieza predominaron los valores mínimos de deformaciones, y los puntos críticos se observaron en dos lugares los cuales se muestran en la figura 25. El valor máximo fue 3.871E-02 y el mínimo 2.165E-06. La elongación máxima de rotura del PEEK es de 20% y el valor máximo de este estudio se encuentra por debajo del límite. Según el artículo de Choudhury [10] obtuvo como deformación máxima 0.0006, el cual es un valor más pequeño que el que se obtuvo en esta investigación.

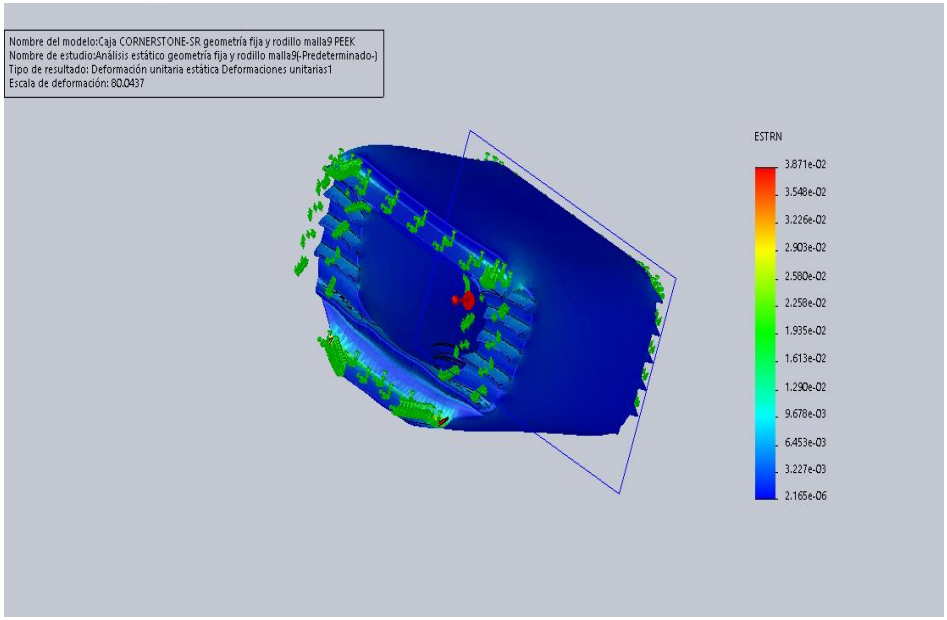



Figura *24*. Resultados de la deformación para el PEEK.

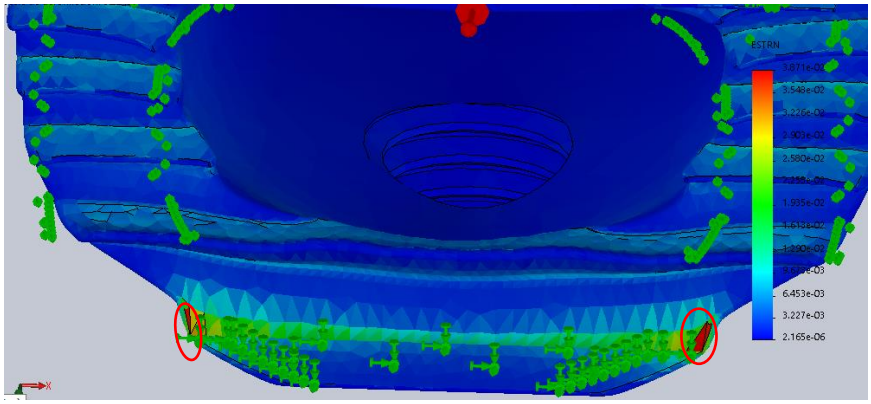



Figura *25*. Resaltado los puntos donde se alcanzan los valores máximos de deformación para el PEEK.

Luego de obtener los resultados del estudio en ambos materiales se observó que los puntos críticos de tensiones, desplazamientos, deformaciones ocurrieron en los mismos lugares para ambos materiales. Los valores que se obtuvieron para el Ti-6Al-4V presentaron valores por debajo de los límites del material, sin embargo, en el caso del PEEK los valores se encontraron por encima de los límites por lo que la caja podría deformarse y/o romperse en los lugares donde se encuentran los puntos críticos.

## 4. CONCLUSIONES

Los análisis por elementos finitos permitieron determinar el comportamiento de las tensiones, desplazamiento y deformaciones en ambos modelos de cajas intersomáticas sometidas a las cargas diseñadas. La caja intersomática lumbar presentó para el Ti-6Al-4V y el PEEK valores máximos que son menores a los límites de fluencia que pueden soportar por lo que no sufrirán deformaciones para ningún material. Por lo tanto, se puede concluir que el material con mejor comportamiento para este implante es el Ti-6Al-4V debido a que presentó mejores valores. En el caso de la caja cervical, en general, los valores obtenidos mostraron mejores resultados para el Ti-6Al-4V que, para el PEEK, es importante destacar que para el caso del PEEK el valor máximo obtenidos para la tensión fue mayor que el límite de elongación lo cual puede repercutir en la durabilidad del implante. Por lo tanto, en este modelo podemos concluir que el mejor material de fabricación es el Ti-6Al-4V.

**RECONOCIEMIENTOS.**

**REFERENCIAS**

[1] J. G. Darder, "Evolución de la artrodesis cervical postdiscectomía: injerto óseo, placa, caja intersomática y placa-caja," *Neurocirugía,* vol. 17, 2, p. 7, 2006.

[2] R. S. Hidalgo *et al.*, "Evolución de las cajas de polyetheretherketone (PEEK). Estudio clínico y radiológico," *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología,* vol. 31, 1, p. 10, 2017.

[3] C. Kia, C. L. Antonacci, I. Wellington, H. S. Makanjiand, and S. M. Esmende., "Spinal Implant Osseointegration and the Role of 3D Printing: An Analysis and Review of the Literature," *Bioengineering,* vol. 9, 108, p. 11, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/bioengineering9030108.

[4] S. G. Cosías. *Caja intersomática (TLIF)*. [Online]. Available: https://pdf.medicalexpo.es/pdf/surgival/caja-intersomatica/100288-144733.html.

[5] *Caja intersomática cervical Compact CORNERSTONE-SR®*. [Online]. Available: https://www.hospitrauma.com/download/HOSPITRAUMA_Medtronic.pdf

[6] M. Eryildiz, "Design and stress analysis of wider lateral lumbar interbody fusion (LLIF) cages: A finite element study," *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences,* vol. 12, 3, p. 8, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/371027019.

[7] K. Fushimi *et al.*, "Transforaminal Lumbar Interbody Fusion with Double Banana Cages: Clinical Evaluations and Finite Element Model Analysis," *Global Spine Journal,* vol. 0, 0, p. 9, 2023, doi: 10.1177/21925682231165709.

[8] N. Patel *et al.*, "Three-dimensional-printed titanium versus polyetheretherketone cages for lumbar interbody fusion: A systematic review of comparative in vitro, animal, and human studies," *Neurospine,* vol. 20, 3, 2023, doi: https://doi.org/10.14245/ns.2346244.122.

[9] B. Sun *et al.*, "Biomechanical analysis of customized cage conforming to the endplate morphology in anterior cervical discectomy fusion: A finite element analysis " *Heliyon* vol. e12923, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12923.

[10] S. Choudhury, D. Raja, S. Roy, and S. Datta, "Stress analysis of different types of cages in cervical vertebrae: a finite element study," presented at the Materials Science and Engineering, 3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME 2020), 2020.

**Sobre los autores**

[1] Profesora Adiestrada del Departamento de Bioingeniería perteneciente a la Facultad de Automática y Biomédica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

[2] Profesora Auxiliar e investigadora Auxiliar del Departamento de Bioingeniería perteneciente a la Facultad de Automática y Biomédica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DE FATIGA EN IMPLANTES MAXILOFACIALES POROSOS

**Carlos Figueroa Hernández[1], Carlos Alberto Armand Márquez[2], Jesús González Ruíz[3], Tania Rodríguez Moliner[1]**

[1]Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao, La Habana, Cuba.
[2]Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO). Calle 190 e/ 25 y 27 Cubanacán, Playa, La Habana, Cuba
[3]Centro de Biomateriales (BIOMAT) – U.H. Ave Universidad e/ G y Ronda, Vedado. La Habana, Cuba.
[1]e-mail: carlosrfh@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realizó un análisis del fenómeno de la fatiga en implantes maxilofaciales porosos utilizando las expresiones de la Mecánica de la Fractura (MF). Como elemento de partida se empleó un diseño específico de un implante personalizado, el cual reúne las características geométricas requeridas para evaluar el efecto de la fatiga en la durabilidad de estos componentes. El material propuesto para la manufactura del implante es la aleación de Ti6Al4V, de amplio uso en la implantología maxilofacial. Los parámetros geométricos, así como los estados tensionales seleccionados para el análisis de la fatiga, se corresponden con el diseño de la prótesis en cuestión y las recomendaciones que aparecen en la bibliografía. Mediante el procedimiento propuesto se determinó la vida útil del implante, para un máximo esfuerzo, la cual alcanzó el valor de 2512045.17 ciclos de carga.

**PALABRAS CLAVES:** implantes maxilofaciales porosos, fatiga, mecánica de la fractura

## FATIGUE ANALYSIS IN POROUS MAXILLOFACIAL IMPLANTS

**ABSTRACT**

In the present work an analysis of the phenomenon of fatigue was carried out in porous maxillofacial implants using the expressions of the mechanics of fracture (MF). As a starting element, a specific design of custom implant was used, which brings together the geometric characteristics required to evaluate the effect of fatigue on the durability of these components. The proposed material for implant manufacturing is the Ti6Al4V alloy, of wide use in maxillofacial implantology. The geometric parameters, as well as the tension states selected for fatigue analysis, correspond to the design of the prostheses in question and the recommendations that appear in the bibliography. Through the proposed procedure, the useful life of the implant was determined, for maximum effort, which reached the value of 2512045.17 load cycles.

**KEY WORDS:** porous maxillofacial implants, fatigue, fracture mechanical

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procedimientos quirúrgicos y protésicos en la implantología maxilofacial, han ido evolucionando en función de responder a la necesidad de lograr rehabilitaciones más eficaces y satisfactorias para los pacientes. Este tipo de terapia con base científica emergió a finales de los sesenta, tras los estudios innovadores presentados por un grupo de investigadores suecos dirigidos por el Dr. Per-Ingvar Branemark [1, 2]. Estos estudios demostraron de forma concluyente que el titanio puro se integra en el tejido óseo. Este fenómeno lo nombraron oseointegración y se definió como una conexión directa, estructural y funcional entre el hueso vivo, ordenado y la superficie de un implante sometido a carga [3, 4].

Un implante maxilofacial personalizado es un dispositivo médico diseñado acorde a la geometría ósea de cada paciente, para reemplazar o restaurar estructuras faciales o maxilares que se han dañado debido a enfermedades, traumas o malformaciones congénitas. Estos pueden variar en cuanto a propiedades del

material, dimensiones, geometrías y superficies, factores que influyen en su comportamiento biomecánico. Algunos parámetros que intervienen en el éxito del implante son las cargas a las que se somete, la calidad y cantidad del hueso presentes en los maxilares y la técnica quirúrgica utilizada [5, 6].

Los pronósticos de durabilidad de los materiales empleados en la fabricación de los implantes sometidos a fatiga se hacen a partir de ensayos de laboratorio, donde finalmente se obtiene una curva que describe el comportamiento de las tensiones que son aplicadas en el material con respecto al número de ciclos de carga. Para dar cumplimiento a lo citado anteriormente se requiere de un gran número de costosos ensayos [7].

Una alternativa para predecir la vida útil de los productos sometidos a fatiga es la modelación a partir de las expresiones de cálculo desarrolladas en la mecánica de la fractura. Estas expresiones describen físicamente los procesos de iniciación, crecimiento de grietas y rotura final de los elementos mecánicos, todo en correspondencia con las propiedades de los materiales, su diseño y los estados tensionales a los que están sometidos.

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar la resistencia a la fatiga de implantes maxilofaciales utilizando expresiones conocidas de la mecánica de la fractura, teniendo en cuenta el diseño, las propiedades mecánicas y los estados tensionales a los que están sometidos dichos elementos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Determinación del comportamiento a la fatiga de los implantes maxilofaciales de aleación de Ti6Al4V en presencia de defectos.**

Mediante el empleo de las expresiones de la mecánica de la fractura se puede determinar el número de ciclos hasta la rotura de un elemento mecánico. A continuación, se muestra un análisis para obtener las expresiones requeridas que permitirán calcular los ciclos de carga hasta la rotura de un implante poroso.

En el análisis del fenómeno de fatiga se tomarán en cuenta diferentes parámetros tales como: las dimensiones de los micro y macrodefectos, el tamaño del grano, la presencia de fases de nitruros y carburos, el módulo de elasticidad de primer, segundo orden y el coeficiente de Poisson. También deben ser considerados otros elementos como: la energía de Griffith para una grieta con una dimensión determinada, la energía de deformación de la dislocación de borde, el trabajo realizado por el esfuerzo en formar el núcleo de una grieta, el número de dislocaciones y el vector de Burger [8, 9].

**Modelación para el inicio de una grieta de fatiga.**

Obtener un modelo para calcular con precisión el número de ciclos necesarios hasta que comience una grieta de fatiga de contacto (***Ni***) permitirá que se puedan hacer estimados de vida útil en elementos mecánicos sin que sea necesario hacer costosos experimentos. A continuación, se muestra el análisis realizado para obtener un modelo de iniciación de grietas de fatiga en presencia de defectos.

El mecanismo de fractura propuesto para el análisis y obtención del modelo de iniciación de grietas es el de Cleavage [10], teniéndose que, para ***n*** pares de dislocaciones, las cuales producen un desplazamiento ***nb***, la longitud del núcleo formado producto de la acumulación de dislocaciones es igual a ***c***, pudiéndose reconocer distintas contribuciones a la energía total, expresadas por unidad de espesor. ***E*** es el módulo de elasticidad longitudinal, ***G*** es módulo de elasticidad tangencial, y $\boldsymbol{\nu}$ es el coeficiente de Poisson. A continuación, se muestran los tipos de energía que participan en la formación de grietas [11].

La energía de Griffith de una grieta de longitud total ***c*** bajo un esfuerzo ***p***.

$$Eg_1 = -\frac{p^2(1-\upsilon^2)}{E}\left(\frac{C}{2}\right)^2 \quad (1)$$

El trabajo realizado por el esfuerzo en formar el núcleo

$$Eg_2 = -\frac{1}{2}pnbc \quad (2)$$

La energía de deformación de la dislocación de borde "agrietada" con vector de Burger *nb*.

$$Eg_3 = +\frac{G(nb)^2}{4\pi(1-\upsilon)}\ln\left(\frac{2r}{c}\right) \quad (3)$$

Donde, ***r*** es tomado como la distancia sobre la cual este campo de deformación es efectivo y ***c/2*** es el radio del núcleo de la dislocación de borde agrietado, ***τeff*** es resistencia al movimiento de las dislocaciones.
Para el caso de las tensiones tangenciales y suponiendo que en la grieta ***c=nb=R***, las expresiones anteriores (1)-(2)-(3) se pueden escribir como sigue:

$$Eg_1 = -\frac{R^2\,\tau eff^2(1-\upsilon^2)}{4G} \quad (4)$$

$$Eg_2 = -\frac{R^2\tau eff}{2} \quad (5)$$

$$Eg_3 = +\frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)}ln(2) \quad (6)$$

**Etapa de iniciación de grietas de fatiga.**

En un material real, hay presencia de defectos e inclusiones, que actuarán como concentradores de tensiones, haciendo que en sus proximidades pueda aparecer deformación plástica y en consecuencia dislocaciones que provocan la aparición de microgrietas.

La posición y la forma en que se inicia una grieta depende de la microestructura del material, del tipo de carga aplicada y de la geometría del implante. El comienzo de la grieta de fatiga desde un defecto (agujero, rosca, chavetero, cambio de sección), puede ocurrir con cargas que no sobrepasan el límite de fluencia del material. Por otro lado, a nivel de grano las tensiones pueden provocar el movimiento de las dislocaciones, originando las grietas. El número de ciclos para el inicio de una grieta en un defecto se puede determinar por la expresión siguiente (7) [12].

$$Ni.\Delta Wd = 4\pi.\rho.\gamma \quad (7)$$

Donde, ***ΔWd*** es la energía de deformación en la punta de la grieta, ***γ*** es la energía de fractura por unidad interfacial de área y ***ρ*** radio del defecto en el eje de mayor magnitud.

Sustituyendo (4)-(5)-(6) en (7) se obtiene (8):

$$Ni\left(\frac{R^2\,\tau eff^2(1-\upsilon^2)}{4G}+\frac{R^2\tau eff}{2}\right) = 4\pi.\rho.\gamma+\frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)}ln(2) \quad (8)$$

Teniendo en cuenta que a la energía de deformación (***ΔWd***) estarán asociados los valores de energía $Eg_1$ y $Eg_2$, y que al valor de energía superficial ($\gamma$) se le añadirá el valor de energía $Eg_3$, la ecuación (8) una vez despejado el número de ciclos ***Ni*** quedará de la forma siguiente (9).

$$Ni = \frac{4\pi.\rho.\gamma + \frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)} ln(2)}{\left(\frac{R^2\,\tau eff^2\left(1-\upsilon^2\right)}{4G} + \frac{R^2\tau eff}{2}\right)} \quad (9)$$

La energía de fractura por unidad interfacial de área (***γ***) se expresa de la manera siguiente (10) [13].

$$\gamma = \frac{\sigma f^2}{4E}\pi(1-\upsilon^2)R \quad (10)$$

***R*** representa el tamaño del defecto. Si se considera la influencia de un carburo, entonces ***R*** se corresponde con el tamaño del mismo; en caso de no encontrarse elementos formadores de carburos, ***R*** será tomado entonces como el diámetro de grano, o del poro o agujero, ***σf*** es el límite de fluencia. Por tanto, la ecuación (10) se puede expresar como sigue (11).

$$Ni = \frac{4\pi\left(\frac{\sigma f^2}{4E}\pi(1-\upsilon^2)R\right) + \frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)} ln(2)}{\left(\frac{R^2\,\tau eff^2\left(1-\upsilon^2\right)}{4G} + \frac{R^2\tau eff}{2}\right)} \quad (11)$$

En este análisis se asume que el proceso de acumulación de dislocaciones es irreversible, por lo que es importante tener presente el factor de irreversibilidad ***f*** [14]. De forma experimental se han obtenido valores del factor de irreversibilidad, los mismos se encuentran en el rango de $10^{-4}$ para pequeñas amplitudes de deformaciones plásticas y hasta $10^{-1}$ para grandes amplitudes de deformaciones plásticas. Considerando el factor de irreversibilidad ***f***, la ecuación (11) se puede escribir de la manera siguiente (12).

$$Ni = \frac{4\pi\left(\frac{\sigma f^2}{4E}\pi(1-\upsilon^2)R\right) + \frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)} ln(2)}{\left(\frac{R^2\,\tau eff^2\left(1-\upsilon^2\right)}{4G} + \frac{R^2\tau eff}{2}\right)} \frac{2-f}{f} \quad (12)$$

**Propagación de una grieta de fatiga.**

La propagación de una grieta comienza cuando la grieta ha alcanzado un tamaño crítico, de forma tal que su ritmo de crecimiento sea estable y no se vea afectado por la microestructura del material y las características de la superficie donde se ha generado. Bajo estas condiciones, el material puede ser considerado continuo y homogéneo, entonces el crecimiento de la grieta puede ser analizado haciendo uso de los conceptos de la Mecánica de la Fractura en un comportamiento lineal elástico o elasto plástico.

Esta propagación de la grieta por fatiga constituye la segunda y última etapa en el proceso de rotura. Su comportamiento se puede determinar utilizando la expresión de Paris-Erdogan (13) [14], la cual relaciona la velocidad de propagación de una grieta ***dc/dN*** con las constantes del material ***A*** y ***p***, así como con la variación del coeficiente de intensificación de tensiones ***ΔK***.

$$\frac{dc}{dn} = A(\Delta K)^p \quad (13)$$

Aplicándose integral a la ecuación (13) se obtiene el número de ciclos hasta la rotura, $C_0$ es el tamaño del núcleo de la grieta inicial y $C_f$ la longitud final de la grieta. Ecuación (14).

$$Np = \int_{Co}^{Cf} \frac{dc}{A(\Delta K)^p} \quad (14)$$

Para el cálculo del factor de intensificación de tensiones ***(ΔK)*** se puede utilizar la expresión de Murakami (15) [15].

$$\Delta K = \sigma a \sqrt{\pi . c . \sec\left(\frac{\pi . c}{W}\right)} \quad (15)$$

Donde, $\sigma a$ es la tensión normal aplicada sobre la superficie de la grieta, $W$ es la distancia que recorre la grieta hasta que ocurre la rotura y $c$ es la longitud de la grieta en su recorrido.

La etapa de propagación de una grieta de fatiga hasta la rotura se puede determinar sustituyendo (15) en (14), obteniéndose la expresión (16).

$$Np = \int_{Co}^{Cf} \frac{dc}{A(\sigma a \sqrt{\pi.c.\sec\left(\frac{\pi.c}{W}\right)})^P} \tag{16}$$

**Cálculo del número final de ciclos de fatiga.**

El número de ciclos hasta la rotura ($Nf$) de un elemento cualquiera se puede dividir en dos fases: iniciación ($Ni$) y propagación de una grieta ($Np$). Dichas fases se modelan de forma distinta, se usan criterios de fatiga multiaxial para la primera y la mecánica de la fractura para la segunda. En teoría habría que combinar las dos, pero debido a su dificultad en muchas ocasiones los modelos de predicción desprecian una u otra [14].

La expresión general para el cálculo de la vida útil a la fatiga de un elemento mecánico es la siguiente (17).

$$Nf = Ni + Np \tag{17}$$

El número final de ciclos de fatiga hasta la rotura del implante se puede determinar sustituyendo (12) y (16) en (17), para obtener la ecuación (18).

$$Nf = \frac{4\pi\left(\frac{\sigma f^2}{4E}\pi(1-\upsilon^2)R\right)+\frac{GR^2}{4\pi(1-\upsilon)}ln(2)}{\left(\frac{R^2\,\tau eff^2\left(1-\upsilon^2\right)}{4G}+\frac{R^2\tau eff}{2}\right)}\frac{2-f}{f} + \int_{Co}^{Cf} \frac{dc}{A(\sigma a \sqrt{\pi.c.\sec\left(\frac{\pi.c}{W}\right)})^P} \tag{18}$$

**Parámetros requeridos para determinar el comportamiento a la fatiga del implante maxilofacial.**

Los valores de carga que se proponen se muestran a continuación en la Tabla 1. Estas magnitudes se establecen tomando como referencia las recomendaciones establecidas en la bibliografía para ensayos de fatiga y la norma 14801para implantes dentales [16].

Tabla 1: Niveles de cargas recomendadas, ISO 14801

| Cargas Máximas (N) | Cargas Mínimas (N) |
|---|---|
| 110 | 11 |
| 120 | 12 |
| 130 | 13 |
| 140 | 14 |
| 160 | 16 |
| 200 | 20 |
| 220 | 22 |

El modelo propuesto de implante personalizado es simplificado, Figura 1. Los cálculos se realizan considerando el surgimiento y crecimiento de una grieta en la zona donde aparecen las mayores tensiones equivalentes, en este caso, en los agujeros. Este procedimiento se puede aplicar a cualquier parte del implante donde se concentren las tensiones.



Figura 1: Implante poroso maxilofacial personalizado.
(Imagen: Cortesía de colaboradores del Servicio de Cirugía Maxilofacial, Hospital Calixto García.)

La aleación del material del implante se toma como Ti6Al4V, la cual es de amplio uso en la implantología maxilofacial. Los parámetros y coeficientes requeridos para el cálculo del número de ciclos ($N_f$) utilizando la expresión (18) se muestran a continuación:

$\sigma f$ - Límite de fluencia del material del implante (Ti6Al4V) = 825-829 MPa
$E$ - Módulo de elasticidad del Ti6Al4V = 110000 MPa
$R$ - Radio del defecto (agujero). Se toma como mínimo = 0.2 mm
$\upsilon$ - Coeficiente de Poisson = 0.32
$G$- Módulo de elasticidad tangencial del implante = 44000 MPa
$\tau$**eff** - Resistencia al movimiento de las dislocaciones = 25 N $mm^{-2}$
$f$ - Factor de irreversibilidad de las dislocaciones = $10^{-4}$
$C_0$ - Longitud inicial de la grieta = 0.2 mm
$C_f$ - Longitud final de la grieta. Se considera un implante de 4 mm de espesor
$C = W$ - Longitud final de la grieta, se hace coincidir con el espesor del implante = 4 mm
$A = 1x10^{-12}$
$P = 3.0$
$\sigma_a$ - Tensión sobre la superficie de la grieta. Se calcula como la diferencia entre la tensión máxima y mínima para cada nivel de carga considerando la componente de las fuerzas durante un ensayo de fatiga en implantes dentales [14]. Los valores calculados son los siguientes Tabla 2:

Tabla 2: Niveles de tensiones sobre la superficie de la grieta de fatiga.

| $\sigma a$ (MPa) |
|---|
| 23.32 |
| 21.2 |
| 16.96 |
| 14.85 |
| 13.78 |
| 12.73 |
| 11.67 |

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el cálculo del número de ciclos hasta la rotura ($Nf$) se utilizó el número de ciclos para la iniciación de la grieta ($Ni$) sumado a la propagación de una grieta ($Np$). Después de resuelta la integral, se sustituyen los valores y se calcula $Nf$ por la expresión dada.

Las estimaciones de la vida útil del implante obtenidas a partir de los modelos de la mecánica de la fractura se pueden apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3: Vida estimada (Ciclos) del implante maxilofacial personalizado en los siete niveles de carga.

| Niveles de carga máxima (N) | ***Ni*** (ciclos) | ***Np*** (ciclos) | ***Nf*** (ciclos) |
|---|---|---|---|
| 110 | 1224546.78 | 10293818.08 | 11518364.86 |
| 120 | | 7923688.91 | 9148235.69 |
| 130 | | 6242529.33 | 7467076.11 |
| 140 | | 4987287.77 | 6211834.55 |
| 160 | | 3344306.17 | 4568852.95 |
| 200 | | 1712745.75 | 2937292.53 |
| 220 | | 1287498.39 | 2512045.17 |

En la tabla anterior se evidencia la importancia de la fase de iniciación respecto a la vida total. Esta es la fase de mayores números de ciclos en la que se generan microgrietas en la zona cercana a la superficie o en las proximidades de defectos del material, en este caso en los agujeros. Como puede comprobarse en esta tabla, en general, la vida de iniciación tiende a crecer conforme lo hace la vida estimada para valores bajos de carga.

Para valores elevados de carga, la vida de iniciación es pequeña igual que la vida total. La expresión de cálculo para la etapa inicial está en función del módulo de elasticidad tangencial, de la resistencia del material al movimiento de las dislocaciones y de la energía requerida para la formación de la superficie agrietada. En el caso de fase de propagación de la grieta, el número de ciclos es relativamente pequeño en comparación con los obtenidos en la fase de iniciación.

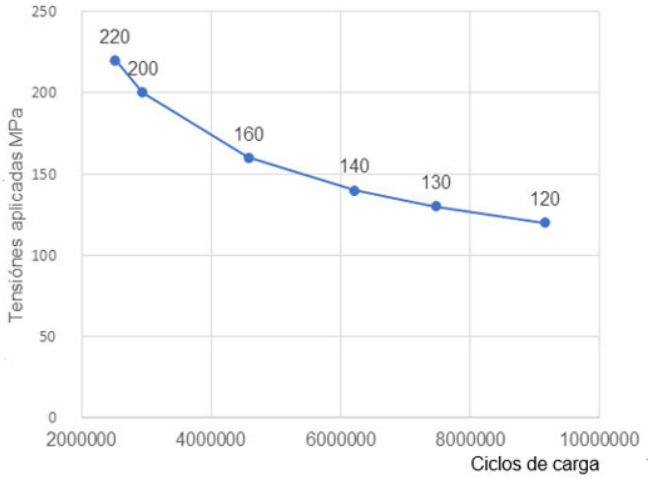



Figura 2: Comportamiento a la fatiga.

El gráfico anterior muestra una tendencia al aumento de los ciclos de vida útil en la medida que disminuyen las cargas aplicadas. Este comportamiento se corresponde con los resultados de los ensayos tradicionales de fatiga en elementos metálicos [17].

## 4. CONCLUSIONES

El empleo de las expresiones de la mecánica de la fractura, teniendo en cuenta el diseño, las propiedades mecánicas y los estados tensionales, permitió evaluar la resistencia a la fatiga de implantes poroso maxilofaciales personalizados, construidos de la aleación de titanio Ti6Al4V.

**REFERENCIAS**

1. Zerón A., Gutiérrez de Velasco. Oseointegración: serendipia o razonamiento científico. Revista Mexicana de Odontología Clínica. 2006; 1 (4). Disponible en Web: https://www.academia.edu/906081/Oseointegraci%C3>.
2. LVM, L. Estética en prótesis removibles. Revista Cubana de Estomatología. 2010 (2) 224-235. https://scielo.sld.cu/pdf/est/v47n2/est11210.pdf.
3. Nubesh Khana S., Ramachandranb M., cols. Osseointegration and more - A review of literature. Indian Journal of Dentistry 2012; (2): 72-76. 2012 Indian Journal of Dentistry. All rights reserved. Disponible en: doi: 10.1016/j.ijd.2012.03.012.
4. Pérez, Pérez O. Factores de Riesgo para el Fracaso de Implantes Dentales Osteointegrados en la Fase Quirúrgica: Universidad de Ciencias Médicas de la Habana; 2012.
5. Lin D., Li Q., cols. Dental implant induced bone remodeling and associated algorithms. Journal of the Mechanical of Biomedical Materials. 2009; 2:410-32.
6. Sahiwal I. G., Woody R. D., cols. Macro design morphology of endoseous dental implants. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2002;87(5):543-51.
7. Figueroa, Hernández. C. "Análisis de la nucleación de grietas de fatiga de contacto utilizando un programa de elemento finito en varios materiales con defectos". Revista Cubana de Ingeniería. 2016.
8. Figueroa, Hernández. C. "Fatiga de Contacto". Monografía. Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba. Universidad Federal de Rio Grande del Norte, Brasil. Junio 2017.
9. Figueroa, Hernández. C. "Influencia del nódulo de grafito en la rotura por fatiga de contacto de una fundición nodular". Ingeniería Mecánica 1 (2005), pp. 73-77.
10. Echeverría A. "Influencia de la orientación de los planos de clivaje en el avance de una grieta en fractura frágil por clivaje". Anales de Mecánica de la Fractura, vol. 16 (1999).
11. Figueroa, Hernández. C. "Modelos matemáticos para el cálculo de la fatiga de contacto a partir de la formación de un micropitting" Ingeniería Mecánica. Vol. 13. No. 3, septiembre-diciembre, 2010, p. 33-37.
12. Tanaka, K. "A theory of fatigue crack initiation at inclusion". Metallurgical Transaction *13A*. 1982. vol. 117, nº 23.
13. Knott, J, F. "Fundamentals of Fracture Mechanics", Department of Metallurgy and Materials Science, Cambridge University. 1973.
14. GlodezÏ, S. "Surface fatigue of gear teeth flanks". Computers and Structures 73 (1999) 475±483.
15. Murakami, Y. "Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions. Kyushu University, Japan", 2002, ELSEVIER. ISBN: 0-08-044064-9.
16. Norma ISO 14801. Ensayo de fatiga dinámica para implantes dentales endoóseos. 2016.
17. Ayllón Guerola, J.M. "Análisis del proceso de fatiga en implantes dentales". Universidad de Sevilla Escuela Superior de Ingeniería. 2014.

**Sobre los autores**

Carlos Figueroa Hernández: Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana; Carlos Alberto Armand Márquez: Biotecnólogo Superior II Nivel del Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO); Jesús González Ruíz: Investigador Titular del Centro de Biomateriales de la Universidad de La Habana; Tania Rodríguez Moliner: Profesora Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO A PARTIR DE IMÁGENES MÉDICAS USANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**Carlos Alberto Armand Márquez[1], Carlos Figueroa Hernández[2], Jesús González Ruíz[3], Tania Rodríguez Moliner[2]**

[1]Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO). Calle 190 e/ 25 y 27 Cubanacán, Playa, La Habana, Cuba; [2]Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba; [3]Centro de Biomateriales (BIOMAT) – U.H. Ave Universidad e/ G y Ronda, Vedado, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: armand@cneuro.edu.cu

## RESUMEN

El diseño de implantes personalizados a partir de imágenes médicas consta de varios pasos iniciando con la segmentación de imágenes para generar un modelo digital 3D. Este método tiene varias fuentes de errores intrínsecos a la imagen de tomografía, fundamentalmente la dispersión producida por artefactos metálicos y la colisión de tejidos adyacentes, donde el especialista tiene que definir la región capa por capa, un paso tedioso que enlentece el proceso de la modelación. El diseño asistido por Inteligencia Artificial, es una forma eficaz e innovadora de abordar estos problemas de diseño, automatizando estos monótonos procesos, que influye en evitar tareas repetitivas y reducir la carga de trabajo del especialista, el cual puede dedicar más tiempo a tareas prioritarias del diseño. Este trabajo se realiza con el objetivo de exponer algunas ventajas que aporta la Inteligencia Artificial al diseño a partir de imágenes médicas, en la obtención de dispositivos implantables personalizados. Se realiza una comparativa de un caso de estudio en un proceso de segmentación Maxilofacial, entre el método tradicional y un método utilizando técnicas de IA. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se aprecian las ventajas obtenidas en el proceso asistido por IA, con una rapidez mayor a 100 veces que el proceso tradicional, así como observamos también las ventajas cualitativas en la obtención de la geometría del modelo 3D. La utilización de esta técnica automatizada, brinda una potencialidad que permite obtener mejores diseños cualitativamente y crear soluciones funcionales rápidamente, lo cual revolucionará el desarrollo y manufactura de estos dispositivos.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño personalizado, Inteligencia Artificial (IA), segmentación.

# DESIGN FROM MEDICAL IMAGES USING TECHNIQUES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

## ABSTRACT

The design of custom implants from medical images consists of several steps starting with image segmentation to generate a 3D digital model. This method has several sources of errors in the CT image, mainly the scattering produced by metal artifacts and the collision of underlying tissues, where the specialist has to define the region layer by layer, a tedious step that slows down the modeling process. Artificial Intelligence - assisted design is an effective and innovative way to address these design problems, automating these monotonous processes, which helps to avoid repetitive tasks and reduce the workload of the specialist, who can spend more time on priority design tasks. This work is carried out with the aim of exposing some advantages that Artificial Intelligence brings to the design from medical images, in obtaining personalized implantable devices. A comparison of a case study in a Maxillofacial segmentation process is made, between the traditional method and a method using AI techniques. The results obtained were satisfactory, the advantages obtained in the AI-assisted process can be appreciated, with a speed greater than 100 times than the traditional process, as well as the qualitative advantages in obtaining the geometry of the 3D model. The use of this automated technique provides a potential that allows obtaining better designs qualitatively and creating functional solutions quickly, which will revolutionize the development and manufacture of these devices.

**KEY WORDS:** Custom design, artificial intelligence (AI), segmentation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las Prótesis Personalizadas son uno de los grandes avances de los últimos años. Las principales ventajas que aportan es que, debido a una mayor precisión, la agresión y el sangrado son menores, lo que aumenta considerablemente la eficiencia del acto quirúrgico. Además, la hospitalización se acorta y la recuperación es más cómoda y rápida. Hoy en día, los implantes personalizados suponen el 1,4% del mercado, a pesar de las ventajas que aportan a los pacientes y al procedimiento quirúrgico. Esto se debe al alto coste tecnológico y a los largos plazos de entrega. La segmentación, la planificación y el diseño a partir de imágenes médicas DICOM, suelen ser los pasos más difíciles y arduos a la hora de crear dispositivos personalizados [1, 2, 3].

La segmentación de imágenes para generar un modelo digital tridimensional se entiende como la división o separación de aquellas partes de la imagen que pertenezcan a una misma estructura, esta puede tener varias fuentes de errores intrínsecos a la imagen tomográfica: entre ellos la colisión de tejidos adyacentes y la dispersión producida por artefactos metálicos, Fig. 1. En ambas situaciones, el especialista tiene que definir la región capa por capa en el proceso, un paso tedioso que ralentiza el proceso de modelado. [4, 5].

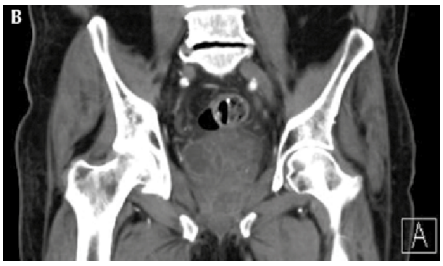
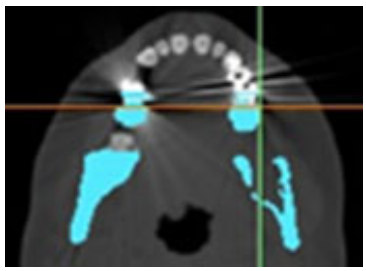
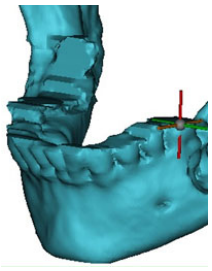
*a-)*  *b-)*  *c-)* 

*Figura 1: Fuentes de errores de la imagen tomográfica: a-) Colisión de tejidos adyacentes; b-) Dispersión producida por artefactos metálicos; c-) Defectos en la segmentación debido a los artefactos.*

Una forma efectiva de resolver estos problemas en el diseño es mediante la automatización de éstos monótonos procesos, lo cual influyen ampliamente en disminuir la carga computacional, evitar tareas repetitivas y reducir la carga de trabajo de los especialistas, los cuales pueden dedicar más tiempo a las tareas prioritarias de diseño. [6, 7].

El diseño de dispositivos implantables personalizados asistido por Inteligencia Artificial (IA) es un enfoque innovador que aprovecha modelos de aprendizaje automático de datos para generar modelos en 3D ajustados a la anatomía de cada paciente y con restricciones específicas.

La aplicación de ésta técnica en la segmentación para la reconstrucción ósea Maxilofacial a partir de imágenes médicas DICOM, acelerará el proceso de desarrollo del producto, ayudando a automatizar tareas repetitivas en el diseño, permitiendo que los diseñadores puedan enfocarse en tareas más críticas de la personalización del dispositivo. [6, 7].

Las ventajas significativas que proporciona la aplicación de esta técnica son fundamentalmente que: aumenta la eficiencia y la calidad de la segmentación de manera inmediata utilizando los algoritmos de IA, así como la planificación y el diseño, reduce la carga de trabajo de los ingenieros y evita repetitivas tareas en el procesamiento de imágenes, puede comprobar con facilidad la exactitud de los resultados de su segmentación automática, y permite afrontar un alto flujo de trabajo sin sacrificar la calidad, lo cual disminuye los costos y se revierte en calidad de vida para el paciente. [6, 7].

Se realiza una comparativa de un caso de estudio realizado a partir de una misma Tomografía (TC), utilizando un método de segmentación tradicional y un método de segmentación a partir de técnicas de IA, con el objetivo de comprobar las potencialidades anteriormente mencionadas para el diseño a partir de imágenes médicas DICOM.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza el estudio de un caso mandíbular, de un paciente con Ameloblastoma (tumor odontogénico altamente invasivo), con previa planificación quirúrgica conjunta con los clínicos para obtener los requisitos necesarios para la personalización. Se realiza una segmentación a partir de imágenes DICOM mediante los dos procesos: segmentación tradicional y segmentación utilizando técnicas de Inteligencia Artificial.

### Proceso de segmentación tradicional

La segmentación que se realiza utilizando el proceso tradicional, se efectúa con el apoyo de un software especializado a partir de una imagen DICOM de Tomografía Computarizada (TC), como se muestra en la Fig. 2. [4, 5].

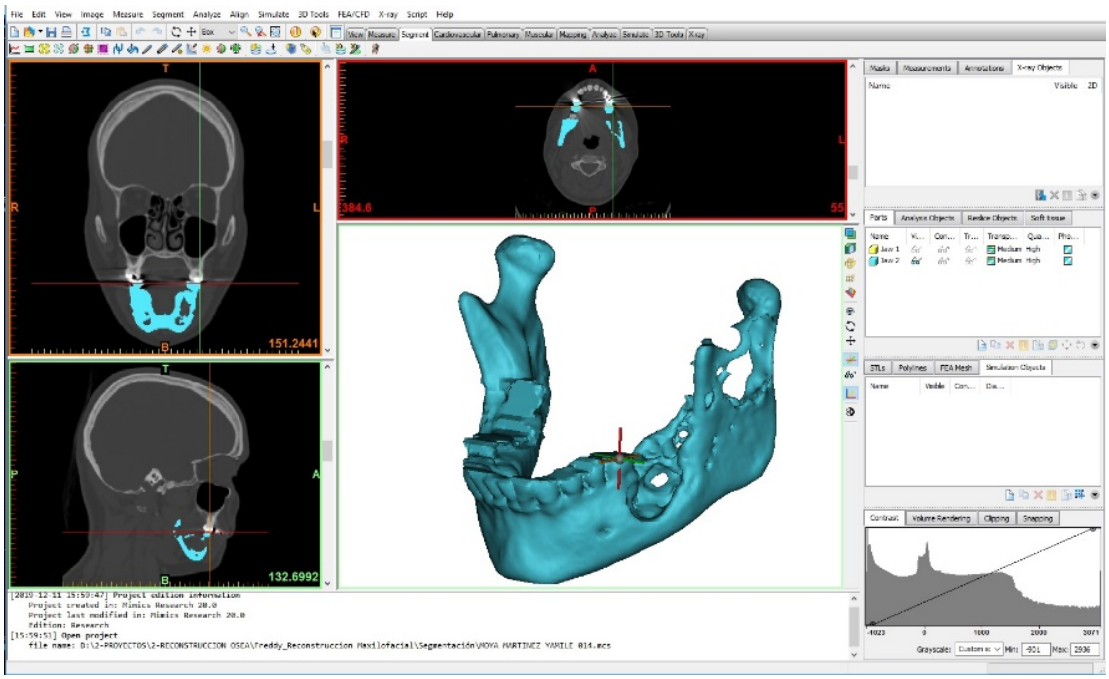


*Figura 2: Segmentación Mandibular realizada mediante proceso tradicional a partir de imágenes DICOM de TC.*

### Proceso de segmentación utilizando Inteligencia Artificial

Para la segmentación utilizando Inteligencia Artificial, se utiliza software gratuito y de código abierto Blue Sky Plan®, el cual es un software libre de planificación médica y de última generación, líder en planificación de implantes quirúrgicos, Fig. 3. [8, 9].

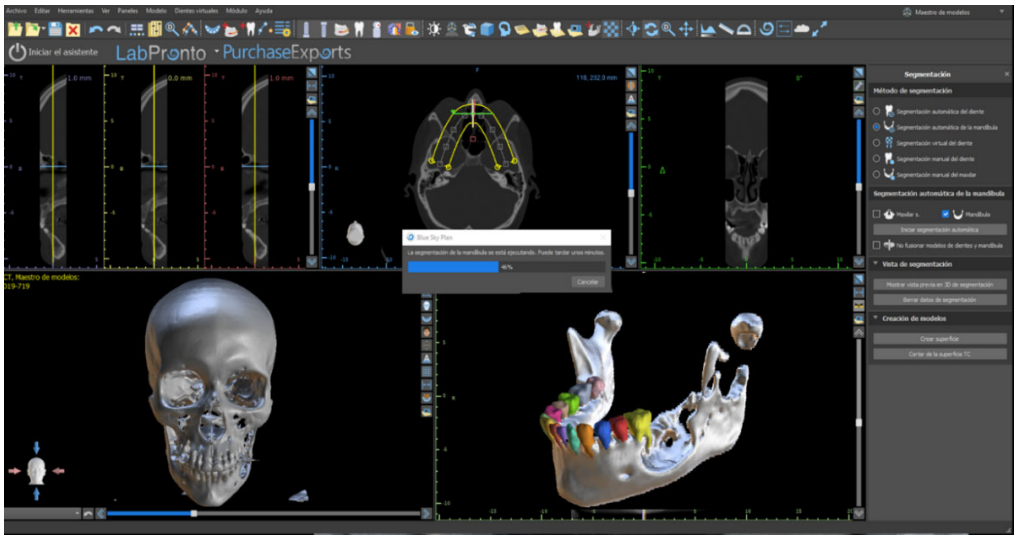



*Figura 3: Segmentación Mandibular mediante Inteligencia Artificial en el software Blue Sky Plan.*

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la segmentación que se realizó utilizando el proceso tradicional, se obtuvo un modelo 3D con defectos en la geometría, consecuencia de las dispersiones en las imágenes DICOM producidas por los artefactos metálicos, Fig. 4. Además, debido básicamente al engorroso proceso manual que se realizó capa por capa para la mitigación de los defectos derivados de las dispersiones por artefactos metálicos, el espacio de tiempo que se tomó para la obtención de la segmentación, fue de un total aproximado de 22 horas.

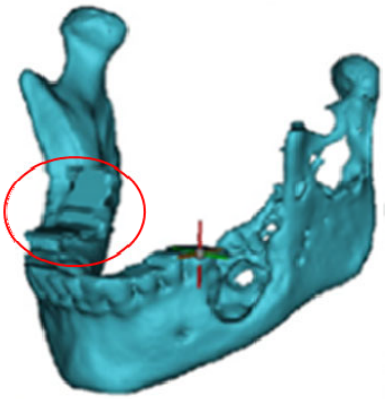


*Figura 4: Modelo donde se observa los defectos derivados de las dispersiones por artefactos metálicos.*

En la segmentación realizada mediante Inteligencia Artificial (IA), se observa durante el proceso las dispersiones producidas por los artefactos metálicos en las imágenes, ya que se realizó con la misma TC, como se observa en la figura 5. No obstante, durante el proceso de procesamiento que realiza la herramienta mediante IA, éstas dispersiones se eliminan completamente y se obtiene un modelo libre de defectos y con una estructura geométrica muy bien definida, como se puede observar en la figura 6. Además, el espacio de tiempo que se tomó para la obtención de la segmentación, disminuyó considerablemente a solo aproximadamente a 12 minutos.

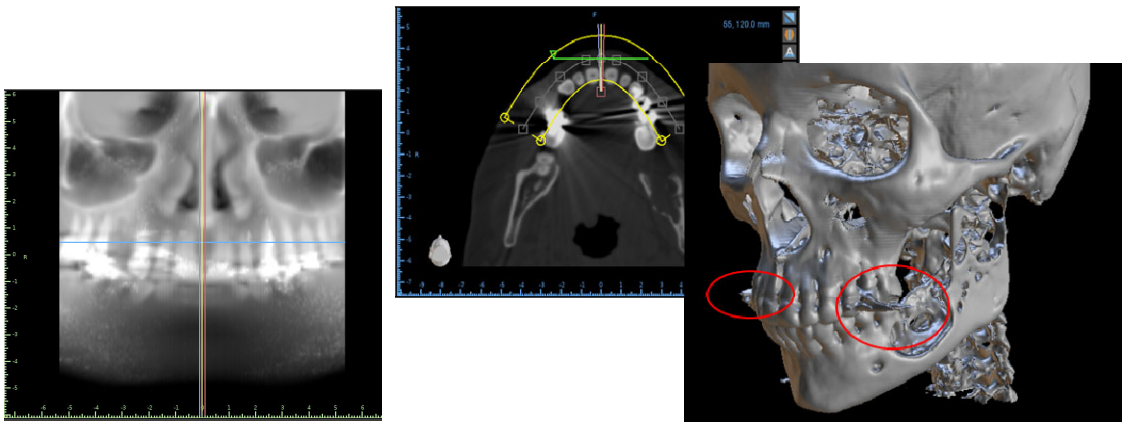


*Figura 5: Modelo obtenido a partir de la segmentación por IA. Se observan los defectos derivados de las dispersiones por artefactos metálicos.*

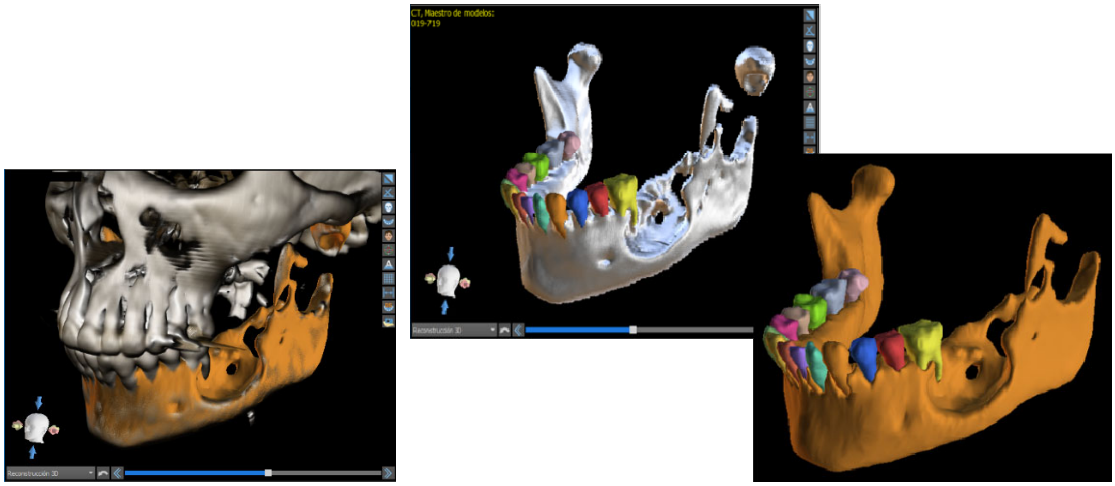


*Figura 6: Modelo mandibular procesado por IA, observando una estructura geométrica muy bien definida.*

## 4. CONCLUSIONES

Se puede concluir que la implementación de técnicas de IA en la segmentación a partir de imágenes médicas supone un salto cualitativo en el diseño de implantes personalizados. Se obtuvo un avance cualitativo sustancial en los resultados de la segmentación mandibular asistida por IA, observado en la calidad de la segmentación geométrica. Por otra parte, se obtuvieron resultados muy satisfactorios en cuanto a la disminución del tiempo de duración del proceso de segmentación: el realizado con la asistencia de IA disminuyó en casi 100 veces comparado con la duración del proceso de la segmentación tradicional.

Estas potencialidades, permiten acortar considerablemente el tiempo de obtención de implantes personalizados con estructuras complejas y en consecuencia reducir los costes, lo que redunda en llegar a más pacientes. Esta herramienta revolucionará el diseño y la fabricación de dispositivos implantables personalizados.

A modo de continuidad, se está trabajando en el estudio de precisión geométrica a partir de la superposición de los modelos, para evaluar el nivel de incertidumbre entre las superficies de la geometría resultado de la segmentación y el modelo 3D inicial de la imagen DICOM.

**REFERENCIAS**

1. Miranda Villasana, E.; Rivera Estolano, T.; Delgado Galván, P.: "Reconstrucción mandibular con prótesis hemimandibular de titanio HTR con reemplazo total de ATM de polietileno de diseño individualizado por secuelas de resección tumoral". Vol. 6, Nº 3. Sept-Dic 2010. pp. 100 - 105.
2. Hernandez Vaquero, D.; Soler Celdrán, J.; Fernandez Milia, C.; Fernandez Corona, C.; Menéndez Viñuela, G.: "Utilidad de la reconstrucción tridimensional con tomografía computarizada en Traumatología y Ortopedia". Rev Esp Cir Osteoart. Vol. 27, Nº 159. p.p 147 – 151.
3. Sánchez Acuña, J.G.; Hernández Feria, O.; Hernández Díaz, Y.; Acosta Rodríguez, A.: "Reemplazo mandibular con prótesis personalizada de titanio posterior a la exéresis de ameloblastoma". Revista Cubana de Estomatología. Vol. 58, Nº 3 (2021).
4. Olías Sánchez, F.J.: "Segmentación en 3D de huesos en imágenes TAC". Director: José A. Pérez Carrazco. Tesis. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 2014.
5. Martinez Santiago, J.M.: "Segmentación en imágenes médicas: Hueso y músculo". Director: José M. Martínez Santiago. Tesis. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 2016.
6. "El auge de las imágenes médicas impulsadas por la AI: una nueva era en el diagnóstico sanitario". 2024. Disponible en: *https://www.postdicom.com/es/blog/rise-of-ai-driven-medical-imagin*.
7. Bravo Medina, P.R.; Pulgarin Fernández, C.M., Ramos-Montiel; R.: "Inteligencia artificial en diagnóstico, pronóstico y planificación del tratamiento de alteraciones de la región cráneo-cérvico maxilofacial en ortodoncia". Anatomía Digital. 2023. 6 (1.2):63-84. DOI: 10.33262/anatomiadigital.v6i1.2.2515.
8. Tenajas, R.; Miraut, D.: "The technological renaissance of radiology: The open source revolution and artificial intelligence". Revista Cubana de Informática Médica. 2023; 15 (2):e652.
9. BlueSkyBio. "Blue Sky Plan® *v4.13"*. 2024. Disponible en: *https://www.blueskybio.com/pages/free-treatement-planning-software*.

**Sobre los autores:**

Carlos Alberto Armand Márquez: Biotecnólogo Superior II Nivel, Neurotecnólogo I Nivel del Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO); Carlos Figueroa Hernández: Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana; Jesús González Ruíz: Investigador Titular del Centro de Biomateriales de la Universidad de La Habana; Tania Rodríguez Moliner: Profesora Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE EN ANDAMIOS DE PLA: UNA REVISIÓN

**Jesús Eduardo González-Ruíz[1], Loreley Morejón-Alonso[2], Elsa Adelina Paz Estévez[3], Carlos Rafael Figueroa Hernández[4], Marcelino Rivas Santana[5]**

[1]Departamento de Biomateriales Cerámicos y Metálicos, Centro de Biomateriales, Universidad de La Habana, Avenida Universidad s/n entre G y Ronda, Vedado, La Habana, Cuba, [2]Departamento de Química General e Inorgánica, Facultad de Química, Universidad de La Habana, Calle Zapata s/n / G y Carlitos, Vedado La Habana, Cuba, [3]Parque Científico Tecnológico de Matanzas S.A., Carretera a Varadero, Km 2 ½, Matanzas, Cuba, [4]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [5]Centro de Fabricación Avanzada y Sostenible, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Carretera a Varadero, Km 2 ½, Matanzas, Cuba.
[1]e-mail: jgonzalezr1961@gmail.com

**RESUMEN**

En la última década, el campo biomédico ha experimentado un crecimiento masivo y sostenido en varias facetas de la regeneración de tejidos humanos. En gran medida ello se ha potenciado por el uso de biomateriales sintéticos, en específico en la confección de dispositivos biomédicos implantables. Al encontrarse la superficie de los dispositivos sintéticos en contacto directo con el organismo vivo, se debe prestar especial atención a sus características y propiedades, ya que su interacción con el tejido huésped influye sobre el éxito o el fracaso de la implantación. En este trabajo se presenta una visión actualizada de la modificación superficial de andamios de ácido poliláctico, haciendo énfasis en aquellos elaborados mediante Manufactura aditiva. Para ello se realizó una revisión bibliográfica sobre los tratamientos que permiten su modificación superficial o la deposición en sus superficies de recubrimientos de fosfatos de calcio. Se encontró que para mejorar el comportamiento in vivo de dispositivos biomédicos de ácido poliláctico se utiliza una amplia variedad de tratamientos de modificación superficial basados en principios físicos o químicos. Además, se determinó que los recubrimientos de fosfatos de calcio, especialmente los formados por apatitas, mejoran significativamente las características y propiedades superficiales de los dispositivos biomédicos de ácido poliláctico.

**PALABRAS CLAVE:** ácido poliláctico, andamio, modificación superficial, recubrimiento, apatita.

## SURFACE TREATMENTS ON PLA SCAFFOLD: A REVIEW

**ABSTRACT**

In the last decade, the biomedical field has experience massive and sustained growth in several areas of human tissue regeneration. To a great extend this has been enhanced, specifically in the manufacture of implantable biomedical devices, with the use of synthetic biomaterials. Since the surface of synthetic devices is in direct contact with the living organism, special attention must be given to its characteristic and properties, since its interaction with host tissue influence the success or failure of implantation. This work presents an update vision of the surface modification of polylactic acid scaffold, emphasizing those made through Additive manufacture. For this purpose, a review was carried out on the treatments that allow their surface modification or the deposition on their surfaces of calcium phosphate coatings. It was found that to improve the in vivo behavior of the polylactic acid biomedical devices, a wide variety of surface modification treatments based on physical or chemical principles are used. Furthermore, it was determined that calcium phosphate coatings, and specifically those formed by apatites, significantly improve the characteristic and surface properties of polylactic acid biomedical devices.

**KEY WORDS:** Polylactic acid, scaffold, surface modification, coating, apatite.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el envejecimiento de la población, los conflictos bélicos, las lesiones relacionadas con accidentes de tránsito y la práctica de deportes extremos, han generado una necesidad cada vez mayor de reemplazo de tejidos duros, como el hueso [1]. En este sentido, la ingeniería tisular es una prometedora alternativa para restaurar y reconstruir la función de tejidos dañados. Para ello requiere, preferentemente, de andamios biodegradables que proporcionen un sustrato tridimensional para la expansión celular y la organización tisular [2]. Las características de un andamio ideal para la ingeniería tisular ósea, pueden resumirse de la siguiente manera: presentar una superficie que estimule la adhesión, proliferación y diferenciación celular; poseer una arquitectura altamente porosa con una red de poros tridimensionalmente interconectados que posibilite el transporte de nutrientes y desechos metabólicos, así como la migración celular; propiedades mecánicas que garanticen su integridad y que permitan la transferencia de niveles adecuados de esfuerzos biomecánico a las células sembradas; una tasa de degradación que coincida con la tasa de regeneración ósea y generar productos de degradación no tóxicos y fácilmente excretables [2].

En los últimos años se observado un incremento en la elaboración de andamios de ácido poliláctico (PLA por sus siglas en inglés). Dicho polímero es un poliéster alifático termoplástico y biodegradable derivado de un ácido orgánico natural (ácido láctico) que es económico [3]. Sus características y propiedades hacen que se encuentre dentro de los polímeros sintéticos biodegradables más utilizados en el campo de los dispositivos biomédicos [4]. En este sentido, es ampliamente utilizado en la confección de suturas clips, placas, tornillos, en dispositivos de administración de fármacos y andamios para la ingeniería de tejidos [5-9]. El uso del PLA en andamios destinados a aplicaciones biomédicas se encuentra relacionado con su biocompatibilidad, biodegradabilidad, así como con sus propiedades no inmunogénicas y antinflamatorias [10]. No obstante, el PLA posee algunas limitaciones: su tasa de degradación resulta superior a la de remodelación ósea y, además, no estimula la adhesión y proliferación de las células óseo-progenitoras. Por ello, se han empleado diferentes estrategias de modificación de su superficie, como métodos físicos, químicos, de plasma e inducidos por radiación, para crear las propiedades superficiales deseables en los dispositivos biomédicos implantables [11].

La degradación de los andamios una vez implantados es un tema crucial dentro de la ingeniería de tejidos ya que está íntimamente relacionada con los parámetros del andamio. El principal mecanismo por el cual ocurre la degradación de las matrices porosas de ácido poli láctico, utilizadas en implantes óseos es la degradación hidrolítica. Este mecanismo se produce por la hidrólisis aleatoria de los grupos éster presentes en la cadena polimérica. El proceso degradativo ocurre por difusión, donde las moléculas de agua penetran en la matriz polimérica y convierten la cadena larga en una de bajo peso molecular con la producción de oligómeros solubles en agua y finalmente en el monómero dado. La degradación es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de la elección del material para la fabricación de un andamio, ya que la velocidad de degradación debe ser muy similar a la velocidad de formación del nuevo tejido. La degradación de cualquier polímero depende de varios factores, sobre los cuales se podrá actuar, y de esta forma adecuar el andamio a las características del tejido que va a reemplazar [12].

En la elaboración de dispositivos biomédicos implantables se utilizan diferentes técnicas, entre las que se destaca la Manufactura aditiva (MA) [13-16]. La MA es un nuevo concepto que involucra la producción industrial de objetos a través de los cuales el material se deposita capa por capa [17, 18]. Con esta técnica, también conocida como impresión tridimensional (3D), se pueden producir formas geométricas personalizadas acorde con las necesidades de cada paciente [14]. La MA tiene características beneficiosas, como alta precisión, libertad de diseño, minimización de desechos, producción de componentes directamente desde archivos digitales, así como piezas livianas con escalas complejas. También reduce el costo relacionado con el desarrollo de los productos y el tiempo de dicho ciclo [14]. Existen diferentes técnicas MA, dentro de estas se destacan la Fusión Selectiva por Láser (SLM, por sus siglas en idioma inglés) y la Fabricación por filamento fundido (FFF), también conocida como Modelación por deposición fundida (FDM, por sus siglas en idioma inglés). El método SLM resulta adecuado para fabricar implantes metálicos destinados a zonas sometidas a elevadas solicitaciones mecánicas [18, 19], mientras que el método FDM emplea filamentos de materiales poliméricos o de materiales compuestos y permite fabricar dispositivos biomédicos para zonas menos cargadas.

El objetivo principal del presente trabajo es presentar una revisión bibliográfica actualizada sobre el estado de los tratamientos de superficie en andamios de PLA.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre los tratamientos de modificación superficial y la deposición de recubrimientos de fosfatos de calcio en andamios de PLA. En la búsqueda se utilizó la opción avanzada el buscador Google Académico y se hizo énfasis en el método biomimético (deposición química húmeda).

## 3. MODIFICACIÓN SUPERFICIAL Y RECUBRIMIENTOS EN ANDAMIOS DE PLA

### Andamios de PLA

La ingeniería de tejidos posibilita el desarrollo de sustitutos biológicos que restablezcan, mantengan o mejoren la función de tejidos dañados [2, 20]. Generalmente, la ingeniería de tejidos controla la formación de tejido en tres dimensiones (3D), requiriendo para ello de un soporte celular formado por un andamio altamente poroso. El andamio (matriz extracelular temporal sintética) define la geometría 3D del tejido que se va a sustituir y, además, debe proporcionar un microambiente que favorece la adhesión, la proliferación, la diferenciación celular y la generación de nuevos tejidos [20]. La composición química y microestructural de los biomateriales usados en su fabricación influyen en su comportamiento *in vivo*. En este sentido, se ha determinado que una propiedad clave del biomaterial utilizado es su interacción con las células objetivo. El comportamiento celular generalmente resulta diferente al responder a diferente composición química de la superficie del material del andamio [20].

En la ingeniería de tejidos, se han utilizado diversos materiales en la función de andamios destinados a la regeneración tisular. Para este propósito se reporta la utilización de materiales metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos [21-25]. Dentro de estos, los polímeros se destacan por su nivel de uso, aspecto relacionado con su gran flexibilidad de diseño debido a que su composición y estructura se pueden adaptar a necesidades específicas y, por lo tanto, se han estudiado ampliamente en diversas aplicaciones de ingeniería tisular, incluida la ingeniería de tejidos óseos [20]. Generalmente, el material del andamio a utilizar ingeniería de tejidos requiere de biodegradabilidad, y además, para cumplir idealmente con su función su tasa de biodegradación debe coincidir con la tasa de formación del nuevo tejido [20]. En este sentido, los poliésteres alifáticos lineales como el PLA, el ácido poliglicólico (PGA) y sus copolímeros poli(ácido láctico-co-ácido glicólico) (PLGA) se utilizan con frecuencia como polímeros para la fabricación de andamios debido a su amplio intervalo de biodegradabilidad y su biocompatibilidad [20]. En ese sentido, en las décadas pasadas ha venido ganando en popularidad el uso del PLA para elaborar dispositivos biomédicos implantables. El PLA comúnmente se usa para fabricar implantes bioabsorbibles como clavijas, placas y tornillos que pueden degradarse en el cuerpo principalmente por hidrólisis a medida que se produce la formación de tejido óseo [26]. El PLA, en combinación con otros polímeros y cerámicas, es utilizado como sustituto óseo, en la fijación de fracturas y de tendones y ligamentos [27]. Además, es uno de los materiales poliméricos más utilizados para la elaboración de andamios para ingeniería tisular. Las ventajas y limitaciones del PLA se encuentran relacionadas con su estructura química [27].

Dentro de los métodos empleados para confeccionar dispositivos biomédicos de PLA destacan los basados en la Manufactura Aditiva [6-9], especialmente el Modelado por Deposición Fundida. Este método ha sido objeto de mucho interés en los últimos años debido a su atractivo potencial para fabricar objetos de manera oportuna y con alta precisión. El método FDM posibilita construir un objeto 3D a partir de depositar material termoplástico fundido sobre una plataforma en un procedimiento capa por capa [26]. Entre sus ventajas se encuentran sus bajos costos de producción, alta maniobrabilidad y la flexibilidad de las que pueden beneficiarse los profesionales médicos y sus pacientes. No obstante, existen algunos inconvenientes que pueden limitar el uso de PLA impreso en 3D en el campo biomédico. Por ejemplo, el PLA es un polímero hidrofóbico, muestra una baja afinidad celular y, a veces, provoca reacción inflamatoria cuando entra en contacto directo con los tejidos circundantes [26]. Además, sus

propiedades superficiales como por ejemplo la rugosidad superficial son vitales para los implantes porque están estrechamente asociadas con la reacción del tejido huésped a los biomateriales implantados [26]. Las superficies rugosas, texturizadas y porosas de un implante pueden influir positivamente el comportamiento celular.

**Tratamientos de modificación superficial**

Las propiedades y características superficiales juegan un papel importante en la respuesta de las células a los biomateriales [2]. El empleo de diversos métodos físicos y químicos puede alterar la composición y la estructura de la superficie para con ello facilitar la adaptación perfecta del implante al entorno fisiológico y le posibilite realizar sus funciones [28]. En general, los métodos de modificación de la superficie del PLA se pueden dividir en dos clases: enlaces covalentemente y enlaces no covalentemente (unidos físicamente) [27]. En específico, para mejorar la bioactividad del PLA se han desarrollado diferentes procedimientos:

Hidrólisis alcalina: el PLA no presenta ningún grupo reactivo en la cadena lateral y la hidrólisis alcalina de la superficie es una forma sencilla de dotarlo de dos tipos de grupos funcionales hidrófilos reactivos: ácidos carboxílicos (–COOH) e hidroxilos (–OH) en su cadena principal, generando la ruptura del enlace éster del poliéster alifático [27]. El tratamiento alcalino requiere de menos tiempo y mano de obra que otros procesos y es más eficaz para penetrar estructuras porosas y más rentable que el tratamiento con plasma [29]. Sin embargo, las dimensiones y propiedades de los andamios se pueden afectar por estos tratamientos.

Tratamiento con luz ultravioleta: permite alterar de forma permanente la composición de la superficie del PLA con una operación de bajo costo [27]. La fotoactivación crea en la superficie del PLA grupos reactivos seguida de la adición de materiales seleccionados que tienen diferentes funcionalidades [27].

Tratamiento con plasma: es utilizado en la industria biomédica al posibilitar la funcionalización de la superficie de polímeros biodegradables [29], incluido el PLA. Es un método físico en el que la formación de plasma depende de la ionización de los gases. Aunque el proceso de adsorción física mejora la humectabilidad y la rugosidad de la superficie, el enlace entre el factor bioactivo y el polímero puede resultar débil, ya que el grado de adsorción depende de la topografía de la superficie [29].

**Recubrimientos de fosfatos de calcio**

Los recubrimientos de fosfatos de calcio (Ca-P) comúnmente son utilizados para mejorar la bioactividad de los biometales y de los materiales poliméricos [21, 30-32]. Con este propósito, andamios de PLA se han recubierto con fosfatos de calcio, en específico con apatitas. En ese sentido, la hidroxiapatita (HA, $Ca_{10}(PO^4)_6(OH)_2$), se ha utilizado ampliamente como revestimiento en dispositivos biomédicos destinados a la regeneración ósea, debido a su similitud química/estructural con la fase mineral del hueso y a sus interacciones con las células osteogénicas que hacen que posea una fuerte osteoconductividad [29]. Los recubrimientos de apatitas imitan la composición del hueso natural, mantienen un ambiente ideal para la osteogénesis y aumentan la estabilidad estructural del andamio. Sin embargo, la degradación y resorción de las capas de Ca-P en ambiente biológico, podría llevar a la desintegración de la capa, produciendo la pérdida de la adherencia capa-sustrato y con ello en la fijación del andamio [1]. En un trabajo desarrollado por Chen y cols se encontró que los andamios de PLLA con recubrimientos de apatitas, obtenidos con el empleo de un SBF X 5, presentan una significativamente superior adhesión y proliferación celular que los andamios de PLLA puro [2]. Además, en los andamios de PLLA recubiertos con apatita las células tendieron a extenderse más y exhibieron filopodios. Estos resultados corroboran la influencia de la composición de la superficie en la modulación de la adhesión celular, la proliferación y la diferenciación de las células osteogénicas.

Las técnicas de producción de recubrimientos de HAp se pueden clasificar en dos grupos principales: técnicas de deposición física y técnicas de deposición química húmeda [33]. En las últimas décadas, los métodos de deposición química húmeda, especialmente la variante biomimética, han sido ampliamente utilizados para obtener recubrimientos apatíticos [34]. En la actualidad una de las variantes más

prometedoras para depositar recubrimientos de apatitas en andamios biodegradables es el método biomimético. Para ello se utiliza fluido corporal simulado (SBF por sus siglas en idioma inglés) o una variante de este en la que se emplean mayores contenidos de algunos iones de dicho fluido. Por sus constituyentes y el contenido en que estos se encuentran, el SBF resulta similar a la componente inorgánica del plasma sanguíneo humano [35, 36]. Este método involucra la nucleación heterogénea y el crecimiento de cristales de apatitas en la superficie del implante a temperatura fisiológica y niveles del pH que se mantienen alrededor de 7,4 [35]. En general, la deposición biomimética consiste en imitar los métodos de fabricación naturales para generar una HAp similar al hueso artificial, la que se puede utilizar para mejorar la osteointegración de implantes dentales y ortopédicos [37]. A partir de ese procedimiento se produce la cristalización de hidroxiapatita carbonatada (C-HAp) no estequiométrica en condiciones de baja temperatura [33, 36] sobre la superficie de metales, cerámicas o polímeros, previamente activados mediante tratamientos superficiales [38, 39]. No obstante, los recubrimientos de Ca-P depositados mediante el método biomimético presentan limitaciones: generalmente requieren de tiempos de deposición prolongados, poseen bajas propiedades mecánicas (especialmente baja adhesión al sustrato) y estimulan la colonización bacteriana.

Los tratamientos en SBF se han utilizado para recubrir polímeros sintéticos [32]. En este sentido Wu et al. recubrieron cuatro tipos diferentes de polímeros utilizando el método biomimético. Se reporta la obtención de recubrimientos de fosfatos de calcio sobre dispositivos de PLA con una relación Ca/P varía de 1,53 a 1,64 [28]. En específico, los recubrimientos, obtenidos por esta técnica, de nano-HA (nHA) sobre PLA, son una forma eficaz de combinar las ventajas de ambos materiales [29]. Chen y cols. redujeron significativamente el ángulo de contacto con el agua del PLA al aplicarle un recubrimiento de nanoapatitas (de 154,9°±5,4° a 42.6°±1.1°) [2]. Este resultado convirtió la superficie hidrofóbica del PLA en hidrofílica e hizo que se promoviera el crecimiento celular entre los grupos experimentales. Además, en algunos trabajos se encontraron mejoras significativas en la osteointegración de implantes recubiertos de HA [26]. En esa dirección, Liu y cols. utilizaron recubrimientos de HA en un implante quirúrgico de PLA impreso en 3D. Su evaluación in vivo mostró que el implante recubierto y cargado con células madre mesenquimales exhibió un crecimiento óseo significativo y una formación de interfaz hueso-implante [26].

## 4. CONCLUSIONES

El uso de dispositivos biomédicos de PLA se ha extendido en los últimos años, reportándose el empleo de diferentes técnicas de manufactura para su confección. En especial, este polímero se utiliza en la confección de andamios para la ingeniería de tejidos. El método FDM ha ganado espacio en la elaboración dispositivos de dispositivos de PLA, ya que este polímero es una de las mejores opciones debido a las facilidades que brinda para su impresión, naturaleza respetuosa con el medio ambiente, brillo y propiedades. Ello ha generado que el mercado de PLA se encuentre en expansión y que en el futuro cercano se espere una posible reducción de sus costos de producción.

En el trabajo se presentó inicialmente una revisión bibliográfica sobre andamios de PLA, haciendo énfasis en su uso como dispositivo biomédico y en el empleo del método Modelación por deposición fundida para la elaboración de dichos dispositivos. Se determinó que la composición elemental y de fases del PLA no facilita su uso en dispositivos endooseos debido a su carácter hidrofóbico, lo que redunda en que presente una escasa bioactividad. No obstante, brinda la posibilidad de alterar su composición mediante diferentes tratamientos de modificación superficial, especialmente mediante la deposición de recubrimientos en sus superficies. Dentro de los métodos de modificación superficial del PLA se destacan los que forman enlaces covalentes, como la hidrólisis alcalina, el tratamiento con luz ultravioleta y el tratamiento con plasma. Finalmente, se describieron los resultados reportados en la deposición de recubrimientos de fosfatos de calcio en andamios de PLA. Se concluye que los recubrimientos de fosfatos de calcio dotan a los andamios de PLA de humectabilidad y mejoran su interacción con las células osteoprogenitoras, al estimular su adhesión, proliferación y diferenciación. Ello hace que constituyan una alternativa que potencia el uso de los andamios de PLA en aplicaciones endooseas.

**REFERENCIAS**

1. PAITAL, S.R. DAHOTRE, N.B. "Calcium phosphate coatings for bio-implant applications: Materials, performance factors, and methodologies". *Materials Science and Engineering: R: Report,* 2009, vol 66, núm. 1-3, pp. 1-70.
2. CHEN, Y. MAK, A.F.T. WANG, M. LI, J. WONG, M.S. "PLLA scaffolds with biomimetic apatite coating and biomimetic apatite/collagen composite coating to enhance". *Surface & Coatings Technology,* 2006, vol 3, pp. 575-580.
3. PAWAR, R.P. TEKALE, S.U SHISODIA, S.U TOTRE J.T, DOMB, A.J. "Biomedical applications of poly (lactic acid) ". *Recent patents on regenerative medicine*, 2014, vol 4, núm. 1, pp. 40-51.
4. CHENG, Y. DENG, S. CHEN, P. RUAN, R. "Polylactic acid (PLA) synthesis and modifications: a review". *Frontiers of chemistry in China,* 2009, vol 4, pp. 259-264.
5. SINGH, D. BABBAR, A. JAIN, V. GUPTA, D. SAXENA, S. DWIBEDI, V. "Synthesis, characterization, and bioactivity investigation of biomimetic biodegradable PLA scaffold fabricated by fused filament fabrication process". J*ournal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering,* 2019, vol 41, núm. 3, pp. 121.
6. SERRA, T. MATEOS-TIMONEDA, M.A. PLANELL, J.A. NAVARRO, M. "3D printed PLA-based scaffolds: a versatile tool in regenerative medicine. *Organogenesis,* 2013, vol 9, núm. 4, pp. 239-244.
7. ALAM, F. VARADARAJAN K., KUMAR, S. 3D printed polylactic acid nanocomposite scaffolds for tissue engineering applications". *Polymer Testing,* 2020, vol 81, pp. 106203.
8. WU, D. SPANOU, A. DIEZ-ESCUDERO, A. PERSSON, C. "3D-printed PLA/HA composite structures as synthetic trabecular bone: A feasibility study using fused deposition modeling". *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials,* 2020, vol 103, pp. 103608.
9. VELIOGLU, Z.B. PULAT, D. DEMIRBAKAN, B. OZCAN, B. BAYRAK, E. ERISKEN, C. "3D-printed poly (lactic acid) scaffolds for trabecular bone repair and regeneration: scaffold and native bone characterization" *Connective tissue research,* 2019, vol 60, núm. 3, pp. 274-282.
10. ALAM, F. SHUKLA, V.R. VARADARAJAN, K. KUMAR, S. "Microarchitected 3D printed polylactic acid (PLA) nanocomposite scaffolds for biomedical applications". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials,* 2020, vol 103, pp. 103576.
11. MANN, G.S. SINGH, L.P. KUMAR, P. SINGH, S. PRAKASH, C. "On briefing the surface modifications of polylactic acid: A scope for betterment of biomedical structures". J*ournal of Thermoplastic Composite Materials,* 2021, vol 34, núm. 7, pp. 977-1005.
12. ELSAWY, M.A. KIM, K.H. PARK, J. DEEP, A. "Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79 (2017) 1346-1352.
13. BAHRAMINASAB, M. "Challenges on optimization of 3D-printed bone scaffolds". B*ioMedical Engineering OnLine,* 2020, vol 19, núm. 1, pp. 1-33.
14. BOSE, S. ROBERTSON, S.F. BANDYOPADHYAY, A. "Surface modification of biomaterials and biomedical devices using additive manufacturing". *Acta Biomater,* 2018, vol 66, pp. 6-22.
15. ARIF, Z.U. KHALID, M.Y. NOROOZI, R. HOSSAIN, M. SHI, H.H. TARIQ, A. RAMAKRISHNA, S. UMER, R. "Additive manufacturing of sustainable biomaterials for biomedical applications". Asian J*ournal of Pharmaceutical Sciences,* 2023, pp. 100812.
16. NOURI, A. SHIRVAN, A.R. LI, Y. WEN, C. "Additive manufacturing of metallic and polymeric load-bearing biomaterials using laser powder bed fusion: A review". J*ournal of Materials Science & Technology,* 2021, vol 94, pp. 196-215.
17. BARTOLOMEU, F. DOURADO, N. PEREIRA, F. ALVES, N. MIRANDA, G. SILVA, F. "Additive manufactured porous biomaterials targeting orthopedic implants: A suitable combination of mechanical, physical and topological properties". *Materials Science and Engeneering* C, 2020, vol. 107, pp. 1-31.
18. ZHANG, X.Y. FANG, G. ZHOU, J. "Additively manufactured scaffolds for bone tissue engineering and the prediction of their mechanical behavior: a review". *Materials,* 2017, vol. 10, núm. 1, pp. 50.
[19] OLIVEIRA, T.T. REIS, A.C. Fabrication of dental implants by the additive manufacturing method: A systematic review". *Journal of Prosthetic Dentistry,* 2019, vol 122, núm. 3, pp. 270-274.
20. Ma, P.X. "Biomimetic materials for tissue engineering". A*dvanced Drug Delivery Reviews,* 2008, pp. 184 - 198.
21. Yakufu, M. Wang, Z. Liu, J. Zhang, P. "Bionic manufacturing strategy of hydroxyapatite-coated polyether ether ketone scaffolds for promoting mineralization and osseointegration". *Materials & Design,* 2022, vol 223, pp. 111193.

22. FIROOZABADI, F.D. SAADATABADI, A.R. ASEFNEJAD, A. "Fabrication and Evaluation of in Vitro Studies of Biodegradable and Antibacterial Composite Scaffolds Based on Polylactic Acid-Polycaprolactone-Hydroxyapatite Reinforced with Graphene and Zinc Oxide Nanoparticles for Use in Orthopedic Surgery". *Iranian Journal of Materials Science and Engineering,* 2022, vol 19, pp. 2,.
23. DEHGHANI FIROOZABADI, F. RAMAZANI SAADATABADI, A. ASEFNEJAD, A. "Evaluation of antibacterial properties of polylactic acid-polycaprolactone-containing hydroxyapatite and zinc oxide nanoparticles in hard tissue absorbable scaffolds". J*ournal of Advanced Materials in Engineering (Esteghlal),* 2022, vol. 41, núm. 1, pp. 1-17.
24. LEÓN DE ULLOA, J. GONZÁLEZ, J.E. BELTRÁN, A.M. AVÉS, E.P. RODRÍGUEZ-GUERRA, J. TORRES, Y. "Biomechanical behavior of customized scaffolds: A three-dimensional finite element analysis". *Materials & Design,* 2022, vol 223, pp. 111173.
25. WANG, W.T. SHENG, R.N. JHUANG, Z.L. "Design, Test and FEM Analysis of Customized Titanium Alloy Implant with Scaffold Based on Additive Manufacturing". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, pp. 012007.
26. SANIEI, H. MOUSAVI, S. "Surface modification of PLA 3D-printed implants by electrospinning with enhanced bioactivity and cell affinity". *Polymer,* 2020, vol 196, pp. 122467.
27. BARAN, E.H. ERBIL, H.Y. "Surface modification of 3D printed PLA objects by fused deposition modeling: a review". *Colloids and interfaces,* 2019, vol 3, núm. 2, pp. 43.
28. LIN, X. CHEN, J. LIAO, Y. PATHAK, J.L. LI, H. LIU, Y. "Biomimetic Calcium Phosphate Coating as a Drug Delivery Vehicle for Bone Tissue Engineering: A Mini-Review". *Coatings,* 2020, vol 10, núm. 11, pp. 1118.
29. CHEN, W. NICHOLS, L. BRINKLEY, F. BOHNA, K. TIAN, W. PRIDDY, M.W. PRIDDY, L.B. "Alkali treatment facilitates functional nano-hydroxyapatite coating of 3D printed polylactic acid scaffolds". *Materials Science and Engineering: C,* 2021, vol 120, pp. 111686.
30. MOREJÓN-ALONSO L., BUSSULO, M.A. PÉREZ, A.F. GONZÁLEZ, J.E. Accelerated biomimetic nanosized apatite coatings deposition on alkali treated titanium". J*ournal of Materials Research,* 2022, pp. 1-11.
31. HERNANDEZ, L. GONZÁLEZ, J.E. BARRANCO, V. VERANES-PANTOJA, Y. GALVÁN, J. GATTORNO, G.R. "Biomimetic hydroxyapatite (HAp) coatings on pure Mg and their physiological corrosion behavior". *Ceramics International,* 2022, vol 48, núm. 1, pp. 1208-1222.
32. GONZÁLEZ, J.E. SANTIESTEBAN-DEL TORO, E.F. RIVAS SANTANA, M. GARCÍA-TORRES, L.M. ZAMBRANO-ROBLEDO, P.C. SARDIÑAS, R.Q. "Deposición de recubrimientos de fosfatos de calcio mediante el método químico sobre andamios de ácido poliláctico". *Revista Ingeniería Mecánica,* 2024, vol 27, núm. 1, pp. 1815-5944.
33. ARCOS, D. VALLET-REGÍ, M. "Substituted hydroxyapatite coatings of bone implants". *Journal of Materials Chemistry B,* 2020, vol 8, núm. 9, pp. 1781-1800.
34. ABDEL-FATTAH,W. ADAWY A. "An efficient biomimetic coating methodology for a prosthetic alloy". *Materials Science and Engineering,* 2013, vol 33, núm.3, pp. 1813-1818.
35. GONZÁLEZ RUIZ J.E., PAZ RAMOS, A. "Composición de las disoluciones y parámetros de los procesos empleados en la aplicación de recubrimientos biomiméticos sobre titanio. Estado del arte". *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 2009, vol 40, núm. 2, pp. 73-79.
36. KOKUBO, T. KUSHITANI, H. SAKKA, S. KITSUGI, T. YAMAMURO, T. "Solutions able to reproduce in vivo surface-structure changes in bioactive glass-ceramic A-W3". J*ournal of biomedical materials research,* 1990 vol 24, núm. 6, pp. 721-734.
37. ALMASI, D. IZMAN, S. ASSADIAN, M. GHANBARI, M. KADIR, M.A. "Crystalline ha coating on peek via chemical deposition". *Applied Surface Science,* 2014, vol 314, pp. 1034-1040.
38. JUNKER, R. DIMAKIS, A. THONEICK, M. JANSEN, J.A. "Effects of implant surface coatings and composition on bone integration: a systematic review". *Clinical oral implants research,* 2009, vol 20, núm. 4, pp. 185-206.
39. ZHANG, E. ZOU, C. ZENG, S. "Preparation and characterization of silicon-substituted hydroxyapatite coating by a biomimetic process on titanium substrate". *Surface and Coatings Technology,* 2009, vol 203, núm. 8, pp. 1075-1080.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# FINITE ELEMENT ANALYSIS OF PLA-BASED POROUS STRUCTURES FOR RADIAL BONE DEFECTS: A MECHANICAL STUDY

**Brian J. Moya[1], Marcelino Rivas[1], Ramón Quiza[1], Elsa Elina Paz Estévez[1], Serguei Aleksandrovish Filatov[2]**

[1]Centre for Advanced and Sustainable Manufacturing Studies, University of Matanzas, Matanzas 44740, Cuba, [2]Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Science of Belarus
[1]e-mail: brian.madruga@umcc.cu

## ABSTRACT

Three-dimensional porous scaffolds represent a promising solution for ad-dressing bone defects by facilitating tissue regeneration and restoring the structural and functional integrity of afflicted bones. Porous scaffolds, par-ticularly those based on Triply Periodic Minimal Surface designs, offer supe-rior mechanical and biological properties, mimicking the structural features of both cortical and trabecular bone. This study focuses on the mechanical properties of partial implants for radial bone defects made of polylactic acid. The analysis involved finite element method simulations to evaluate the scaffolds' structural behavior under various loading conditions. The results indicate that PLA, with a compressive strength between 60 and 70 MPa, is a viable candidate for scaffold production, closely aligning with the compres-sive strength of human radial bone, which ranges between 34 and 178 MPa. These findings suggest PLA scaffolds' potential for clinical application in ra-dial bone regeneration, although further in vitro and in vivo studies are nec-essary to fully validate these results and ensure the long-term viability of the proposed scaffold designs.

**KEYWORDS:** 3D porous scaffolds, radial bone regeneration, polylactic acid (PLA), finite element method, mechanical properties

## 1. INTRODUCTION

Three-dimensional porous scaffolds offer a highly adaptable and efficient solution for treating bone defects, enabling the afflicted bone to regain its original function [1]. Their permeability to vital bodily fluids, which promotes nutrition and the exchange of substances necessary for tissue regeneration [2], their lightweight design, which makes integration and handling easier, their adequate ability to support loads, which is crucial for maintaining structural functionality [3], and their capacity to improve bone integrity and repair bone tissue along the implant are some features that make them superior to traditional solid implants [4].

Because lattice scaffolds may mimic the intricate design of real bone tissue, they are one of the more beneficial types of porous scaffolds. The periodic arrangement of pores in these scaffolds enables precise control over their mechanical and biological properties [5]. They support essential processes like vascularization and nutrition flow while remaining ideal in load-bearing situations due to their uniform mechanical strength, which is guaranteed by their consistent structure [6]. Triply Periodic Minimal Surface (TPMS) scaffolds further advance the potential of lattice designs providing a unique combination of minimal surface area and maximal internal volume for cellular interaction, resulting in better mechanical efficiency and higher surface-area-to-volume ratios compared to other lattice structures [7], [8].
Human bone tissue is divided into two primary types: the outer cortical (compact) bone and the inner trabecular (spongy) bone. Cortical bone is dense and stiff, with an elastic modulus ranging from 15 - 19 GPa, volume fractions between 0.5 - 0.95, and pores measuring 50 - 110 μm, providing the strength required to handle substantial mechanical forces. In contrast, trabecular bone is highly porous, with a Young's modulus between 0.5 - 5 GPa, volume fractions from 0.05 - 0.4, and pores sized between 550 - 1500 μm, enabling load distribution, impact absorption, nutrient exchange, and bone marrow generation [9], [10].

Fractures on the distal radius are among the most frequent injuries that affect the upper limbs [11]. The majority of fractures may be repaired without surgery, but displaced or unstable fractures frequently need to be operated on, and

women are more likely than males to experience this type of fracture. Implants made of titanium alloy and stainless steel wera and are frequently used to repair hand fractures [12]. These materials present some drawbacks which include the potential for infection and stress shielding, that can result in poor union or insufficient healing, as well as the potential for cortical bone mass loss, which raises the risk of osteoporosis. Patients may also develop tendon ruptures, joint stiffness, discomfort, and other issues, requiring additional surgery. Bioabsorbable materials present themselves then, as a more appealing alternative [13].

Polylactic acid is recognized for its biocompatibility, biodegradability, absorbability, and adequate mechanical properties, making it a popular choice for biomedical devices like implants for bone replacements [14]. Recent approaches promote incorporating ceramics like hydroxyapatite to enhance bioactivity and mechanical strength of PLA-based scaffolds [15], and to promote robust osteogenic differentiation without osteogenic stimuli [16]. A significant appeal of PLA lies in its affordability and compatibility with additive manufacturing techniques [17].

Fused Deposition Modeling (FDM) is a low-cost, high-speed printing process that is currently accessible and widely used in the fabrication of scaffolds based on thermoplastic polymers [18]. It is also one of the easiest processes to maintain and manage [19]. In this procedure, a printer machine builds an object layer by layer from molten filament using a previously designed 3D model, then the material cools to ambient temperature and takes the desired shape.
The finite element method (FEM) is an advanced computational technique used to analyze and predict the mechanical properties of the scaffolds, by simulating its structural behaviour under loading conditions, providing an evaluation of the stress stress distribution, deformations, and mechanical response in general, which are necessary considerations to take before the manufacture and clinical application of the scaffold [20], [21]. This method has been widely used by the community to assess the mechanical properties and permeability of Ti6Al4V [22] and polymers based scaffolds [23], [24].

In this paper, we present a study conducted on the mechanical properties of specimens for partial implants applicable to bone defects in the radius, whether these are derived from fractures, congenital malformations, or poor unions due to previous surgery.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### Specimen Design

For the design of the porous scaffolds structure, TPMS Gyroid architecture was selected. Scaffolds manufactured with this structure present a good balance between compressive strength and ease of the medium to ensure bone growth and bone-to-implant contact in vivo [7]. The following expression describes the parametric equation that defines the gyroid architecture [25]:

$$G(x,y,z) = \sin\left(\frac{2\pi x}{l}\right)\cos\left(\frac{2\pi y}{l}\right) + \sin\left(\frac{2\pi y}{l}\right)\cos\left(\frac{2\pi z}{l}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \sin\left(\frac{2\pi x}{l}\right)\cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right) - c; \quad (1)$$

Where $l$ represents the length of unit cell, and $c$ is the offset variable used to control the threshold level of the gyroid surface, directly influencing the scaffold density and porosity [26].

Three cylindrical specimens with an internal Gyroid architecture were designed, modeled to mimic the porous structure of trabecular bone. The dimensions of the cylinders were based on an approximation of the structure of a real human bone. The scaffold, representing the trabecular bone, was modeled with an approximate radius of 5.85 mm, while the outer solid cylinder, simulating cortical bone, had a thickness of approximately 2.23 mm. Porosity of the samples was set at 50%, 60%, and 70%, with the external region approximating cortical bone as a solid structure. The 3D models of the specimens were constructed and exported in STL format using a custom Wolfram Mathematica v11.2 script. Mesh errors and further post-processing were performed in Autodesk Meshmixer v3.5. The final 3D models are shown in Figure 1.

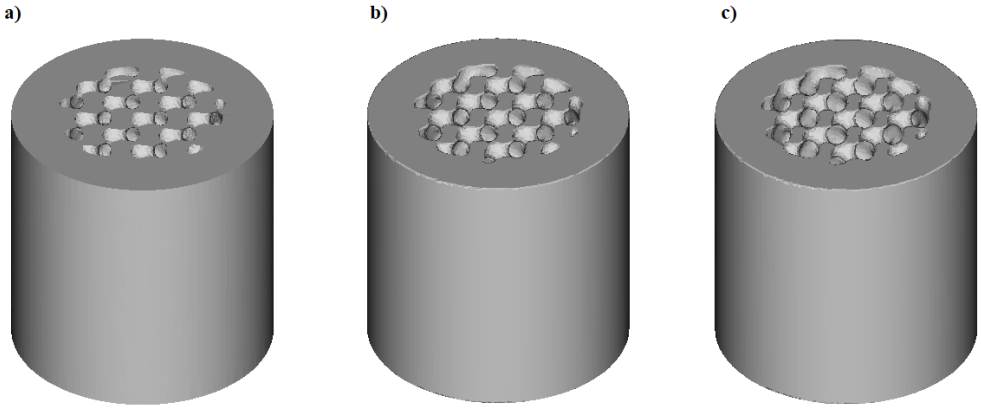



**Fig. 1.** Finalized samples in stl format. a) 50, b) 60, and c) 70 % trabecular porosity

Porosity values were verified through the following expression:

$$P = \left(1 - \frac{V_{sol}}{V_{tot}}\right) x\ 100\% \qquad (2)$$

Where $V_{sol}$ reoresents the volume of the TPMS structure and $V_{tot}$ is the total volume of the inner cylinder that contains said scaffold structure. Both values were obtained by using Meshmixer analysis tool.

**FE Analysis setup**

In order to perform the FE simulations, the samples were converted into solid models using FreeCAD v20.2 and exported into the Static Structural Analysis module in ANSYS 2022R1. To establish boundary conditions, two plates scoped as rigid bodies were modeled at the top and bottom of the cylindrical specimens. The specimens were set as a flexible body. A downward force was applied to the top plate, the bottom plate was fixed in place to constrain its movement. Frictional contact with a coefficient of 0.1 was defined between the scaffold top area and the plates to simulate realistic interaction. The cylindrical specimens was meshed using tetrahedral elements, while hexahedral elements were employed for the plates. Figure 2 shows the boundary conditions configurations.

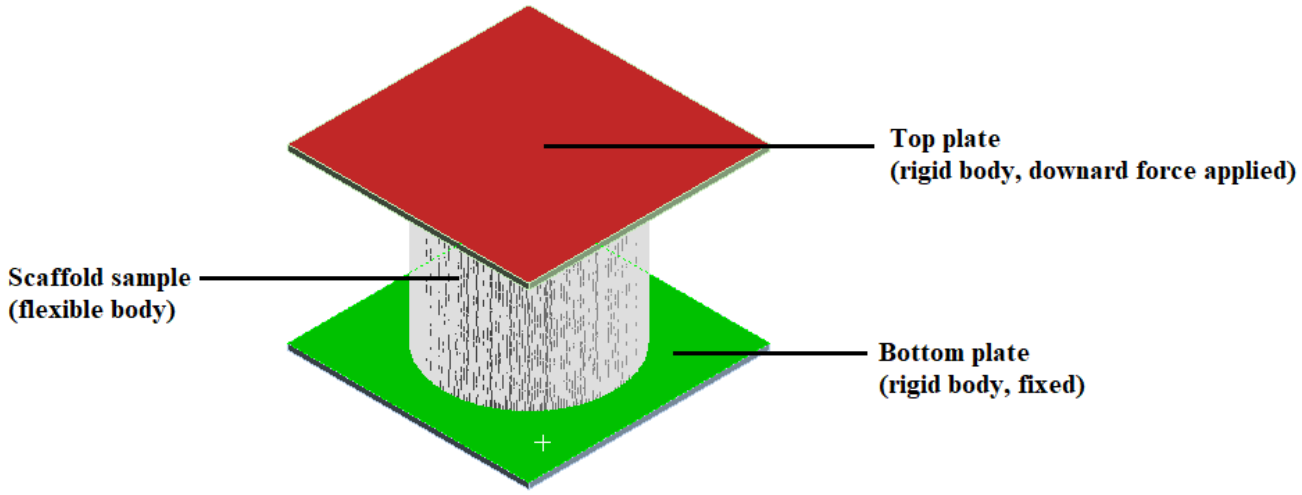



**Fig. 2**. Boundary conditions setup

It was decided to examine the specimens' mechanical behavior under compressive loads with values of 2, 3, and 5 kN, which match with earlier studies performed on the radius bone [10].
As discussed, PLA was selected as the samples material, and its properties modelled based on the SMARTFIL PLA brand are shown in Table 1.

Table 1. *Properties of SMARTFIL PLA.*

| Density (kg/m$^3$) | Young Modulus (GPa) | Poisson Ratio |
|---|---|---|
| 1240 | 3309 | 0.4 |

## 3. RESULTS

Simulation results showed a significant influence of porosity on both the stress distribution and deformation behavior of the samples. As porosity increased, the maximum Von Mises stress experienced by the scaffold decreased, while the overall deformation under load increased. Figure 3 shows an example of the obtained stress and deformation profiles, in this case, the ones registered when applying a 5 kN force to the 3 specimens.

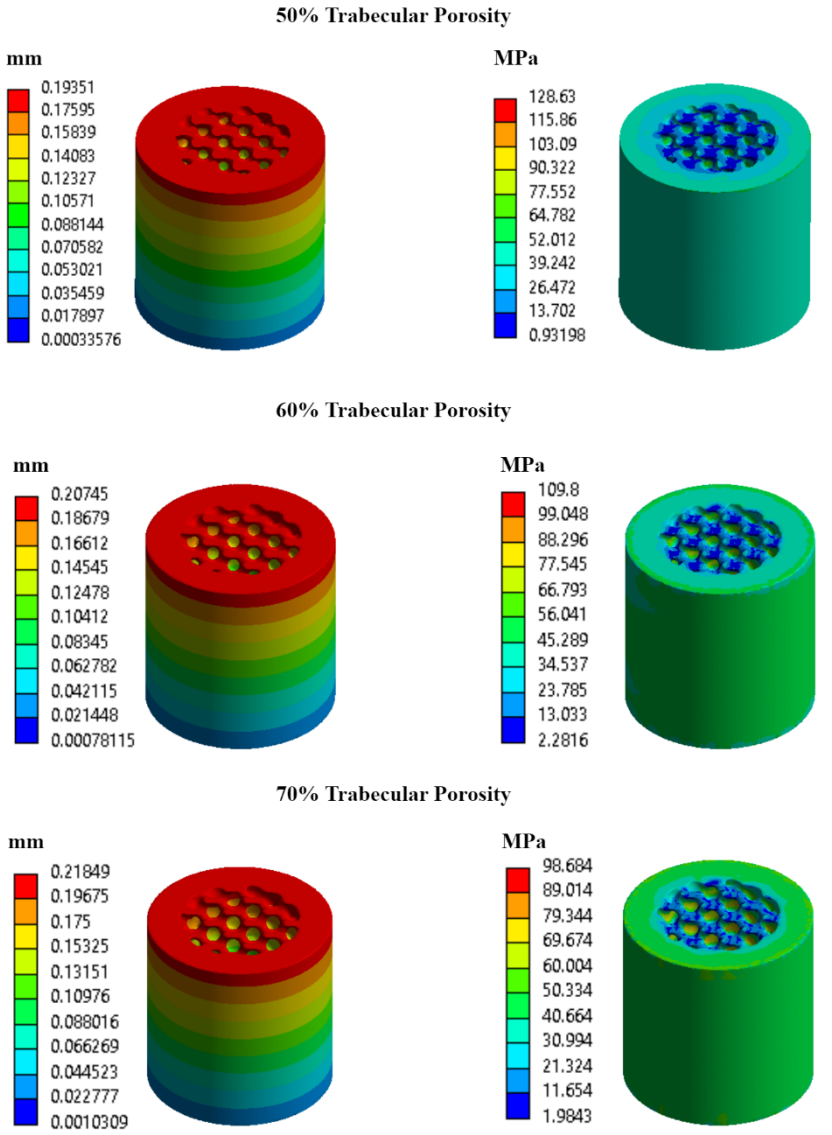



**Fig. 3.** Von Mises (left) and deformation (right) profiles for the specimens under a 5 kN force

The values for maximun deformation and Von Mises stress, computed from the simulated mechanical experiments, are shown in Figure 4, and range from 0.078 to 0.22 mm, and 39.31 to 128.63 MPa respectively.

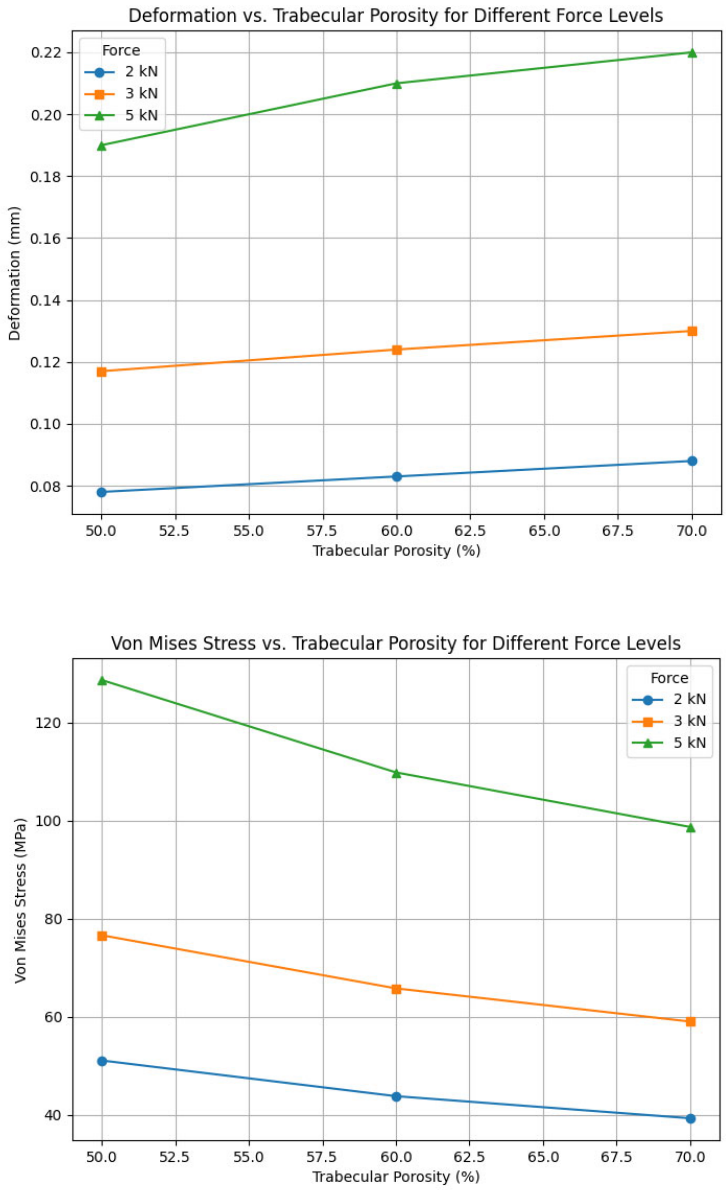



**Fig. 4.** Top graph: Deformation vs. Trabecular Porosity for Different Force Levels. Bottom graph: Von Mises Stress vs. Trabecular Porosity for Different Force Levels.

Further evaluation of structural integrity and failure points was conducted and the areas of concentration of maximum stresses were computed for all experiments, obtaining results similar as those shown in Figure 5, which correspond to the specimen of 70 % trabecular porosity, for every case.

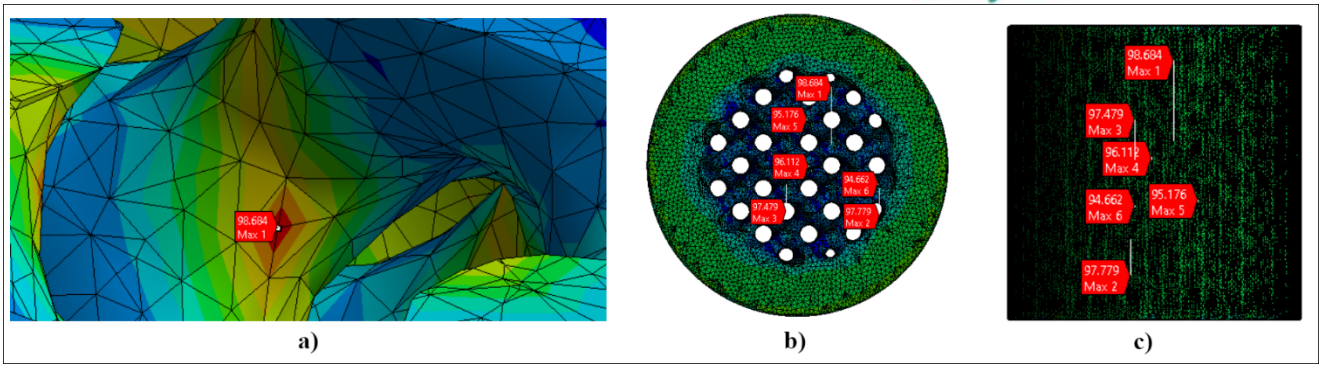



**Fig. 5.** Areas of concentration of maximum stresses. a) Interior of the specimen. b) Longitudinal view. c) Top view.

## 4. DISCUSSION

Simulation results showed a clear correlation between porosity levels and the mechanical behavior of the samples. As porosity increased, the maximum Von Mises stress experienced by the scaffold area decreased, while the deformation of the under the applied force increased. As shown in Figure 4, the top graph "Deformation vs. Trabecular Porosity for Different Force Levels", highlights an increasing trend in deformation as porosity rises for each of the force levels tested. As trabecular porosity increases from 50% to 70%, deformation also increases, reflecting the reduced stiffness and strength of the more porous structures. At the highest applied force of 5 kN, deformation is more pronounced than at lower forces (2 kN and 3 kN). The increased deformation with porosity demonstrates the material's lessened ability to resist displacement as solid material is reduced, showing that the more porous specimens exhibit greater flexibility and structural weakening under load. The bottom graph "Von Mises Stress vs. Trabecular Porosity for Different Force Levels", shows a clear decreasing trend in stress as porosity increases for all three force levels (2 kN, 3 kN, and 5 kN). As trabecular porosity rises from 50% to 70%, the Von Mises stress values drop significantly, indicating that higher porosity results in lower stress concentration within the material. This behavior suggests that more porous structures distribute the applied stress more evenly across the remaining solid material. Additionally, higher forces generate higher stress levels, but the overall trend remains consistent, with the 5 kN curve displaying the highest stress values compared to 2 kN and 3 kN across all porosity levels.
Similar findings were noted in the scientific literature consulted. In a study performed by Verma and co-authors [27] it was observed a pattern of a gradual decrease in stiffness, where a Gyroid lattice at 40% porosity exhibited the highest stress of 1248.2 MPa, and it was recorded the lowest at 80% porosity of 1211.7 MPa. The material used in that study was Ti6Al4V, but the overall mechanical behavior matchs.

The areas of concentration of maximum stresses shown in Figure 5 provide a detailed visualization of the critical regions where the scaffolds experience the highest mechanical loads. These stress concentrations are crucial in evaluating the structural integrity and failure points of the scaffold designs under operational conditions. In Figure 5a, the stress distribution at a microstructural level is highlighted, showing the intricate areas within the lattice where stresses accumulate. The areas marked in red indicate where the material is under maximum stress, typically at the intersections of the scaffold struts, making these intersections act as focal points for the load-bearing capacity of the structure. Since the struts' junctions are where the material experiences the highest mechanical demand, a structural optimization focused on enhancing these areas could be a potential future line of work. Figure 5b presents a cross-sectional top view of the scaffold, showing the distribution of stress across the internal architecture. The stress concentrations are located towards the center, aligning with the scaffold's most structurally demanding regions. Figure 5c offers a side view of the entire scaffold, where the previous behavior is also confirmed, showing the points of higher stress distribution mostly located towards the center alongside the whole length of the scaffold.

## 5. CONCLUSIONS

Based on the conducted study, it can be concluded that the compressive strength of the radial bone exhibits considerable variation, with values ranging between 34 and 178 MPa. This significant variation is attributed to geometric, morphological, and physiological differences among the various bones tested, as documented in the bibliography by Singh, D, and others. In comparison, PLA demonstrates a compressive strength varying between 60 and 70 MPa, suggesting that this material could be investigated as a potential candidate for fabricating scaffolds used in the cellular regeneration of the radius.

Additionally, Von Mises stresses display an inversely proportional linear relationship with porosity; that is, they decrease as porosity increases. Conversely, deformations increase with higher porosity levels, although this trend is not linear. It was observed that maximum stresses are concentrated in the central area of the specimen and along its entire length, as illustrated in Figure 6 of the study. The simulations indicated a tendency for Von Mises stresses to decrease with increasing porosity, aligning with the results obtained in the literature. This relationship might be associated with the rise in stress concentrators due to increased porosity, given the variation in the radius of curvature.

In order to further validate these findings, it is essential to conduct additional in vitro and in vivo tests. Further studies will also be focused on observing the mechanical and biological responses of PLA-based scaffolds and structures with hydroxyapatite coatings.

## REFERENCES

[1] N. Abbasi, S. Hamlet, R. Love, and N.-T. Nguyen, “Porous Scaffolds for Bone Regeneration,” Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jsamd.2020.01.007.

[2] A. Gonzalez, R. Hernández, P. Robledo, M. Rivas, R. Risco, and R. Pérez, “Caracterización de la permeabilidad de andamios porosos de ácido poli-láctico fabricados con impresoras 3D comerciales / Characterization of the permeability of porous polylactic acid scaffolds fabricated with commercial 3D printers,” vol. 26, p. e669, Jul. 2023.

[3] Z. Zhao, J. Li, D. Yao, and Y. Wei, “Mechanical and permeability properties of porous scaffolds developed by a Voronoi tessellation for bone tissue engineering,” *J. Mater. Chem. B*, vol. 10, no. 46, pp. 9699–9712, Nov. 2022, doi: 10.1039/D2TB01478E.

[4] H. Chinnasami, M. K. Dey, and R. Devireddy, “Three-Dimensional Scaffolds for Bone Tissue Engineering,” *Bioengineering (Basel)*, vol. 10, no. 7, p. 759, Jun. 2023, doi: 10.3390/bioengineering10070759.

[5] P. F. Egan, V. C. Gonella, M. Engensperger, S. J. Ferguson, and K. Shea, “Computationally designed lattices with tuned properties for tissue engineering using 3D printing,” *PLOS ONE*, vol. 12, no. 8, p. e0182902, Aug. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0182902.

[6] E. Zuñiga-Aguilar, O. Ramírez-Fernández, and A. Botello-Arredondo, “Design and simulation of scaffolds with lattice microstructures for bioprinting bone tissue,” *BME*, pp. 1–9, Aug. 2024, doi: 10.3233/BME-230049.

[7] E. Maevskaia, J. Guerrero, C. Ghayor, I. Bhattacharya, and F. E. Weber, “Triply Periodic Minimal Surface-Based Scaffolds for Bone Tissue Engineering: A Mechanical, In Vitro and In Vivo Study,” *Tissue Engineering Part A*, vol. 29, no. 19–20, pp. 507–517, Oct. 2023, doi: 10.1089/ten.tea.2023.0033.

[8] J. Ma *et al.*, “Novel 3D printed TPMS scaffolds: microstructure, characteristics and applications in bone regeneration,” *J Tissue Eng*, vol. 15, p. 20417314241263689, Jul. 2024, doi: 10.1177/20417314241263689.

[9] R. Oftadeh, M. Perez-Viloria, J. C. Villa-Camacho, A. Vaziri, and A. Nazarian, “Biomechanics and Mechanobiology of Trabecular Bone: A Review,” *J Biomech Eng*, vol. 137, no. 1, pp. 0108021–01080215, Jan. 2015, doi: 10.1115/1.4029176.

[10] D. Singh, A. Rana, S. Jhajhria, B. Garg, P. Pandey, and D. Kalyanasundaram, “Experimental assessment of biomechanical properties in human male elbow bone subjected to bending and compression loads,” *Journal of applied biomaterials & functional materials*, vol. 17, p. 2280800018793816, Sep. 2018, doi: 10.1177/2280800018793816.

[11] J. M. Kistler, K. F. Lutsky, and J. L. Matzon, “Surgical Outcomes Following Fixation of Peri-Implant Distal Radius Fractures: A Case Series,” *J Hand Surg Am*, vol. 47, no. 2, p. 192.e1-192.e6, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jhsa.2021.04.016.

[12] Y. Wu *et al.*, "An overview of 3D printed metal implants in orthopedic applications: Present and future perspectives," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, p. e17718, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17718.
[13] H. Khan, B. Barkham, and A. Trompeter, "The use of bioabsorbable materials in orthopaedics," *Orthopaedics and Trauma*, vol. 35, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.mporth.2021.07.005.
[14] V. DeStefano, S. Khan, and A. Tabada, "Applications of PLA in modern medicine," *Engineered Regeneration*, vol. 1, pp. 76–87, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.engreg.2020.08.002.
[15] B. Zhang *et al.*, "3D printed bone tissue regenerative PLA/HA scaffolds with comprehensive performance optimizations," *Materials & Design*, vol. 201, p. 109490, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109490.
[16] M. P. Bernardo *et al.*, "PLA/Hydroxyapatite scaffolds exhibit in vitro immunological inertness and promote robust osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells without osteogenic stimuli," *Sci Rep*, vol. 12, p. 2333, Feb. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-05207-w.
[17] A. Gregor *et al.*, "Designing of PLA scaffolds for bone tissue replacement fabricated by ordinary commercial 3D printer," *Journal of Biological Engineering*, vol. 11, no. 1, p. 31, Oct. 2017, doi: 10.1186/s13036-017-0074-3.
[18] R. Winarso, P. W. Anggoro, R. Ismail, J. Jamari, and A. P. Bayuseno, "Application of fused deposition modeling (FDM) on bone scaffold manufacturing process: A review," *Heliyon*, vol. 8, no. 11, p. e11701, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11701.
[19] A.-V. Do, B. Khorsand, S. M. Geary, and A. K. Salem, "3D Printing of Scaffolds for Tissue Regeneration Applications," *Adv Healthc Mater*, vol. 4, no. 12, pp. 1742–1762, Aug. 2015, doi: 10.1002/adhm.201500168.
[20] H.-S. N. Musthafa, J. Walker, and M. Domagala, "Computational Modelling and Simulation of Scaffolds for Bone Tissue Engineering," *Computation*, vol. 12, no. 4, Art. no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/computation12040074.
[21] Z. Yang, *Finite Element Analysis for Biomedical Engineering Applications*. 2019. doi: 10.1201/9780429061264.
[22] Y. Zhao, Q. Wu, H. Zhou, C. Zhao, and L. Wu, "Investigation on mechanical properties of Ti-6Al-4 V multilayer micro-lattice biomaterials under dynamic compression loading," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 977, p. 173419, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.jallcom.2024.173419.
[23] M. Tilton, E. Jacobs, R. Overdorff, M. Astudillo Potes, L. Lu, and G. Manogharan, "Biomechanical behavior of PMMA 3D printed biomimetic scaffolds: Effects of physiologically relevant environment," *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, vol. 138, p. 105612, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.jmbbm.2022.105612.
[24] S. V. Kallivokas *et al.*, "A Combined Computational and Experimental Analysis of PLA and PCL Hybrid Nanocomposites 3D Printed Scaffolds for Bone Regeneration," *Biomedicines*, vol. 12, no. 2, p. 261, Jan. 2024, doi: 10.3390/biomedicines12020261.
[25] J. Song, M. Wang, D. Li, and J. Zhang, "Deformation and Energy Absorption Performance of Functionally Graded TPMS Structures Fabricated by Selective Laser Melting," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 5, Art. no. 5, Jan. 2024, doi: 10.3390/app14052064.
[26] A. Gupta, M. Rana, N. Mondal, A. Das, A. Karmakar, and A. R. Chowdhury, "DESIGNING OF DIFFERENT TYPES OF GYROID SCAFFOLD ARCHITECTURE TO ACHIEVE PATIENT-SPECIFIC OSSEOINTEGRATION FRIENDLY MECHANICAL ENVIRONMENT," *Int J Mult Comp Eng*, vol. 21, no. 4, pp. 1–15, 2023, doi: 10.1615/IntJMultCompEng.2022043461.
[27] R. Verma, J. Kumar, N. K. Singh, S. K. Rai, K. K. Saxena, and J. Xu, "Design and Analysis of Biomedical Scaffolds Using TPMS-Based Porous Structures Inspired from Additive Manufacturing," *Coatings*, vol. 12, no. 6, Art. no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/coatings12060839.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA DESDE EL MÉTODO ÓPTICO

**Melissa Martell Cabrera**[1]

[1]Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: melissama@automatica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La marcha se define como el movimiento que realiza el ser humano para desplazarse en el espacio con el mínimo uso de energía por lo que, el objetivo principal del análisis de la marcha es proveer de valiosa información sobre la marcha de un sujeto basados en parámetros característicos de la locomoción humana. A raíz de esto, existen diversas técnicas de estudio que van desde el examen del paciente por el doctor hasta métodos y herramientas más sofisticados como los laboratorios de marcha. Este trabajo aborda el análisis de un sujeto femenino sano utilizando un laboratorio 3D Vicon con 8 cámaras infrarrojas, 2 cámaras digitales y sincronizado con 5 plataformas de fuerza Kistler. Se permitió cuantificar la cinemática y la cinética de la marcha obteniéndose parámetros que pueden ser utilizados en diversos ámbitos como el diagnóstico de afectaciones, el seguimiento de procesos de rehabilitación, planificación de intervenciones quirúrgicas y ser puntos de referencia para el diseño en la ingeniería biomédica.

**PALABRAS CLAVES:** análisis de la marcha, cinemática, cinética, método Vicon.

## ANALYSIS OF HUMAN GAIT USING THE OPTICAL METHOD

**ABSTRACT**

Gait is defined as the movement carried out by the human being to move in space with the minimum use of energy, therefore, the main objective of gait analysis is to provide valuable information about the gait of a subject based on characteristic parameters. of human locomotion. As a result of this, there are various study techniques that range from the examination of the patient by the doctor to more sophisticated methods and tools such as gait laboratories. This work addresses the analysis of a healthy female subject using a Vicon 3D laboratory with 8 infrared cameras, 2 digital cameras and synchronized with 5 Kistler force platforms. It was possible to quantify the kinematics and kinetics of gait, obtaining parameters that can be used in various areas such as diagnosing disorders, monitoring rehabilitation processes, planning surgical interventions and being reference points for design in biomedical engineering.

**KEY WORDS:** gait analysis, kinematic, kinetics, Vicon method.

## 1. INTRODUCCIÓN

El movimiento del cuerpo humano es considerado como un factor esencial en la salud y la calidad de vida de las personas. Como parte de él, la marcha constituye un elemento de gran importancia y complejidad relacionado con la capacidad de desplazamiento por el espacio y por ende con la interacción del hombre con el medio ambiente. Se puede definir la marcha como la forma de desplazamiento en posición bípeda propia del ser humano en la que se suceden apoyos bipodales y los monopodales [1] y su estudio ha permitido realizar aplicaciones de forma óptima en diversas áreas como la robótica, la biomecánica, el deporte, la rehabilitación y el diagnóstico de enfermedades que afecten la marcha [2]. Asimismo, las mayores aplicaciones del análisis de movimiento se han dirigido al desarrollo de herramientas en el entorno clínico con el fin de promover los métodos de diagnóstico de enfermedades y la toma de decisiones para el tratamiento ya que existe un elevado número de padecimientos de los sistemas neuromuscular y musculoesquelético que conducen a desordenes en la marcha como la enfermedad del Parkinson, osteoartritis, artritis reumatoidea, infartos, esclerosis múltiples, entre otras [3].

Durante la marcha se presentan dos requisitos que todos deben cumplir, aunque presenten algún tipo de patología: el mantenimiento de las fuerzas de reacción del piso sobre la extremidad de soporte y el movimiento periódico de cada pierna desde una posición de apoyo a otra, en la dirección del movimiento. A estos dos momentos en su conjunto se le denomina ciclo de la marcha que comienza y termina con el apoyo del talón del mismo pie [4]. En la Figura 1 se muestra el ciclo de la marcha con sus fases y subfases. Asimismo, existen parámetros a tener en cuenta para medir y definir el patrón de la marcha (Tabla 1). Las magnitudes de estos deben ser analizadas de conjunto para identificar las características morfológicas de los patrones específicos reproducidos por cada individuo, bien sean normales o patológicos [5].

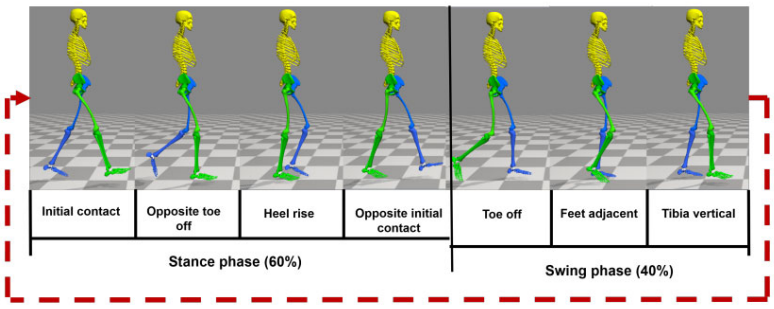



Figura 1: El ciclo de la marcha se divide en dos fases, fase de apoye que constituye el 60% del ciclo y la fase de balanceo que representa el 40%. La fase de apoyo está compuesta por el contacto inicial, el despegue del pie contrario, el ascenso del talón y el contacto inicial del pie contrario. La fase de balanceo comienza con el despegue de los dedos, el avance del pie y el posicionamiento vertical de la tibia [6].

Tabla 1: Parámetros de la marcha [5].

| Temporal | Espacial | Espaciotemporal | Cinéticos | Cinemáticos | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Plano sagital | Plano frontal | Plano transversal |
| Tiempo de soporte | Largo del paso | Velocidad | Fuerza en cadera, rodilla y tobillo | Basculación de la pelvis | Oblicuidad de la pelvis | Rotación de la pelvis |
| Tiempo de balanceo | Longitud de la zancada | Velocidad media | Fuerza antero-posterior | Flexo-extensión de la cadera | Aducción abducción de la cadera | Rotación de la cadera |
| Duración del doble soporte | Ancho del paso | | Fuerza medio-lateral | Flexo-extensión de la rodilla | Aducción abducción de la rodilla | Rotación de la rodilla |
| Cadencia | | | Potencia en articulaciones | Dorsiflexión plantiflexión del tobillo | Ángulo de progresión del pie | Rotación del pie |
| Duración de la zancada | | | Centro de presión | | | |
| | | | Momentos en articulaciones | | | |

Haciendo énfasis en los parámetros cinéticos y cinemáticos, podemos definir a los primeros como las fuerzas que provocan los movimientos y los segundos como los movimientos sin atender a las fuerzas que los provocan permitiendo conocer las causas que los ocasionan.

Existen diferentes métodos para realizar el análisis de la marcha que pueden estar basados solamente en las capacidades del especialista o en equipos o instrumentos [7]. Los métodos de observación más comunes son: la escala de equilibrio de Berg (BBS), el índice de marcha dinámica, la prueba de caminata de 10 metros, prueba de caminata de 6 minutos y categorías de deambulación funcional (FAC). Todos estos métodos evalúan la capacidad de caminar utilizando diferentes tareas y rangos. Debido a que la evaluación depende de la experiencia del especialista, las valoraciones son subjetivas [8].

En la Tabla 2 se muestran métodos de estudio de la marcha con la utilización de equipos e instrumentos.

Tabla 2: Métodos de análisis de la marcha [6, 9, 10].

| Métodos | Instrumentación | Datos | Propósito |
|---|---|---|---|
| Captura de movimiento basado en marcadores | Sistemas optoelectrónicos, retro marcadores reflactantes | Las coordenadas x, y, z de los marcadores y su evolución en el tiempo | El seguimiento del movimiento del sujeto para reconstruir su posición 3D |
| Captura del movimiento sin marcador | Cámaras y RGB-D sensores | Grabaciones de video de secuencias de marcha | Las cámaras convencionales pueden ser utilizadas sin la necesidad de instrumentos ni hardware especiales |
| Mediciones inerciales | Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro | Series de tiempo inercial | Mediciones y análisis inerciales |
| Sensores de piso | Plataformas de fuerza, matrices de presión, pedobarografía | Vectores de fuerza y momento intercambiados con el piso. Coordenadas del centro de presión | Análisis de las fuerzas del suelo, reacción articular, y fuerza de los músculos |
| Electromiografía (EMG) | Electromiógrafo | Series de tiempo del voltaje producido por la contracción del músculo | Análisis de la contracción de los músculos |
| Consumo de energía | Oxímetro, estetoscopio | Serie temporal de los niveles de $O_2$ y $CO_2$ | Análisis del consumo de energía mientras se camina |
| Electrogoniometría | Electrogoniómetro | Series temporales de ángulos articulares | Medición continua de los ángulos de una articulación mientras se camina |

El método de captura de movimiento basado en marcadores corporales es una de las útiles tecnologías para el análisis de la marcha [11-13]. Para realizarla, se requiere la teoría de cuerpos rígidos múltiples y la calibración de las cámaras. Esta es la principal fuente de errores de este método, además de la variabilidad ambiental, los tejidos blandos y la colocación incorrecta de los puntos de referencia anatómicos [6].

Los sistemas sin marcadores [14-16], superando estas limitaciones, usan cámaras convencionales sin la necesidad de usar ropas o hardware especial, sin embargo, las variaciones implícitas en el modelo elegido en la configuración de la pose, la forma del cuerpo y el punto de vista de la cámara pueden ocasionar

errores en las mediciones. De ahí la importancia de realizar varias repeticiones y la actitud del paciente [6].

El uso de las mediciones inerciales para el seguimiento del cuerpo es relativamente nuevo [17, 18], entre los dispositivos usados se encuentran acelerómetros, giroscopios y magnetómetros para la adquisición de datos tanto en entornos clínicos como en entornos no controlados. La importancia de esta tecnología reside en poder realzar evaluaciones en tiempo real.

Los sensores de piso se han aplicado en entornos médicos para obtener el impacto de la fatiga del músculo y la caracterización de anomalías en la marcha [19, 20]. Una plataforma de fuerza integra dispositivos con tensión, manómetros o transductores piezoeléctricos. Para el análisis de la marcha, las plataformas de fuerza se fijan en el suelo y registran la fuerza entre el suelo y la superficie plantar del pie. Las desventajas de usar plataformas de fuerza son: la necesidad de construirse sobre una pasarela, el número de superficies de contacto es limitado y un solo pie es una medida durante un ciclo de marcha [6].

Asimismo, la electromiografía es una técnica utilizada en la marcha para estudiar el músculo de cada segmento corporal [11]. Tres aplicaciones importantes de la EMG de superficie son el uso de las señales para saber el inicio de la activación muscular, la generación de fuerza por un músculo, y la medición de la fatiga dentro de un músculo. El problema que se deriva de las señales EMG es el enfoque semicuantitativo y la pequeña medida de la fuerza de contracción de los músculos individuales.

Asimismo, las herramientas de Inteligencia Artificial han mostrado su eficacia en el estudio de la marcha [12, 14, 21]. Estas buscan el análisis de la marcha donde se mejoran técnicas de análisis y ciertos factores de estudio biomecánico mediante la utilización de algoritmos de inteligencia artificial. Además, trabajan con el fin de la salud y bienestar del paciente con aplicaciones en monitorización de la marcha para detección de marcha anormal, reconocimiento de actividades humanas, detección de caídas y rendimiento deportivo; el seguimiento de la pose humana utilizando sistemas de localización y seguimiento de una o varias personas; la biometría basada en la marcha con aplicaciones en identificación, autenticación y reidentificación de personas, así como reconocimiento de género y edad; las aplicaciones de “marcha inteligente” que van desde calcetines, zapatos y otros dispositivos portátiles inteligentes hasta hogares inteligentes y tiendas minoristas inteligentes que incorporan sistemas de control y monitoreo continuo y la animación que reconstruye el movimiento humano utilizando datos de la marcha, simulación y máquinas técnicas de aprendizaje.

El gran avance tecnológico en los instrumentos de captura de movimiento y la evaluación de algoritmos para el procesamiento de datos han dado paso a los actuales Laboratorios de Análisis de la Marcha (LAM) altamente sofisticados, instrumentados y establecidos como herramienta de investigación [22].

El laboratorio de análisis del movimiento en un sistema de medición de avanzada tecnología creado para analizar e investigar el movimiento humano y así dar respuesta a las necesidades de las áreas clínicas, laborales y biomecánicas deportivas. Este permite la planificación de intervenciones quirúrgicas (valoración pre y post quirúrgicas neuro-ortopédicas), el seguimiento a los procesos de rehabilitación para verificar la evolución de pacientes, la valoración biomecánica en prescripción de órtesis y prótesis y la evaluación de la marcha. Los laboratorios de análisis de la marcha son un conjunto de diversos métodos cuantitativos para lograr un resultado integral de la condición del paciente. De esta forma, presentan marcadores pasivos reflectantes sobre la piel en relación a puntos de referencias óseo y de electrodos de superficies para registro de actividad electromiográfica. Además, de un área de captura con cámaras de infrarrojas y de vídeo y, plataformas de fuerza. Entre las principales limitaciones de su utilización se encuentran el factor humano presente en la calibración de las cámaras y en el procesamiento de las tomas y los errores propios que pueden devenir del uso de los métodos que lo integran. Es por ello la importancia de la repetición de las tomas y la actitud del paciente.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizo un sujeto femenino sano. Las medidas se encuentran plasmadas en la Tabla 2.

Tabla 2: Medidas del sujeto.

| Peso (kg) | Talla (m) |
|---|---|
| 63 | 1.65 |

Se realizó un estudio descriptivo a partir de una captura de movimiento al sujeto, utilizando un laboratorio 3D Vicon con 8 cámaras infrarrojas, 2 cámaras digitales y sincronizado con una plataforma de fuerza Kistler y 4 plataformas de fuerza BTS.

Se utilizaron 10 capturas válidas y a partir de ellas se determinó el patrón de marcha y la cuantificación de la cinemática y la cinética de la misma.

Para la captura se empleó el software Vicon nexus 2.9.0 y para el procesamiento de los resultados el software Vicon polygon 4.4.4.

Los resultados obtenidos fueron analizados en el plano frontal y sagital comparándolos con los rasgos establecidos en el patrón disponible. Se analizo la cinemática y la cinética de la pelvis, la cadera, la rodilla y el tobillo.

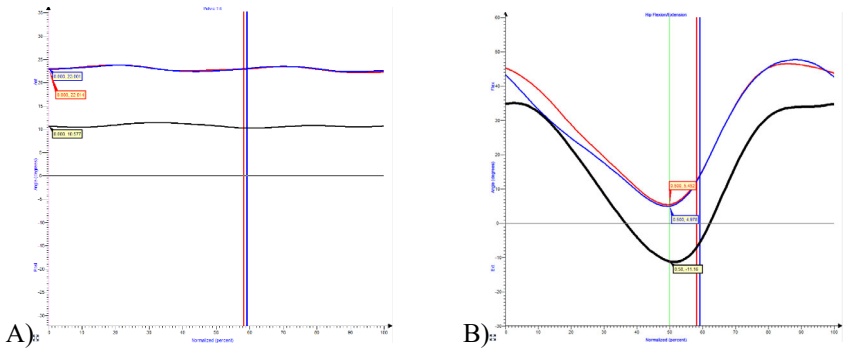
## 3. ANÁLISIS DE LA MARCHA

**Cinemática**

Pelvis y Cadera:

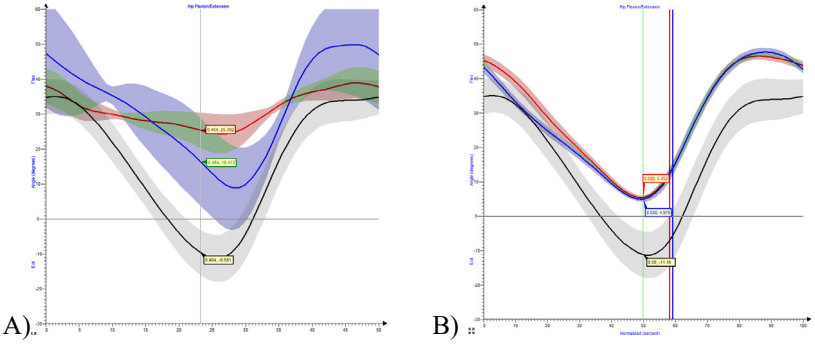
Plano Sagital
La cinemática sugiere un aumento en la anteversión y el comienzo del ciclo con 13 grados de diferencia con respecto al patrón normal de ambas pelvis, manteniendo este movimiento hasta el apoyo terminal.

Ambas caderas se mantienen dentro del rango normal hasta el apoyo medio, en el apoyo terminal alcanzan un pico de 16 grados con ambas caderas en flexión respecto al patrón manteniendo este movimiento en flexión todo el ciclo.



A) B)

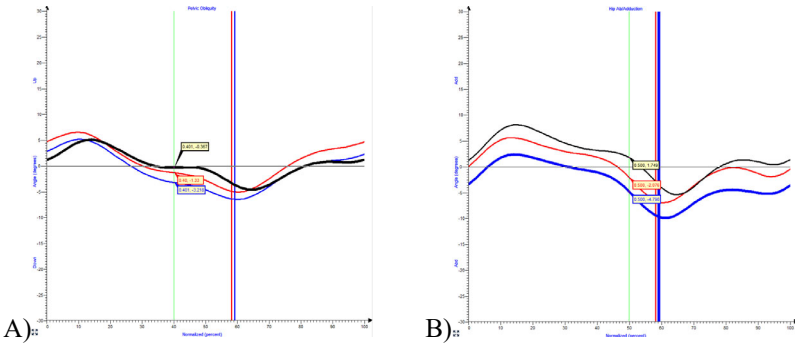
Fig. 2. A) Basculación de la pelvis. B) Flexo-extensión de la cadera durante el ciclo de la marcha.



A) B)

Fig. 3. Comparación entre la flexo-extensión de A), un paciente con artrosis en la cadera en la cara izquierda con B), los resutados de nuestro sujeto sano. Se puede apreciar que aunque el sujeto sano muestra valores fuera del rango normal, en los resultados del paciente se muestra la casi nula extensión de la cadera izquierda en la fase de apoyo causada por su padecimiento.

Plano Frontal
Ambas pelvis se mantienen dentro del rango normal durante todo el ciclo.
La cadera izquierda se mantiene dentro del rango normal durante todo el ciclo. La cadera derecha se mantiene en abducción alejada 5 grados del patrón normal.



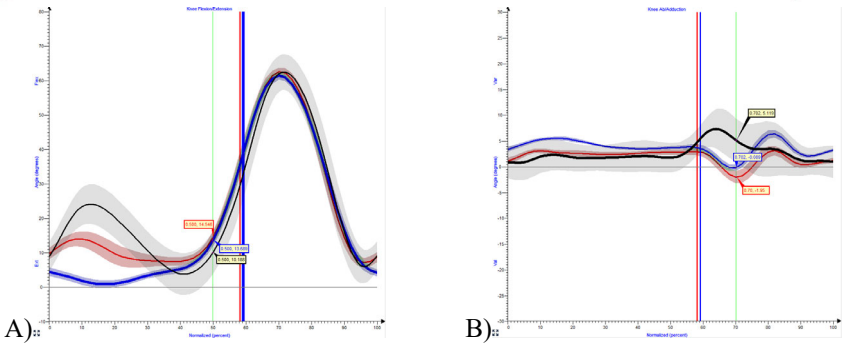
A) B)

Fig. 4, A) Oblicuidad de la pelvis. B) Abducción y aducción de la cadera.

Rodillas

Plano Sagital (Fig. 5.A).
Ambas rodillas inician el ciclo fuera del patrón normal, la izquierda 14 grados y la derecha 23 grados. A partir del apoyo medio se mantiene dentro del rango normal.

Plano Frontal (Fig. 5.B).
Ambas rodillas se mantienen dentro del rango normal en varo hasta el balaceo inicial que la rodilla izquierda se aleja 6 grados y la derecha 5 grados. Luego vuelve al rango del patrón normal hasta el final del ciclo.



A): B):

Fig. 5. A) Flexo-extensión de la rodilla. B) Abducción y aducción de la rodilla.

Tobillos y Pies

Plano Sagital
El tobillo derecho inicia fuera del rango normal 5 grados en flexión plantar y el derecho comienza en el rango normal hasta el apoyo medio donde los dos continúan el ciclo dentro del rango normal.

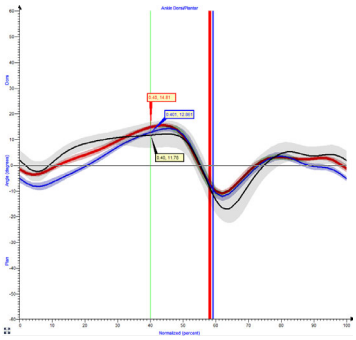


Fig. 7. Flexión dorsal y plantar del tobillo.

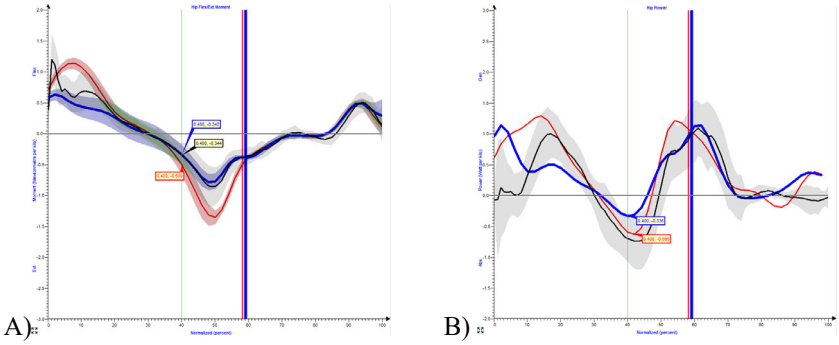
**Cinética**

Pelvis y Cadera

Plano Sagital

Ambas caderas comienzan el ciclo dentro del rango, en el desapegue inicial la cadera derecha se aleja 0.6 Nm del momento normal y se incorpora al rango hasta la elevación del talón donde se aleja 0.5 Nm. Luego ambas caderas continúan el ciclo dentro del rango normal.

Con respecto a la potencia de la cadera, al inicio del ciclo ambas caderas están fuera del rango normal, la cadera izquierda alejada 0.8 watts y la derecha 0.15. Luego se mantiene dentro del rango normal por el resto del ciclo.



A) B)

Fig. 6. A) Momento en flexo-extensión de la cadera. B) Potencia de la cadera.

Plano frontal
Ambas caderas se mantienen en el rango normal durante todo el ciclo.

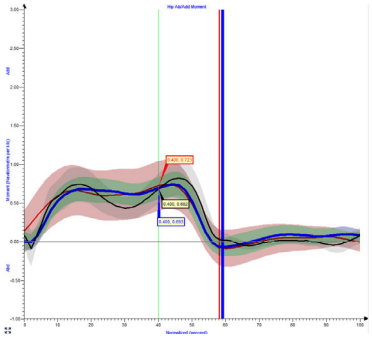
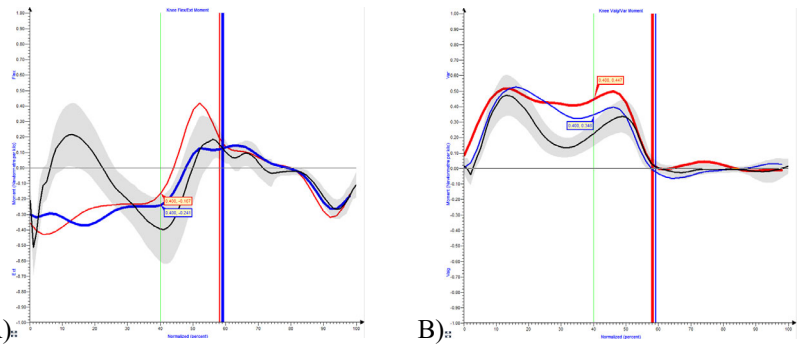


Fig. 7. Momento en abducción y aducción de la cadera.

Rodillas.

Plano sagital (Fig. 7. A)
Ambas rodillas comienzan el ciclo dentro del rango normal. En el apoyo inicial salen del rango, se alejan 0.56 Nm del valor normal. En el despegue del talón la rodilla derecha se aleja del rango 0.28 Nm. Luego se mantienen dentro de los parámetros normales.

Plano frontal (Fig. 7. B)
Al inicio del ciclo la rodilla izquierda se encuentra alejada del rango normal 1.1 Nm mientras que la rodilla derecha se mantiene en el rango normal. En la fase de apoyo medio ambas rodillas salen del rango normal en varo, la izquierda 0.28 Nm y la derecha 0.22 Nm. Luego se mantienen dentro del rango normal



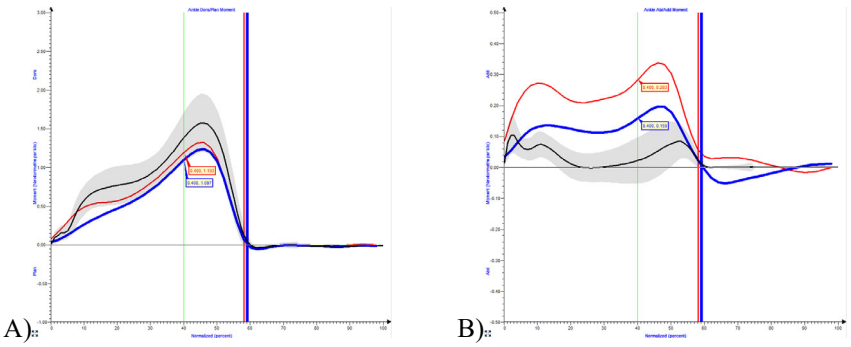
A) B)

Fig. 7. A) Momento en flexo-extensión de la rodilla. B) Momento en varo y valgo de las rodillas.

Tobillos

Transversal
En el apoyo inicial en tobillo derecho sale del rango 0.35 Nm, luego ambos tobillos se mantienen dentro del rango normal.

Frontal
En la fase de apoyo ambas rodillas están fuera del rango, la rodilla izquierda 0.14 Nm y la derecha 0.26 Nm.



A)::  B)::

Fig. 7. A) Momento en flexión dorsal y plantar de la rodilla. B) Momento en abducción aducción de las rodillas.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó al Laboratorio de Análisis de la Marcha utilizando el método Vicon para el procesamiento y análisis de datos de la marcha que trae consigo ventajas significativas como es la integración de la observación del especialista clínico con los resultados obtenidos en el laboratorio a través de las medidas cuantitativas que podemos obtener de él que potencian el diagnóstico y el seguimiento de la evolución de los pacientes con tratamientos.

**RECONOCIMIENTOS**

La autora desea agradecer a la profesora Dr. C. Tania Rodríguez Moliner por la guía y tutela en la investigación y a los trabajadores del Centro Nacional de Rehabilitación: Hospital “Julio Diaz” del departamento de Marcha por enseñar el uso e importancia del Laboratorio de Marcha.

**REFERENCIAS**

1. COLLADO VÁZQUEZ, Susana, "Análisis de la marcha con plataformas dinamométricas. Influencia del trans porte de carga," Tesis de doctorado, Facultad de Medicina de la Universidad Complutense, Universidad Complutense, Madrid, 2002. https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5d1df60429995204f765ee1b
2. SINGH, Jasvinder Pal; JAIN, Sanjeev; ARORA, Sakshi; SINGH, Uday Pratap. "Vision-based gait recognition: A survey," *Ieee Access*, 2018, vol. 6, pp. 70497-70527. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8528404/
3. RICHARDS, Jim; LEVINE, David; WHITTLE, Michael W. *Whittle's Gait Analysis-E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2022. ISBN 0702084980.
4. AGUDELO MENDOZA, Adriana Isabel; BRIÑEZ SANTAMARIA, Tatiana Julieth; GUARÍN URREGO, Vanessa; RUIZ RESTREPO, Juan Pablo; ZAPATA GARCÍA, Marlly Carolina. "Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura," *CES Movimiento y Salud*, 2013, vol. 1, no. 1, pp. 29-43. https://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/article/view/2481
5. TABOADA DÍAZ, J. E.; CARREÑO JUAN, D.; DUNN GARCÍA, E.; DÍAZ NOVO, C.; RODRÍGUEZ MOLINER, T. "Rasgos esenciales para la obtención del patrón biomecánico de la marcha

en niños sanos. Una revisión sistemática," *Rehabilitación*, 2022, vol. 56, no. 3, pp. 195-203. https://doi.org/10.1016/j.rh.2021.11.003

6. GONZALEZ-ISLAS, Juan Carlos; DOMINGUEZ-RAMIREZ, Omar Arturo; CASTILLEJOS-FERNANDEZ, Heydy; CASTRO-ESPINOZA, Felix Agustin. "Human gait analysis based on automatic recognition: A review," *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 2022, vol. 10, no. Especial3, pp. 13-21. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/8927

7. KELLY, Haydn D, *Forensic gait analysis*. CRC Press, 2020.

8. SHARIF BIDABADI, Shiva; TAN, Tele; MURRAY, Iain; LEE, Gabriel. "Tracking foot drop recovery following lumbar-spine surgery, applying multiclass gait classification using machine learning techniques," *Sensors*, 2019, vol. 19, no. 11, p. 2542. https://www.mdpi.com/1424-8220/19/11/2542

9. WHITTLE, Michael W. *Gait analysis: an introduction*. Butterworth-Heinemann, 2014.

10. KLÖPFER-KRÄMER, Isabella; BRAND, Andreas; WACKERLE, Hannes; MÜßIG, Janina; KRÖGER, Inga; AUGAT, Peter. "Gait analysis–available platforms for outcome assessment," *Injury*, 2020, vol. 51, pp. S90-S96. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020138319307089

11. ALHAKEEM, Nojoud; OUELLETTE, Elizabeth Anne; TRAVASCIO, Francesco; ASFOUR, Shihab. "Surgical Intervention for Spastic Upper Extremity Improves Lower Extremity Kinematics in Spastic Adults: A Collection of Case Studies," (in eng), *Front Bioeng Biotechnol*, 2020, vol. 8, p. 116. https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2020.00116/full

12. KIDZIŃSKI, Łukasz; DELP, Scott; SCHWARTZ, Michael. "Automatic real-time gait event detection in children using deep neural networks," (in eng), *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 1, p. e0211466. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0211466

13. CHEN, Xiang; WU, Qi; TANG, Lu; CAO, Shuai; ZHANG, Xu; CHEN, Xun, "Quantitative assessment of lower limbs gross motor function in children with cerebral palsy based on surface EMG and inertial sensors," (in eng), *Med Biol Eng Comput*, 2020, vol. 58, no. 1, pp. 101-116. https://link.springer.com/article/10.1007/s11517-019-02076-w

14. CHAKRABORTY, Saikat; NANDY, Anup, "Automatic Diagnosis of Cerebral Palsy Gait Using Computational Intelligence Techniques: A Low-Cost Multi-Sensor Approach," (in eng), *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2020, vol. 28, no. 11, pp. 2488-2496. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9210757/

15. BALTA, Diletta et al. "A model-based markerless protocol for clinical gait analysis based on a single RGB-depth camera: concurrent validation on patients with cerebral palsy," *IEEE Access*, 2023. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10347196/

16. AROOJIS, Alaric; SAGADE, Bhushan; CHAND, Suresh, "Usability and Reliability of the Edinburgh Visual Gait Score in Children with Spastic Cerebral Palsy Using Smartphone Slow-Motion Video Technology and a Motion Analysis Application: A Pilot Study," (in eng), *Indian J Orthop*, 2021, vol. 55, no. 4, pp. 931-938. https://link.springer.com/article/10.1007/s43465-020-00332-y

17. CONTINI, Bruno Giuseppe et al. "A wearable gait analysis protocol to support the choice of the appropriate ankle-foot orthosis: A comparative assessment in children with Cerebral Palsy," (in eng), *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2019, vol. 70, pp. 177-185. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268003318308775

18. BEHBOODI, Ahad; ZAHRADKA, Nicole; WRIGHT, Henry; ALESI, James; LEE, Samuel CK. "Real-time detection of seven phases of gait in children with cerebral palsy using two gyroscopes," *Sensors*, 2019, vol. 19, no. 11, p. 2517. https://www.mdpi.com/1424-8220/19/11/2517

19. MUDGE, Anita J et al., "Can pedobarography predict the occurrence of heel rocker in children with lower limb spasticity" (in eng), *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2020, vol. 71, pp. 208-213. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268003318308799

20. MIRALLES IBORRA, Aarón, "Relación entre variables antropométricas y el análisis baropodométrico de la marcha. Estudio descriptivo," Fisioterapia, Facultad de Medicina, Universidad Miguel Hernández, Elche, 1660, 2019. https://dspace.umh.es/handle/11000/7165

21. SLIJEPCEVIC, Djordje; ZEPPELZAUER, Matthias; UNGLAUBE, Fabian; KRANZL, Andreas; BREITENEDER, Christian; HORSAK, Brian. "Explainable Machine Learning in Human Gait Analysis: A Study on Children With Cerebral Palsy," *IEEE Access*, 2023. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10164110/

22. LORA CASTRO, Sorpresa, "Análisis funcional de la marcha," Maestría en Ciencias en Bioingeniería y Cómputo Inteligente, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2022. https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/92434/1/MCUCEI10495FT.pdf

**Sobre los autores**

Estudiante de cuarto año de Ingeniería Biomédica en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverria”.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OBTENCIÓN DE TORNILLOS INTERFERENCIALES Y DE ANCLAJE POR FABRICACIÓN ADITIVA

**Oscar Arencibia Díaz[1], Ricardo Jesús Tarragona Reinoso [2], Ernesto Fleites Santisteban[2], Carlos A. Armand Márquez[1]**

[1]Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), Cuba.
[2]Complejo Científico Ortopédico Internacional, Frank País, Cuba
[1]e-mail: oscara@cneuro.edu.cu

## RESUMEN

Se exponen propuestas de diseños y tecnologías de fabricación aditiva para producir tornillos de interferencia y de anclaje para cirugía Ortopédica, dada la solicitud por el Complejo Científico Ortopédico Internacional Frank País. Se estudiaron las muestras entregadas por el solicitante. Contamos con la colaboración de médicos expertos, las experiencias adquiridas en el conocimiento de las tecnologías correspondientes instaladas en Cneuro y el estudio de los dispositivos comerciales. Para fabricar modelos se utilizaron, hilo Ø2.85 mm de ácido poliláctico, resinas Biomed clear y RF080, pepitas de remanium 2000+ y los equipos DWS O29D, Ultimaker S5 PRO, Fundidora centrífuga Smartcast, rugosímetro Surftest SJ-210 y pulidora OTEC. Se modelaron dos variantes de cada dispositivo y se caracterizaron y seleccionaron los materiales disponibles para su fabricación. Se establecieron cuatro posibles procesos para producirlos. Se prepararon diseños virtuales de los dispositivos para cada proceso y se fabricaron modelos en polímeros de todos los dispositivos utilizando cada proceso. La geometría de las roscas de los modelos fabricados, las dimensiones y la calidad de las superficies se ajustan a lo esperado. Se diseñan ensayos para evaluar su calidad superficial y de tracción para determinar la fuerza inicial de agarre y la rigidez de los dispositivos fabricados con cada uno de los materiales propuestos. Los dispositivos fabricados pueden pasar a las fases de reajustes de los procesos tecnológicos y de ensayos mecánicos funcionales de tracción in vitro.

**PALABRAS CLAVES:** Tornillos de interferencia, tornillos de anclaje, fabricación aditiva, procesos tecnológicos.

## OBTAINING INTERFERENTIAL AND ANCHOR SCREWS BY ADDITIVE MANUFACTURING

## ABSTRACT

Proposals for additive manufacturing designs and technologies are presented to produce interference and anchoring screws for orthopedic surgery, given the request by the Frank País International Orthopedic Scientific Complex. The samples provided by the applicant were studied. We relied on the collaboration of expert physicians, the experience acquired in the knowledge of the corresponding technologies installed in Cneuro and the study of commercial devices. To manufacture models, Ø2.85mm polylactic acid thread, Biomed clear and RF080 resins, remanium 2000+ nuggets and the following equipment were used: DWS O29D, Ultimaker S5 PRO, Smartcast centrifugal caster, Surftest SJ-210 roughness tester and OTEC polisher. Two variants of each device were modelled and the available materials for their manufacture were characterized and selected. Four possible processes for their production were established. Virtual designs of the devices were prepared for each process and polymer models of all the devices were manufactured using each process. The geometry of the threads of the manufactured models, the dimensions and the quality of the surfaces are in accordance with expectations. Tests are being designed to evaluate their surface and tensile quality to determine the initial gripping force and the stiffness of the devices manufactured with each of the proposed materials. The manufactured devices can move on to the phases of readjustments of the technological processes and in vitro functional tensile mechanical tests.

**KEY WORDS:** Interference screws, anchor screws, additive manufacturing, technological processes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los tornillos de interferencia y de anclaje son dispositivos ortopédicos roscados implantables que ayudan a asegurar los tejidos blandos al hueso para que recuperen su función. El tornillo de interferencia puede ser empleado en cirugías de reconstrucción de los ligamentos de la rodilla y de hombro y es el método de fijación de su tipo más ampliamente utilizado comparado con las grapas, los tornillos con arandela metálica, las suturas atadas a un poste, los broches, el tornillo transversal y otros en desarrollo que cuentan con un mecanismo interno que hace se expanda radialmente dentro del túnel óseo y que ha alcanzado los resultados esperados en los ensayos preliminares [1]. El tornillo de interferencia se coloca con un atornillador avanzando y proporciona fijación, comprimiendo los injertos contra las paredes de los túneles óseos previamente preparados de acuerdo con las técnicas establecidas y es totalmente canulado para que pueda ser introducido a través de una clavija insertada previamente que le sirve de guía. Por otro lado, el tornillo de anclaje se atornilla directamente al hueso y mediante un hilo de sutura atado a este se aseguran los tejidos al hueso.

Estos dispositivos Tabla 1 y Tabla 2 se utilizan a elección y tienen formas geométricas variadas que buscan alcanzar las mejores combinaciones de propiedades para beneficiar el proceso de implantación y a los pacientes, mejorando su calidad, sin embargo, las múltiples opciones no han estado exentas de tener complicaciones tales como desinserción, migración e interferencia con estudios de imagen entre otras. Cada uno de esos dispositivos o las técnicas asociadas para colocarlos presentan problemas que van desde el número excesivo de incisiones que hay que realizar hasta la escasa fuerza de agarre y rigidez que presentan algunos de estos métodos de fijación [1].

Debido a la alta tasa de demanda por el uso de estos dispositivos en Cuba, la dirección del Complejo Científico Ortopédico Internacional Frank País ha solicitado a Cneuro trabajar en el desarrollo y la producción de estos dispositivos según las muestras entregadas, utilizando las tecnologías instaladas en el país para lo que se establecieron como objetivos, desarrollar dispositivos que adopten los avances en este campo y que se puedan producir mediante las tecnologías de fabricación aditiva instaladas en Cneuro con los materiales convenientes disponibles y desarrollar procesos tecnológicos para su producción con las tecnologías de Cneuro que permitan satisfacer la demanda del sistema de salud cubano.

El ideal de fijación de injerto de ligamento cruzado anterior debe caracterizarse por poseer gran capacidad de fijación inicial, es decir, alta resistencia hasta que se produzca la fijación biológica o la integración entre el injerto y el hueso, capacidad de resistencia a esfuerzos cíclicos sin pérdida de propiedades para soportar las cargas de fatiga típicas de la locomoción humana, rigidez del sistema de fijación lo más parecida posible al del ligamento cruzado anterior original para conseguir una estabilidad en la rodilla similar a la anterior a la aparición de la lesión, capacidad de absorción por el cuerpo a medida que se produce la osteointegración del injerto, de forma que el resultado sea semejante al ligamento original, colocación con el menor daño posible para el injerto, con el objeto de no reducir su resistencia y osteointegración, una técnica quirúrgica con el menor número de incisiones posibles, facilitando así la pronta recuperación del paciente y facilidad de extracción en el caso de una mala inserción u otro tipo de problemas quirúrgicos [1].

Por otro lado, los tornillos de interferencia y anclaje del mercado brindan características específicas que propone cada fabricante que los identifican y hacen ventajosos las cuales serían apropiadas considerar para establecer un plan de requisitos para proyectar nuestras propuestas de diseños. Aparecen tornillos de interferencia que utilizan sistemas de conexión interna al quedar instalados en el túnel óseo, con una altura reducida de la cabeza y tienen conexión cuadrada, estrella, Allen, Torx, entre otras. La interacción de un destornillador trilobulado a lo todo largo del tornillo se considera para proveer mayor resistencia a la unión entre ambos, fundamentalmente cuando los tornillos se fabrican en algún polímero biocompatible, también, utilizan un destornillador con rosca afilada en la punta que atraviesa toda la cánula del tornillo de interferencia y sobresale por el extremo agudo de este para lograr un arranque fácil fundamentalmente cuando el tornillo se fabrica con polímeros, otros, los fabrican totalmente roscado para alcanzar máxima fijación cortical que es la zona más densa del hueso, un diseño de punta cónica ofrece una inserción rápida y más sencilla del implante, implantes con una estructura porosa facilita la integración con el hueso y aligera su peso, los modelos perforados favorecen el crecimiento ósea, las roscas lisas y romas y la cabeza redondeada del tornillo protegen el injerto de la laceración a la vez que garantiza la fuerza de fijación, tornillos femorales con rotación a la izquierda para la reconstrucción del ligamento cruzado anterior de la rodilla derecha, doble paso de rosca permite introducir los tornillos con

sólo unas pocas vueltas del destornillador para un avance más rápido, implantes con la cabeza antideslumbrante lo cual mejora la visualización, implantes pulidos con la punta totalmente redondeada proporcionando así una protección máxima del injerto, tornillos interferenciales en una amplia gama de medidas, el canulado generalmente es de Ø1.5 mm y tienen mortaja interna de conexión para el destornillador de 3.5 mm hexagonal o Allen. Anclas de rosca completa, con un diseño ventilado para promover un mayor flujo sanguíneo y con el hilo de sutura sepultado en el extremo más profundo del Ancla para mayor fuerza de agarre. Aparecen fabricados fundamentalmente en Ti6Al4V que es de los materiales más biocompatibles, polieteretercetona (en lo adelante PEEK), ácido poliláctico (en lo adelante PLA).

Algunas de las características generales que destacan a los tornillos de interferencia y de anclaje comerciales se agrupan se recogen en la Tabla1.

Las roscas se caracterizan por la forma del perfil del filete roscado, la cantidad de filetes, el paso axial y el diámetro del tornillo, así como la redondez de la cresta del filete que pueden ser aguda o perfil de rosca romo [2].

La Fabricación Aditiva permite la producción automática de objetos macizos, porosos con geometrías complejas y variadas en un mismo montaje sin utilizar utillajes de fabricación, directamente desde un modelo digital mediante la deposición de material de una forma precisa con menor costo que las obtenidas mediante las tecnologías tradicionales de fabricación. Permite fabricar bajo demanda, series cortas o individuales de objetos en un tiempo breve, lo cual reduce los niveles de inventario físicos de las empresas a cambio de tener inventarios virtuales, menor impacto medioambiental debido a la reducción del consumo de materia prima y energía, entre otras pero con las desventajas de contar con una carta limitada de materiales de reciente creación cuyo conocimiento de todas sus propiedades, comportamiento en el tiempo y aplicaciones posibles aún es insuficiente y de no siempre ser posible obtener productos con la precisión y calidad superficial requeridas, lo cual demanda de ajustes del proceso de fabricación y de procesos posteriores de terminación y acabado.

Tabla 1: Características de dispositivos comerciales.

| **Tornillo** | **Tamaños más empleados (mm)** | | **Esfuerzos a los que están sometidos según su trabajo** | **Formas geométricas** | **Fabricados con Materiales Biocompatibles** | **Métodos de fabricación empleados** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Diámetro** | **Longitud** | | | | |
| **Interferencia** | 6 - 10 | 20 - 35 | Compresión y tracción | Variadas geometrías | Polímeros simples, Compuestos bioabsorbibles y Aleaciones de metales | Tecnologías tradicionales y mediante procesos de Fabricación aditiva |
| **Anclaje** | 4 - 5 | 13 | Tracción y flexión | | | |

Dentro de las tecnologías de fabricación aditiva instaladas en Cneuro se destacan por su precisión y automatización, el Modelado por deposición fundida, donde un cabezal extruye un hilo de polímero que es fundido hasta estado semilíquido, este proceso se produce en una cámara con temperatura ambiente controlado, la Estereolitografía utiliza un láser ultravioleta para curar con precisión secciones transversales de fotopolímeros en forma de resinas, convirtiéndolos de líquidos en sólidos, la Fusión selectiva láser utiliza un láser de alta potencia para fundir polvo metálico o cerámico en finas capas y crear piezas complejas con precisión en una cámara a temperatura controlada y al vacío libre de $O_2$. Todas estas tecnologías utilizan un ordenador para controlar el proceso y las piezas se conforman al agregar el material de formación capa por capa hasta terminar el volumen. La Estereolitografía permite reutilizar la resina sobrante sin fotopolimerizar para la impresión de próximas piezas, al igual que la fusión selectiva por láser que permite reutilizar el polvo de metal sobrante sin fundir [3], [4], [5] y [6].

Las propiedades de los materiales para fabricar las piezas mediante fabricación aditiva pueden variar en función de la geometría de la pieza, el tipo de tecnología a utilizar, la orientación y ajustes de los

parámetros de impresión, los tiempos de postcurado, la temperatura y los métodos de desinfección o esterilización utilizados.

Por otro lado, están los biomateriales con los que se fabrican estos dispositivos implantables cuyo fin será entrar en contacto con el sistema biológico por lo que debe poseer unas propiedades características tanto mecánicas como biológicas. Debido a las características del sistema inmunológico cuando se introduce un cuerpo extraño en el organismo éste tiende a rechazarlo o incluso a atacarlo, generando dolores, inflamaciones, que pueden provocar la retirada de dicho material. Por lo tanto, se debe garantizar el uso de materiales biocompatibles antes de proceder a la intervención, y aun así, esperar un cierto tiempo después de la operación a que el cuerpo extraño no produzca efecto dañino en el organismo. Existe un índice de compatibilidad, el cual nos indica lo adecuado o no de ese material, para ser utilizado como biomaterial en un ser vivo, teniendo en cuenta su aplicación. Otras características a tener en cuenta en los algunos biomateriales para implantes es que pueden ser biodegradables y reabsorbibles, ese último se refiere a que el organismo es capaz de metabolizarlo y la biodegradabilidad a la resistencia de una sustancia a ser descompuesta en los elementos químicos que la componen después de un período de tiempo. En estos biomateriales progresivamente la masa del dispositivo irá disminuyendo por acción propia de las células del organismo, metabolismo, y por mecanismos físico-químicos, como la hidrólisis, de forma controlada hasta desaparecer completamente en el tiempo adecuado. En el caso de los implantes, estas características son muy importantes ya que evitan una segunda cirugía para eliminar el implante.

Se debe garantizar también en el biomaterial que sea químicamente estable y con un comportamiento adecuado. Además, debido a la progresiva pérdida de masa, las propiedades mecánicas se verán afectadas. Por lo tanto, otro aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar un biomaterial serán sus propiedades mecánicas, que dependerán de su aplicación. Otra propiedad muy importante de un biomaterial a tener en cuenta es que no sea tóxico ni cancerígeno, ya que estará en contacto con seres vivos. Los polímeros, por ejemplo, podrán ser tóxicos por si mismos o bien por sus productos de degradación por lo cual es importante asegurar la calidad de los materiales utilizados para fabricar los implantes biodegradables y reabsorbibles y las condiciones sépticas y seguras de los procesos de fabricación tanto de la materia prima con que se fabrica como el propio proceso de fabricación del implante, dado que las impurezas que puedan estar contenidas dentro del cuerpo del implante serán absorbidas por el organismo vivo donde han sido implantados.

Las empresas que utilizan metales en sus implantes hoy en día suelen elegir materiales que cumplen con las especificaciones *American Society for Testing and Materials*, (en lo adelante ASTM) que es una Asociación estadounidense de pruebas y materiales o ISO para materiales de grado de implante. Estas especificaciones han evolucionado con el tiempo y ayudan a garantizar que los materiales utilizados tengan la composición química, resistencia y estructura adecuadas.

Muchas personas han demostrado sensibilidad al níquel y a los materiales que lo contienen. Mientras que el titanio se considera "libre de níquel", y la aleación de titanio se utiliza comúnmente como una alternativa a las aleaciones de acero inoxidable para los pacientes que pueden tener sensibilidad al níquel, es posible que pequeñas cantidades de impurezas, incluyendo el níquel, puedan estar contenidas dentro de estos materiales. Las impurezas de níquel en los implantes de titanio, incluso en cantidades muy pequeñas, pueden provocar una reacción del paciente. El examen preoperatorio de sensibilidad a los metales puede ayudar a identificar a los pacientes predispuestos a una sensibilidad sintomática a los metales. La empresa que comercializa los implantes de metal Acumed, recomienda que un paciente con sensibilidad potencial a los metales sea evaluado por un dermatólogo o alergólogo y se someta a las pruebas apropiadas antes de la selección del material o de la cirugía de implantes. Los dermatólogos y alergólogos deben tener acceso a la información y los productos para realizar las pruebas de sensibilidad al metal que pueden ser una prueba de parche para el diagnóstico de la dermatitis alérgica de contacto, una prueba médica que puede detectar la hipersensibilidad a los metales y revisar la información sobre las pruebas de alérgenos metálicos que proporciona www.contactderm.org

Incluso los materiales de los implantes que cumplen con las especificaciones estandarizadas pueden contener trazas de elementos no deseados y posiblemente dañinos. Por ejemplo, además de los elementos que se muestran anteriormente, es posible que haya impurezas presentes como el níquel en un material que cumple con las normas. Cuando están presentes, estas impurezas se encuentran en cantidades extremadamente pequeñas, normalmente medidas en partes por millón. Tanto los cirujanos como los pacientes deben ser conscientes de que existe un riesgo asociado a cualquier material implantable debido a posibles impurezas [7].

**Materiales biocompatibles disponibles que se pueden utilizar para fabrica modelos de estos dispositivos mediante las tecnologías de fabricación aditiva instaladas en Cneuro**

**Ácido poliláctico (PLA)** se muestra como filamento de Ø2.85mm, es reabsorbible y biodegradable y se utiliza para fabricar mediante la tecnología de Modelado por deposición fundida.
**Polieterétercetona (Peek)** es un termoplástico semicristalino y se muestra como filamento de Ø2.5mm, tiene como ventaja que es radiolúcido y se utiliza para fabricar mediante la tecnología de Modelado por deposición fundida. Utiliza una impresora 3D que es específica para trabajar con este material y se caracteriza por permitir mayores temperaturas de calentamiento en el cabezal de impresión y mayor control en el ambiente de la cámara de trabajo.
**BioMed Clear** es una Resina fotopolimerizable para impresoras 3D de Formlabs que utilizan el proceso de Estereolitografía (en adelante SLA). Las piezas impresas resultan en un material rígido diseñado para su uso en aplicaciones biocompatibles que requieren contacto continuo con la piel o con membranas mucosas. Además, este material certificado de clase VI USP es adecuado para su uso en aplicaciones que requieren resistencia al desgaste y un bajo nivel de absorción de agua a lo largo del tiempo lo cual asegura la estabilidad dimensional de las piezas fabricadas. Las piezas impresas con BioMed Clear son compatibles con los métodos habituales de esterilización. La resina BioMed Clear se fabrica con certificación ISO 13485 y está incluida en un archivo principal de dispositivos (Device Master File) de la Administración de Medicamentos y Alimentos Americana (FDA).
**FUSIA RF080** es una resina calcinable tipo cera, que se utiliza para crear las cavidades en los anillos de los moldes para la fundición por vertido en colada centrifuga. Los modelos fabricados con FUSIA RF080 son perfectamente estables y tienen formas y dimensiones precisas. Dentro de sus características técnicas se destacan, Excelente colabilidad, Alta precisión, Alta resolución para piezas detalladas, Superficies lisas que no requieren ningún otro acabado manual.
**Co212-F ASTM F75** contiene 65.20% Co, 28.30% Cr, 5.48% Mo, 0.754% Si, 0.164% Fe, 0.036% V. Su valor de dureza es de 35 HRC y los valores de resistencia a la fluencia y a la tracción son de 835 MPa y 1050 MPa, respectivamente. Esos valores son suministrados por el fabricante SLM.
**Remanium 2000+** Composición Co 63%, Cr 23%, Mo 7%, W 5% y Si 1.5%. El límite de elasticidad es 700 MPa, Resistencia a la tracción 900 MPa, Dureza 340 HV10, Elongación a la rotura 4.5% y Módulo de elasticidad 200 GPa.
**Ti6AL4VELI** es una aleación de titanio alfa-beta con una alta resistencia específica y una excelente resistencia a la corrosión mejorada en comparación con los aceros inoxidables y aleaciones a base de cobalto más convencionales, es ligero, biocompatible y ampliamente utilizado para fabricar dispositivos implantables.
Una manera de fabricar estos tornillos con Ti6AL4V ELI podría ser mediante fusión selectiva láser (en lo adelante SLM). Esta tecnología forma superficies más porosas, esenciales para integrar el implante al hueso adyacente. Los compuestos de la superficie y la rugosidad juegan un papel importante en el desarrollo de una buena osteointegración y favorecen el crecimiento de tejido a su alrededor. Las piezas fabricadas tienen alto grado de pureza respecto a la presencia de $O_2$ debido a que el tratamiento de recuperación de los polvos metálicos utilizados en el proceso y la construcción de las piezas se efectúa en cámaras sometidas a alto vacío con concentraciones de $O_2$ menores a 0.02% [5] y [6].
Sin embargo, ese acabado superficial poroso es áspero a la vez, y en las crestas de los hilos roscados de los tornillos interferenciales, esas terminarían por lacerar los injertos y ligamentos que quedan atrapados comprimidos contra las paredes del túnel óseo debido a los movimientos relativos por los esfuerzos dinámicos a los que se someten durante el trabajo por lo que esos ligamentos podrían terminar dañados y fracturados para dejar de cumplir su funcionar. Para el caso de los de anclaje algo similar sucede con el hilo de sutura que ata los tejidos, respecto al ojete donde queda fijo en el tornillo. Sería necesario trabajar sobre el acabado de estas superficies, utilizando entre otros el suavizado mecánico de las superficies con máquinas de pulido mecánico OTEC combinando el pulido húmedo con piedras para desbaste y seco con cáscara de nuez para el acabado, para el caso del Titanio y sus aleaciones el acabado mediante un pulido electrolítico se dificulta por tener estos afinidad con el carbono (C), nitrógeno (N) y oxígeno (O) y se requerirían de equipos específicos con los que no se cuentan para este trabajo.
Por el contrario, sería necesario mecanizar al menos 0,15 mm superficialmente para eliminar la rugosidad superficial. Además, se recomienda añadir un sobre espesor mínimo de 0,3 mm a las geometrías de las piezas en las zonas que se pretendan mecanizar para conseguir buen acabado dimensional y superficial

La fusión selectiva laser fabrica piezas con propiedades similares a otros procesos de fabricación como la fundición del metal en moldes ya sea por vertido a gravedad o mediante presión.

**Requisitos a considerar para resolver los rediseños de los tornillos de interferencia y de anclaje tomando como base de construcción la Fabricación aditiva.**

Las geometrías que tienen estos dispositivos roscados que son pequeños, alargados, tienen poco diámetro, están canulados a todo lo largo y roscados completamente en su superficie cilíndrica externa, sugieren que se instalen en la plataforma de construcción de la impresora 3D con su eje longitudinal perpendicular al plano de trabajo de la plataforma para evitar colocar soportes de construcción sobre las caras de trabajo de los dispositivos, dígase sobre la cara cilíndrica roscada, en la cavidad o mortaja donde acopla el destornillador correspondiente y en el agujero pasante, lo cual es conveniente para evitar pasos en los procesos de terminación y acabado sobre dichas caras que en caso contrario sería necesario remover mecánicamente soportes de fabricación en esas zonas. De esta manera se mejora el acabado superficial en las mismas y se evitan operaciones adicionales de mecanizado.
Utilizar conexión interna para el destornillador tipo Torx ofrece mayor superficie de contacto entre herramienta y cabeza para una mejor distribución de la fuerza y se puede ejercer un mayor par de apriete que con una llave Allen, por lo que se necesita menos material en la cabeza del tornillo y sobresalen menos o tenemos cabezas más estrechas o planas, además permite que la hendidura sea más profunda para mayor seguridad y es más rápido introducir una llave Torx que otras conocidas para mayor velocidad, eficiencia y mayor precisión durante el proceso.
Generar tornillos con múltiples entradas de rosca, lo cual permiten atornillarlo con mayor avance y con sólo unas pocas vueltas del destornillador para agilizar el roscado y el desenrosque y por tanto acortar el tiempo de operación.
Añadir a los diseños de los tornillos bases con áreas amplias pero que sean fácilmente removibles durante los procesos mecánicos de terminación. Los dispositivos se instalan por las bases en las plataformas de fabricación de las impresoras 3D para lograr un montaje seguro durante la construcción que evita el vuelco y el desprendimiento de los tornillos con su base por el arrastre del cabezal dispensador de material mientras deposita el material de fabricación para fabricar la próxima capa de la pieza. Las bases pueden contener un único dispositivo para cuando se fabrican con resinas y filamentos, y contener múltiples tornillos sobre una base alargada, cuando se fabrican con polvo de metal y se instala en la plataforma de construcción de SLM250HL, orientando el eje longitudinal de la base alineado con el desplazamiento del dispensador de polvo, también se debe instalar esa base alargada y las bases con mucha área en la plataformas de fabricación con cierta inclinación respecto al plano horizontal de dicha plataforma para disminuir el tamaño del área de fabricación sobre un mismo plano, lo cual evita sobrecalentamientos por concentración de calor en un mismo plano de formación y consecuentemente tensiones térmicas que terminan contrayendo la base y separando la pieza de la base y de la plataforma durante la construcción. El montaje sobre bases facilita la manipulación posterior durante los procesos de terminación, tratamiento térmico y acabado.
Las roscas de diente de sierra tienen el perfil del filete asimétrico, uno de las caras es más larga con un volado respecto al eje del tornillo de 45° o superior modificado. Colocar esa cara más alargada de la rosca hacia la plataforma de fabricación de la impresora es conveniente porque garantizan una mejor formación de estas roscas mediante fabricación aditiva, sin necesidad de instalar soportes de fabricación entre los filetes de la rosca y entre la plataforma y el primer filete de fabricación, para una mejor calidad superficial y menos operaciones de acabado. Este tipo de perfil roscado es conveniente para estos dispositivos por la función que realizan según sea instalado debido a que soporta cargas axiales extremadamente altas en una sola dirección y facilita el giro en un sentido y lo dificulta en el otro.
Diseñar un agujero canulado más amplio a la entrada, en la cabeza del tornillo, para facilitar la entrada del cemento refractario para la preparación de los anillos o moldes de fundición y para permitir mayor longitud de entrada de la herramienta.
Generar bordes redondeados que protejan los injertos, suavizar el acabado de las superficies fundamentalmente las que tienen contactos directos con los injertos.
Fabricar dispositivos para ensayos mecánicos en PLA, PEEK, Biomed clear, Ti6Al4V ELI, Co212-F, entre otros.

## 2. MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló teniendo en cuenta lo que caracteriza el ideal de fijación de injertos de ligamento cruzado anterior, las características específicas de los tornillos de interferencia y anclaje comerciales que los hacen ventajosos en el mercado para establecer un plan de requisitos para proyectar nuestras propuestas de diseños, las características generales que destacan a los tornillos de interferencia y de anclaje comerciales que se recogen en la (Tabla1) y las características específicas de los dispositivos recibidos como muestras de estudios del solicitante (Tabla 2), el conocimiento de las posibilidades de la fabricación aditiva y específicamente de esas tecnologías instaladas en Cneuro, profundizando en el Modelado por deposición fundida, la Estereolitografía y la Fusión selectiva láser. También en el conocimiento de la tecnología convencional de fundición centrifuga por inducción. Además, el conocimiento de las propiedades de los materiales biocompatibles disponibles relacionados con estas tecnologías. Nos apoyamos en la información contenida en los manuales de operaciones de los equipos asociados a esas tecnologías, en las hojas de los fabricantes con las características de los biomateriales y la experticia de los médicos especialistas y los operarios de esos equipos.
Para el trabajo se utilizaron como referencia muestras comerciales de estudio, 3 tornillos de interferencia y uno de anclaje entregados por el Complejo Científico Ortopédico Internacional Frank País, cuyas características se recogen en la (Tabla 2).

Tabla 2: Características de los tornillos recibidos del Complejo Científico Ortopédico Internacional Frank País. Material de fabricación Ti6AL4V ELI según el fabricante.

| **Características de los dispositivos roscados** | **Tornillos** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Interferencia** | | | **Anclaje** |
| Forma | Recto | Recto | Cónico | Recto |
| Imagen |  |  |  |  |
| Dimensiones (mm) | Ø6 x 25 | Ø9 x 30 | Ø9 x 20,5 | Ø4 x 12,25 |
| Conexión por Hexágono (mm) | 2,5 Interno | 3,5 Interno | 3,5 Interno | 2 Externo |
| Cantidad de entradas de hilos de la rosca | 1 | | | |
| Paso de la rosca constante de (mm) | 2 | 2,5 | 2,5 | 1,75 |
| Forma del perfil del filete roscado | Simétrico y aguzado | | | |
| Redondez de la cresta del filete | Perfil romo | Perfil romo | Perfil agudo | Perfil agudo |

Los diseños virtuales de los dispositivos fueron preparados utilizando la plataforma Solidworks que permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos los ficheros con extensión Stl a exportar a las impresoras 3D.
Para fabricar los prototipos diseñados se utilizaron, hilo Ø2.85 mm de ácido poliláctico y de ABS, resinas Biomed clear y calcinable RF080, pepitas de remanium 2000+ y los equipos DWS O29D, Ultimaker S5 PRO, Fundidora centrífuga Smartcast, rugosímetro Surftest SJ-210 y pulidora OTEC. Se modelaron dos variantes de cada muestra Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4. Las piezas fabricadas en resinas fueron lavadas en una Form Wash durante 20 minutos en alcohol isopropílico al 99% y poscuradas a 60 °C durante 60 minutos en una Form Cure.

## 3. RESULTADOS PRINCIPALES

Se prepararon los diseños virtuales de los dispositivos solicitados para cada proceso tecnológico propuesto ya que requieren de condiciones distintas de instalación para fabricar y se caracterizaron y seleccionaron los materiales disponibles para su fabricación en correspondencia con la tecnología de

fabricación utilizada. Además, se establecieron cuatro posibles procesos para producirlos descritos en Tabla 3, empleando las tecnologías de fabricación aditiva instaladas en Cneuro y se fabricaron modelos de todos los dispositivos utilizando estos procesos, con los materiales correspondientes, no así para el caso que utiliza la fusión selectiva láser por roturas del equipo. El ABS se utilizó para generar los primeros modelos dada la disponibilidad, solo para verificar y controlar los montajes de impresión 3D, el acabado de la fabricación, la formación del perfil de las roscas y las dimensiones de los dispositivos obtenidos, fabricados por Modelado por deposición fundida. Una tecnología similar se utiliza para cuando se fabrica con PEEK pero que es una impresora 3D con características específicas y que para estos ensayos esa impresora aún no estaba instalada y este es un material más caro y con menos disponible en el mercado. El proceso que combina la fabricación aditiva con la fundición centrifuga ha sido empleado fundamentalmente para construir tornillos de anclaje debido a su pequeño tamaño.

Tabla 3: Propuestas de cuatro procesos para producir tornillos de interferencia y de anclaje empleando las tecnologías de fabricación aditiva (FA) instaladas en Cneuro

| **Tecnología de fabricación y Equipos** | | **Modelado por deposición fundida en Ultimaker S5 PRO** | **Estereolitografía por sinterizado láser en DWS Digital WAX O29D o en Formlab** | **Fusión selectiva láser en SLM250HL** | **Estereolitografía por sinterizado láser en DWS Digital WAX O29D + Fundición centrífuga en Smartcast** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Materiales propuestos para fabricar los modelos (mm)** | **Forma** | Filamentos de Ø2,85 y boquilla de extrusión de Ø0.25 | Resina. Capas de formación con 0.03 | Polvos metálicos de Ø0,02– 0,06. Capas de formación con 0.03 | Resina. Capas de formación con 0.01+ Pepitas |
| | **Tipo** | Ácido poliláctico (PLA), ABS y polieteretercetona (PEEK) | RF080 y BioMed Clear | Ti6Al4V ELI o Co212-F | RF080 y Remanium 2000+ |

La geometría de las roscas de los modelos fabricados, las dimensiones y la calidad de las superficies se ajustan a la solicitud del cliente.
Se diseñan ensayos para evaluar su calidad superficial y de tracción para determinar la fuerza inicial de agarre de los ligamentos dentro del túnel óseo y la rigidez de los dispositivos fabricados con cada uno de los materiales propuestos. Es importante prever realizar ensayos paralelos con dispositivos comerciales y los fabricados con estas tecnologías de fabricación aditiva, bajo iguales condiciones de instalación para comparar los resultados de los ensayos. La dirección de aplicación de la carga se debe cuidar en este tipo de ensayos y debe ser en la dirección de túnel óseo, dado que esa sería la situación de carga más desfavorable para la fijación.
La calidad de los materiales metálicos se aprobó mediante estudios de microscopia electrónica de barrido y fluorescencia de rayos X en el Centro de estudios avanzados, CEA.



Figura 1: Modelo de Anclas con una entrada de rosca con perfil diente de sierra, montados tres sobre una base alargada, montaje útil para fabricar por SLM250HL. Modelo con perfil de diente similar al de

muestra montado sobre una base unitaria. Piezas fabricadas por modelado por deposición fundida en Ultimaker S5 PRO con filamento de PLA.



Figura 2: Tornillo de interferencia cónico. Modelos fabricados en PLA con hexágono interno hexagonal y Torx. Una entrada de rosca, con perfil de rosca según el modelo y en diente de sierra.



Figura 3: Tornillo de interferencia recto Ø9 x 30 mm. Modelo impresos en ABS y PLA por modelado por deposición fundida con sistemas internos de conexión tipo Torx alargado y Allen, con una y dos entradas de roscas, montados sobre base unitaria con perfiles de rosca como el de muestra y en diente de sierra.



Figura 4: Tornillos de interferencia rectos Ø6 x 25. Modelos fabricados en ABS (gris) y PLA por modelado por deposición fundida con sistemas internos de conexión tipo Torx alargado y Allen, con una y dos entradas de roscas, montados sobre base unitaria con perfiles de rosca como el de muestra y en diente de sierra.



Figura 5: Árbol con tornillos de anclaje, fabricados en resina RF080 por Estereolitografía (SLA). Anclas en base unitaria impresas en Biomed Clear con perfil rosca diente sierra y como la muestra

## 4. CONCLUSIONES

El trabajo ha iniciado un camino para el desarrollo y la fabricación en Cuba de estos dispositivos, utilizando la colaboración y conocimientos de nuestros especialistas médicos expertos y las ventajas que pueden brindar las tecnologías de fabricación aditiva que, entre muchas, permiten modificar los diseños casi en tiempo real y adaptarlos convenientemente a cada caso. Por las condiciones de país bloqueado, es de vital importancia este trabajo para dejar de importarlos y alcanzar independencia tecnológica en ese

sentido con diseños propios que se adapten convenientemente a los requerimientos de los especialistas médicos y pacientes cubanos.

Los dispositivos fabricados se pueden fabricar en metal mediante fusión selectiva láser y pueden pasar a las fases de reajustes de los procesos tecnológicos y de ensayos mecánicos funcionales de tracción y rigidez in vitro. Se recomienda investigar más en el campo de la selección de los materiales para fabricar estos dispositivos.

## RECONOCIMIENTOS

“Los autores desean agradecer la posibilidad de formar parte del proyecto Dispositivos Biomédicos Personalizados con código PN385LH007-036 del programa 07 Biotecnología, Industria Farmacéutica y Tecnología Médica, el interés y el apoyo con recursos materiales y humanos para este trabajo por parte de la dirección de Cneuro y la colaboración y participación activa de los médicos especialistas y trabajadores del taller de fabricación aditiva de Cneuro”

## REFERENCIAS

1. Martel, O.; Carta, J. A.; Garcés, G.; Quintana, J. M.; Yánez, A. y Cárdenes, J. F. “Fijación de injertos de ligamento cruzado anterior de la rodilla mediante un nuevo mecanismo. Diseño y análisis experimental”. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 2005, Vol. 9, N.º 3,

2. Makienko, N. I. . Trabajos prácticos del ajustador. Ciudad de La Habana: Editorial Científico Técnica, 1990. 132 pp.

3. DELGADO, Jordi. “Contribución a la fundición selectiva por láser de pieza metálica mediante el estudio de propiedades mecánicas y de manufactura”. Tesis de doctorado, Universidad de Girona, Girona, 2013

4. Balbás Calvo, Alexandra; Del Mar Espinosa, María; Domínguez Somonte, Manuel. “Últimos avances en la fabricación aditiva con materiales metálicos”. Lámpsakos, 2018, núm. 19, pp. 47-54, DOI: https://doi.org/10.21501/21454086.2365

5. SLM Solutions GmbH, “Operating manual. Selective Laser Melting System”, 2011.

6. SLM Solutions GmbH, “Operating manual. Manual Powder Sieve Machine PSM 100”, 2011.

7. González, Leonardo; “Trabajo de investigación bibliográfica estructura y propiedades de fatiga del titanio y sus aleaciones usadas como biomateriales”. Universidad, ciencia y tecnología, 2013, vol. 17, N° 67, pp. 92-108

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY cujae

# ANDAMIOS ELECTROHILADOS DE GELATINA TIPO A: COMPARACIÓN ENTRE GELATINA NO ENTRECRUZADA Y ENTRECRUZADA

**Reyniel Gómez González[1], Carlos Figueroa Hernández[2], José Ma. Ameneiros Martínez[3]**

[1] Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría. Centro de Estudios Matemáticos.
[2] Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría. Departamento de Ingeniería Mecánica.
[3] Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría. Departamento de Ingeniería Química.
[1]e-mail: reyniel@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del entrecruzamiento químico de andamios electrohilados de gelatina utilizando GTA en una experiencia in vitro a partir de la comparación de la absorción de agua o hinchamiento de estas estructuras mediante el ajuste de un modelo matemático que ilustre el fenómeno físico y su mecanismo. Se obtuvieron andamios de gelatina (G) y de gelatina entrecruzada (GE) aplicando técnicas de electrohilado. Se realizó un estudio de la cinética de hinchamiento aplicando el modelo de Peppas para explicar físicamente este fenómeno. Los resultados mostraron una mayor tasa de hinchamiento en los andamios de (G) sin entrecruzar lo que se explica por el valor del parámetro n que indica que en este andamio la absorción de agua no se debe únicamente a la explicación física de la Ley de Fick, sino que intervienen otros efectos. Esta evidencia fue comprobada por la micrografías SEM realizadas a cada uno luego de transcurridos 7 días de inmersión en agua. Se evidencia que el entrecruzamiento químico con glutaraldehído fortalece la estructura de la gelatina confiriéndole mayor resistencia a la degradación hidrolítica. Estos hallazgos sugieren que la gelatina entrecruzada podría tener un gran potencial para aplicaciones biomédicas como andamios para ingeniería de tejidos, materiales de liberación controlada de fármacos y dispositivos médicos implantables.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE FILTRADO RECURSIVO EN EL FILTRADO DE SEÑALES BIOMECÁNICAS DE LA MARCHA

**Alejandro Batista Taboada[1], Alejandra Fernández González[2], Antonio Falcón Gómez[1], Dariel Carreño Juan[1], Tania Rodríguez Moliner[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría, Departamento de Ingeniería Mecánica,
[2]Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría, Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento (CEIM)
[1]e-mail: alejandrobatista167@gmail.com

## RESUMEN

Se realizó una investigación experimental para establecer una comparativa entre los métodos de filtrado recursivo comúnmente empleados en el filtrado de señales biomecánicas de la marcha. El objetivo fue determinar cuál método de filtrado cumple con las características correctas para desempeñar dicha función. Para ello se tomó una señal real de un estudio previo; los métodos de filtrado fueron diseñados mediante el software MATLAB, y dicha señal fue filtrada empleando el mismo software. Se obtuvieron gráficas y tablas del comportamiento de la señal antes y después de filtrada, así como las gráficas de respuesta de frecuencias de cada método de filtrado. Los resultados fueron interpretados de acuerdo a la función que se pretende cumplan estos filtros y a parámetros universales planteados en la bibliografía consultada, pudiendo, de esta manera definir cuál método presenta superioridad sobre los restantes.

**PALABRAS CLAVE**: filtro digital, procesamiento digital de señales (PDS), Butterworth, Chebyshev, marcha humana.

## COMPARISON AMONG METHODS OF FILTERED RECURSIVO IN THE FILTRATE OF YOU POINT OUT BIOMECÁNICAS OF THE MARCH

## ABSTRACT

An experimental investigation was carried out to establish a comparison between the recursive filtering methods commonly used in the filtering of biomechanical gait signals. The objective was to determine which filtering method fulfills the correct characteristics to perform this function. For this purpose, a real signal was taken from a previous study; the filtering methods were designed using MATLAB software, and the signal was filtered using the same software. Plots and tables of the behavior of the signal before and after filtering were obtained, as well as frequency response plots for each filtering method. The results were interpreted according to the function that these filters are intended to fulfill and to universal parameters proposed in the consulted bibliography, being able, in this way, to define which method presents superiority over the others.

**KEY WORDS:** digital filter, digital signal processing (DSP), Butterworth, Chebyshev, human gait.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los estudios biomecánicos modernos, la utilización de laboratorios de análisis de movimiento para la obtención de datos de los sujetos de estudio es una práctica extendida por la multitud de posibilidades que estos ofrecen.

Dichos laboratorios se valen de diversos periféricos, tales como acelerómetros, giroscopios, sensores electromiográficos, marcadores reflectantes y cámaras infrarrojas, entre otros instrumentos para la recopilación de información. Los mismos son colocados sobre los miembros el cuerpo de los sujetos y obtienen la información en forma de señales.

Las señales obtenidas por dichos periféricos son registradas con una anomalía muy común denominada como ruido digital.

El ruido son señales indeseadas de alta frecuencia que se infiltran en las mediciones y distorsionan los valores reales de las mismas, introduciendo cierto grado de imprecisión proporcional a la intensidad del ruido. Sus fuentes son diversas, desde la iluminación, las vibraciones externas al movimiento del sujeto, la precisión del instrumento que capta las señales, entre otras.

Llevar a cabo estudios biomecánicos utilizando señales contaminadas con ruido trae como consecuencia que los mismos sean imprecisos. Por ello existen diversas técnicas matemáticas orientadas a disminuir la influencia del ruido sobre las señales.

De dichas técnicas, la más actual y considerada la más polivalente por la precisión que ofrece y la posibilidad de su implementación mediante softwares computacionales, es el filtrado digital (Robertson et al. 2014).

De la multitud de filtros digitales existentes son los del tipo recursivo los más empleados para el filtrado de las señales biomecánicas(Robertson et al. 2014) y dentro de este gran grupo los preferidos son los métodos de filtrado Butterworth, Chebyshev Tipo 1, Chebyshev Tipo 2 y Elíptico (Antoniou 2006).

En aquellos sectores de la comunidad científica relacionados al procesamiento digital de señales con diversos fines investigativos, ha existido un evidente interés por definir cuál de estos métodos de filtrado ofrece el mejor rendimiento.

(Rastogi 2013) realizó una comparación entre los métodos Butterworth, Chebychev Tipo 1 y Chebychev Tipo 2 en el proceso de eliminación de ruido en electrocardiogramas. Fue empleado el software MATLAB para la creación de la señal ruidosa que contaminaría la señal de estudio, así como para la simulación de la reducción de ruido a diferentes escalas. Como resultado de la investigación, para esta aplicación específica, no se encontró diferencia significativa entre los métodos de filtrado.

(Podder 2014) propuso emplear los métodos Butterworth, Chebyshev Tipo 1 y Elíptico para el filtrado de señales de voz y así determinar cual es el método más eficaz. Cada uno de ellos fue diseñado con las configuraciones de paso-bajo, paso-alto, pasa-banda y rechaza-banda, utilizando el software MATLAB. El resultado de la investigación arrojó que el filtro con mejor rendimiento es el Butterworth. Sin embargo, el filtro Chebychev Tipo 2 no fue contemplado en la comparativa. Así mismo no se define el origen de la señal ruidosa de estudio, por lo que se asume que esta es generada en el propio software MATLAB.

(Laghari et al. 2014) realizó una comparativa entre los métodos Butterworth, Chebyshev Tipo 1, Chebyshev Tipo 2 y Elíptico basado en el análisis de sus respuestas de frecuencias. Obtuvo como resultado que el filtro Butterworth contaba con superioridad sobre los restantes métodos. Cabe destacar que es una investigación enteramente teórica, donde no se emplea ninguna señal de estudio para ser filtrada y que el resultado de la misma no está enfocado a ninguna aplicación en específico.

(Singh, Singh, Behera 2021) se propusieron comparar los métodos Butterworth, Chebyshev Tipo 1, Chebyshev Tipo 2 y Elíptico en el proceso de eliminación del ruido cuando es medido el sonido de los pulmones. Para este estudio fue empleada una señal real, donde el ruido contaminante provenía de dos fuentes, siendo una los latidos del corazón del sujeto, y otra, el ruido exterior al cuerpo. Por lo que la conclusión de dicha investigación fue que para una mejor reducción del ruido era necesario emplear un filtro compuesto por distintos métodos de filtrado en lugar de uno. Así mismo mencionó que el filtro Butterworth mostraba un comportamiento adecuado para la aplicación en cuestión.

El propósito de la presente investigación es definir cuál de estos cuatro métodos es el más adecuado para el filtrado de señales de la marcha en estudios biomecánicos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos de filtrado recursivo Butterworth, Chebyshev Tipo 1, Chebyshev Tipo 2 y Elíptico, se compararon mediante un análisis que contempla el efecto de cada método sobre las señales, así como las características de sus respectivas respuestas de frecuencias.
Las señales que se obtienen producto de la marcha, son de bajo grado de complejidad. Carecen de oscilaciones rápidas y presentan baja frecuencia, nuca superior a 10 Hz (Robertson et al. 2014). Por ello, cada método de filtrado contemplado en esta comparativa será diseñado como un filtro paso-bajo (Robertson et al. 2014).

De forma general, un filtro digital para ser adecuado para el trabajo con este tipo de señales debe cumplir con dos características principales: no puede, bajo ningún concepto, distorsionar los datos de las señales de estudio (de ser así se estarían falseando los datos de la marcha de los sujetos), y debe cumplir con tres características esenciales en sus respuestas de frecuencias propuestas por (Steven W. Smith 1999, p. 267)

**Señal de estudio:**

Para ello fue tomada una señal de un experimento que se propuso determinar las deformaciones de una órtesis AFO mostrada en la *Figura 1*. El mismo fue realizado en un laboratorio de análisis de movimiento empleando en conjunto un grupo de marcadores reflectantes y cámaras infrarrojas. Los marcadores fueron colocados sobre la ortesis que fue utilizada por un sujeto de pruebas durante su locomoción. Las señales obtenidas consistían en los desplazamientos en el espacio de cada uno de estos marcadores captados por las cámaras. Como señal de estudio se tomó el desplazamiento de uno de estos marcadores (*Tabla 1*) de forma aleatoria, siendo la posición del mismo sobre la ortesis irrelevante para el propósito de esta investigación. Para la realización de este experimento fue utilizada indumentaria de *Vicon Motion Systems Ltd UK.*



*Figura 1. La imagen muestra la vista posterior de la ortesis AFO (Ortesis de tobillo-pie) empleada en la captura de movimiento.*

*Tabla 1. La tabla muestra un fragmento de los datos recopilados, por el software* NEXUS *de la empresa* Vicon, del desplazamiento *del marcador. Separado por columnas que muestran los fotogramas y las posiciones en X, Y y Z.*

| | Marcador: B14 | | |
|---|---|---|---|
| tograma | X | Y | Z |
| | mm | mm | mm |
| | -204.735 | 2522.218 | 434.3695 |
| | -203.854 | 2500.355 | 438.2426 |
| | -203.062 | 2477.525 | 442.6284 |
| | -202.07 | 2453.802 | 447.399 |
| | -200.814 | 2428.989 | 452.2857 |
| | -199.51 | 2403.268 | 456.7979 |
| | -198.199 | 2377.502 | 460.5108 |
| | -196.747 | 2352.477 | 464.6259 |
| | -194.819 | 2327.841 | 468.9436 |
| | -193.213 | 2303.238 | 472.9161 |

**Diseño de los filtros:**

Cada método de filtrado anteriormente mencionado fue diseñado utilizando el software MATLAB, ya que el mismo cuenta con las funciones de transferencia que definen a estos filtros, factor que garantiza mayor precisión de filtrado y simplifica el proceso de diseño del filtro. De esta manera, se diseñó un algoritmo independiente para cada uno de los métodos que no solo filtra la señal deseada, si no que, además, entrega

la gráfica de respuesta de frecuencias del filtro, permitiendo una mayor comprensión de su funcionamiento.

Teniendo diseñados los filtros y la señal de estudio, se procedió a filtrar la misma con cada uno de los métodos, empleando de igual forma el software MATLAB.

Obtenidos los datos de las señales filtradas de forma gráfica se realizó un análisis visual comparativo de las mismas.

De igual forma, las características de las gráficas de respuesta de frecuencias obtenidas fueron comparadas con las características optimas definidas por (Steven W. Smith 1999, p. 267).

## 3. RESULTADOS

El análisis de las gráficas que a continuación se muestran permitió identificar dos tendencias en las señales filtradas. Como se aprecia en las *Figuras 2 y 3*, tanto el filtro el Chebyshev Tipo 1 como Elíptico, afectan significativamente de forma negativa a la señal de estudio, comportamiento que se aprecia en la gran desviación existente entre los valores de la señal original y la señal filtrada.

La distorsión que producen los filtros Elíptico y Chebyshev Tipo 1 es inaceptable para el propósito que se persigue con estos filtros, condición suficiente para excluirlos de la comparativa por lo cual son declarados inviables.

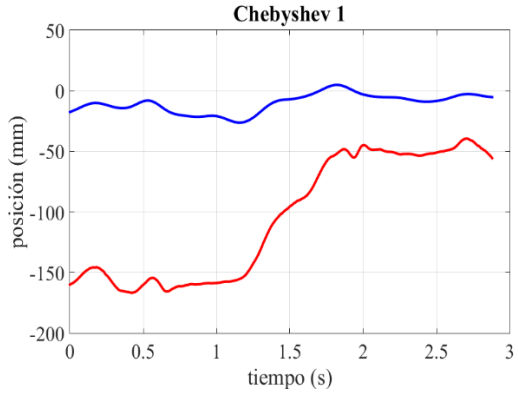



*Figura 2.La figura muestra la representación gráfica de la señal de estudio antes y después de ser filtrada por el filtro Chebyshev Tipo 1, donde la curva roja son los datos de la señal sin filtrar y la curva azul los datos de la señal filtrada.*

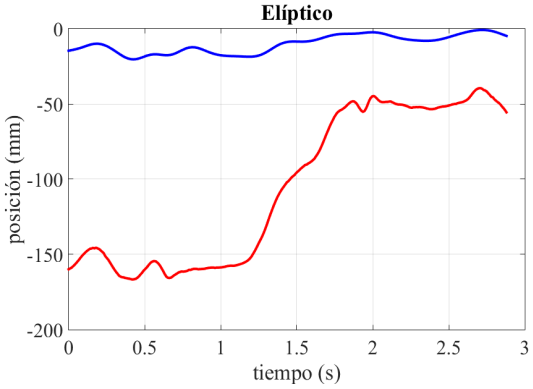



*Figura 3. La figura muestra la representación gráfica de la señal de estudio antes y después de ser filtrada por el filtro Elíptico, donde la curva roja son los datos de la señal sin filtrar y la curva azul los datos de la señal filtrada.*

El comportamiento que se exhibe en las gráficas de las *Figuras 4 y 5*, pertenecientes a los filtros Butterworth y Chebyshev Tipo 2, respectivamente, es tan similar que resulta imposible determinar cuál método posee superioridad. Por ello fueron analizadas sus gráficas de respuesta de frecuencias con el fin de profundizar en las características de cada método.

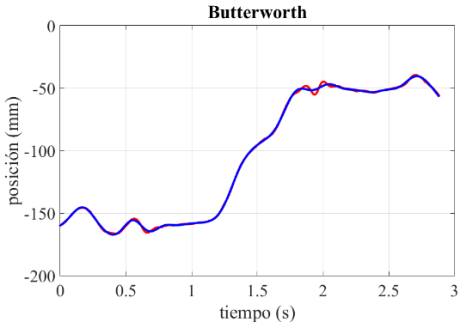



*Figura 4. La figura muestra la representación gráfica de la señal de estudio antes y después de ser filtrada por el filtro Butterworth, donde la curva roja son los datos de la señal sin filtrar y la curva azul los datos de la señal filtrada.*

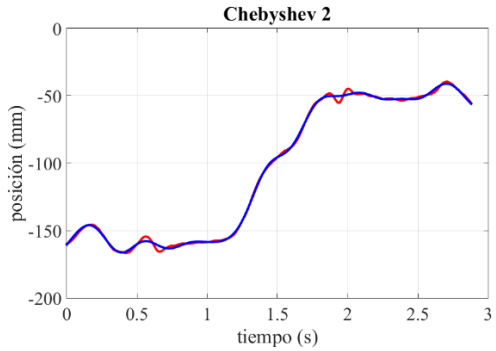



*Figura 5. La figura muestra la representación gráfica de la señal de estudio antes y después de ser filtrada por el filtro Chebyshev Tipo 2, donde la curva roja son los datos de la señal sin filtrar y la curva azul los datos de la señal filtrada.*

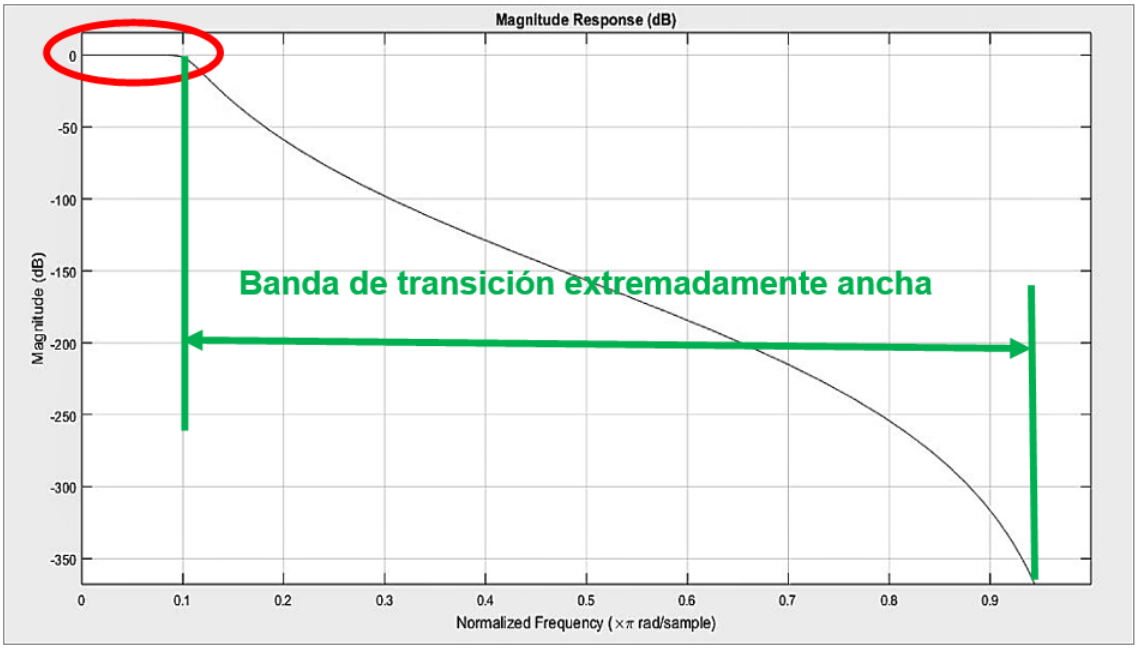



*Figura 6. La gráfica muestra la respuesta de frecuencia del filtro Butterworth. En el eje X, los valores normalizados de las frecuencias que componen la señal. En el eje Y, la atenuación que reciben las frecuencias, en decibel.*

En el caso del filtro Butterworth, mostrado en la *Figura 6*; señalado en rojo en la gráfica se encuentra una banda pasante máximamente plana, característica beneficiosa porque indica que el filtro no distorsionará las frecuencias importantes.

La atenuación que ofrece este filtro es de gran magnitud, alcanzando valores inferiores a -350 dB. Sin embargo, el ancho de la banda de transición es demasiado grande, limitando en gran medida todo el poder de la atenuación.

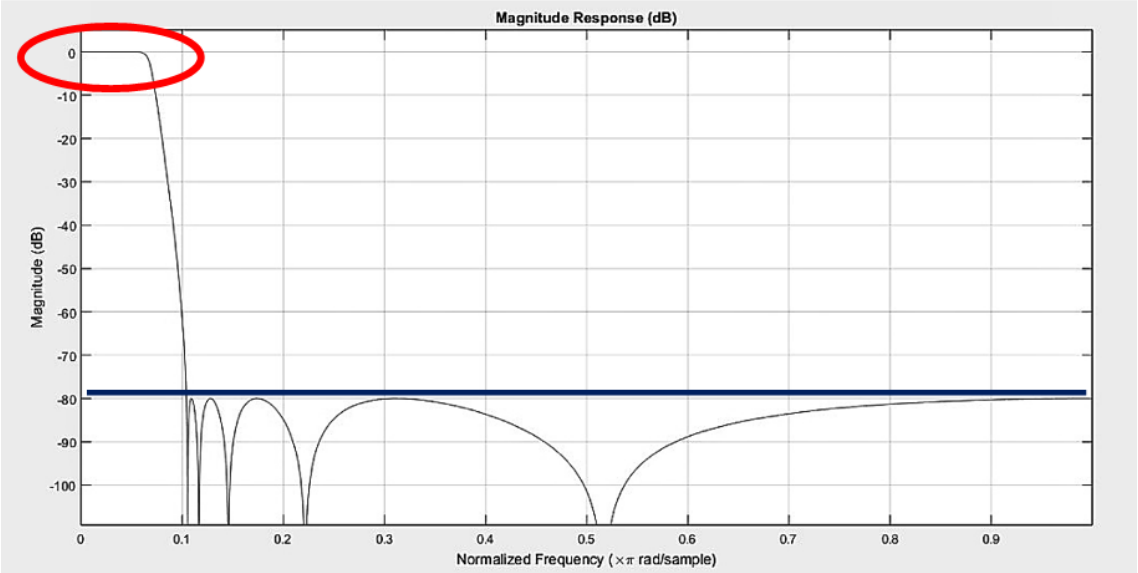



*Figura 7. La gráfica muestra la respuesta de frecuencia del filtro Chebyshev Tipo 2. En el eje X, los valores normalizados de las frecuencias que componen la señal. En el eje Y, la atenuación que reciben las frecuencias, en decibel.*

En la respuesta de frecuencias del filtro Chebyshev Tipo 2, mostrada en la *Figura 7;* señalada en rojo se encuentra una banda pasante máximamente plana. Ideal para preservar las señales sin afectaciones.

Su banda de transición es estrecha, filtrado rápidamente el ruido y suprimiéndolo de la señal útil.

El rango de atenuación que ofrece (desde los -80 dB hasta más de -100 dB), señalado por la línea azul, asegura una supresión eficiente de las frecuencias rechazadas.

## 4. CONCLUSIONES

Tras ser realizado el análisis de las gráficas de respuesta de frecuencia de cada filtro, y habiéndolas comparado con los modelos de referencia propuestos por (Steven W. Smith 1999, p. 267) se determinó que: tanto el filtro Chebyshev Tipo 1, como el Elíptico, no son adecuados para el filtrado de las señales biomecánicas de la marcha producto a la distorsión que estos introducen en los valores reales de la señal; el filtro Butterworth es un buen filtro, pero cuenta con una banda de transición menos agresiva que el filtro Chebyshev Tipo 2, siendo este último considerando finalmente como el que cumple con las características necesarias para ser considerado el método de filtrado adecuado para las señales biomecánicas de la marcha.

## REFERENCIAS

ANTONIOU, Andreas, 2006. *Digital Signal Processing: Signals, Systems, and Filters*. McGraw-Hill Professional. ISBN 0071454241.

LAGHARI, Wazir Muhammad et al., 2014. Performance Analysis of Analog Butterworth Low Pass Filter as Compared to Chebyshev Type-I Filter, Chebyshev Type-II Filter and Elliptical Filter. *Circuits and Systems*. Vol. 05, núm. 09, pp. 209–216. DOI 10.4236/cs.2014.59023.

PODDER, Prajoy, 2014. Design and Implementation of Butterworth, Chebyshev-I. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*. Vol. 98, núm. 7, pp. 12–18.

RASTOGI, Nidhi, 2013. Analysis of Butterworth and Chebyshev Filters for ECG Denoising Using Wavelets. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*. Vol. 6, núm. 6, pp. 37–44. DOI 10.9790/2834-0663744.

ROBERTSON, D Gordon E et al., 2014. *Research Methods in Biomechanics*. 2nd.
ISBN 9780736093408.

SINGH, Divya, SINGH, Bikesh Kumar y BEHERA, Ajoy Kumar, 2021. Comparitive Study of Different

IIR Filter for Denoising Lung Sound. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2021*. Núm. 1, pp. 15–17. DOI 10.1109/I2CT51068.2021.9417813.

STEVEN W. SMITH, 1999. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. 2nd. San Diego : California Technical Publishing San Diego, California. ISBN 0-9660176-6-8.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARACTERIZACIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA DE UN PACIENTE PEDIÁTRICO CON PIE CAÍDO

**Antonio Falcón Gómez[1], Alejandra Fernández Gonzalez[2], Alejandro Batista Taboada[1], Dariel Carreño Juan[1], Tania Rodríguez Moliner[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría, Departamento de Ingeniería Mecánica,
[2]Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría, Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento (CEIM)
[1]e-mail: falcontony21@gmail.com

## RESUMEN

Este artículo se enfoca en analizar la influencia del "pie caído" en el patrón de marcha de niños con parálisis cerebral espástica, una condición neuromuscular caracterizada por rigidez muscular y pérdida de control del movimiento. Este estudio se realiza en el Hospital Nacional de Rehabilitación Julio Díaz en Cuba, donde se emplea el software Vicon para la recopilación y análisis de datos. Se toma como muestra un paciente con parálisis cerebral espástica y pie caído en la extremidad izquierda, comparado con un paciente saludable en términos de contexto geográfico y social. La investigación busca proporcionar una evaluación detallada de la influencia del pie caído en el patrón de marcha mediante el análisis cuantitativo de diversos parámetros, utilizando el Análisis de Componentes Principales (ACP). Los resultados de este estudio podrían tener implicaciones significativas para la práctica clínica y la formulación de políticas, mejorando así la calidad de vida de los niños afectados por parálisis cerebral espástica. El objetivo general es proponer un método cuantitativo para caracterizar esta influencia, lo que podría llevar a intervenciones más efectivas y personalizadas para mejorar la movilidad y funcionalidad de los pacientes. La tesis destaca la importancia de comprender los movimientos de la cadera, rodilla y tobillo, y su interacción durante el ciclo de la marcha, para identificar desviaciones del patrón normal causadas por la parálisis cerebral y el pie caído.

**PALABRAS CLAVES:** Biomecánica, pie caído, parálisis cerebral, Análisis de componentes principales, niños.

## CHARACTERIZATION OF THE GAIT PATTERN OF A PEDIATRIC PATIENT WITH DROP FOOT

## ABSTRACT

This article focuses on analyzing the influence of "drop foot" on the gait pattern of children with spastic cerebral palsy, a neuromuscular condition characterized by muscle stiffness and loss of movement control. The study is conducted at the Julio Díaz National Rehabilitation Hospital in Cuba, using Vicon software for data collection and analysis. The sample includes a patient with spastic cerebral palsy and drop foot in the left limb, compared to a healthy patient in terms of geographic and social context. The research aims to provide a detailed assessment of the influence of drop foot on the gait pattern through quantitative analysis of various parameters, using Principal Component Analysis (PCA). The results of this study could have significant implications for clinical practice and policy formulation, thereby improving the quality of life for children affected by spastic cerebral palsy. The main objective is to propose a quantitative method to characterize this influence, potentially leading to more effective and personalized interventions to improve patients' mobility and functionality. The thesis emphasizes the importance of understanding the movements of the hip, knee, and ankle, and their interaction during the gait cycle, to identify deviations from the normal pattern caused by cerebral palsy and drop foot.

**KEY WORDS:** Biomechanics, drop foot, cerebral palsy, principal components analysis, children.

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del patrón de marcha en pacientes pediátricos con pie caído es de gran importancia tanto desde el punto de vista clínico como terapéutico. Estos estudios permiten no solo diagnosticar las alteraciones biomecánicas, sino también diseñar estrategias de tratamiento personalizadas que pueden incluir rehabilitación física, ortesis, o incluso intervenciones quirúrgicas. El pie caído, una condición en la que el paciente tiene dificultad para levantar la parte delantera del pie, afecta la funcionalidad del tobillo y puede derivar en patrones de marcha anormales que, sin un tratamiento adecuado, pueden empeorar con el tiempo.

A nivel mundial, existen diversos enfoques para la evaluación y diagnóstico de esta condición como los estudios como "Alteraciones en la toma de decisiones quirúrgicas en pacientes con parálisis cerebral basadas en análisis tridimensional de la marcha" (Deluca et al., 1997), "El modelo del cuerpo humano versus modelos de marcha convencionales para el análisis cinemático de la marcha en niños con parálisis cerebral" (Flux et al., 2020), en los que se emplean sistemas avanzados de captura de movimiento que permiten obtener datos precisos sobre la cinemática de la marcha incluidos Plug-in-Gait (PiG)(Davis et al., 1991) , la técnica del sistema anatómico calibrado (CAST)(Cappozzo et al., 1995) y el modelo Gait2392 implementado en OpenSim(Delp et al., 2007). El uso de la electromiografía (EMG) también es común, ya que permite evaluar la activación muscular durante el ciclo de la marcha(Fang et al., 2020). Sistemas como Vicon son ampliamente utilizados en laboratorios de biomecánica para estudiar el movimiento en tres dimensiones(Wiszomirska et al., 2017), y su combinación con softwares tales como Matlab y Statgraphics facilitan un análisis más detallado de los patrones de marcha.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Según la RAE, la influencia es la "acción o efecto de influir", en tanto, influir es "dicho de una cosa: producir sobre otros ciertos efectos" podemos decir que, en el caso de la estadística, la influencia en un grupo de datos se refiere al efecto que producen un conjunto de éstos sobre el análisis estadístico global de un fenómeno en particular. Un punto de datos puede ser considerado influyente si su eliminación o alteración lleva a un cambio significativo en los resultados o conclusiones del análisis, como en los parámetros de una regresión lineal o en los resultados de un modelo predictivo.

Si trasladamos estas definiciones al proceso de medición de la influencia de una patología en el patrón de marcha humana, podemos decir que esta implica evaluar cómo dicha condición médica afecta la forma en que una persona camina. Este proceso de recopilación y análisis de datos relacionados con el movimiento del cuerpo durante la marcha, permite identificar cambios o alteraciones en comparación con un patrón de marcha considerado como normal.

En este estudio, se hace necesario conocer el proceso de medición de la influencia hacia dos aristas fundamentales: ¿Cómo se realiza?, y ¿Qué información se puede obtener de ello? Es importante destacar, que se realizarán análisis desde el enfoque biomecánico que incluye el análisis cinemático:

Respecto a las formas en que se llevan a cabo, en la actualidad este tipo de análisis se puede realizar gracias a una serie de herramientas y técnicas entre las que se incluyen la referenciadas por Robertson en su libro "Métodos de investigación en biomecánica"(Robertson et al., 2013) y Pico Tibasosa & Rey Pulido en estudio "Diseño e implementación de una plataforma baropodométrica para medición de puntos de presión plantar en bipedestación con visualización en ordenador a partir de un sistema de adquisición"(Pico Tibasosa & Rey Pulido, 2016).

Para la evaluación de un paciente pediátrico con pie caído, se emplean múltiples herramientas diagnosticas que permiten evaluar tanto los aspectos físicos como funcionales de la marcha. En primer lugar, la evaluación física incluye la revisión detallada de la movilidad articular de la extremidad afectada, con especial atención al rango de movimiento del tobillo, la fuerza muscular, la alineación del pie, y el equilibrio general durante la marcha. Se realizan además pruebas evaluando el nivel de rigidez muscular de la pierna viendo que tanto ha afectado la espasticidad, consecuencia de la parálisis cerebral.

El proceso de captura de movimiento se realiza utilizando el sistema Vicon, que es considerado uno de los estándares de análisis biomecánico. Este sistema se basa en la colocación de marcadores reflectantes en puntos clave de la anatomía del paciente como el talón, la rodilla y la cadera. Las cámaras infrarrojas del sistema detectan el movimiento de estos marcadores, lo que permite reconstruir el movimiento tridimensional del paciente en tiempo real. Una vez capturados los datos el software Vicon se encarga de

procesarlos y generar gráficos que darán la trayectoria del movimiento, la rotación de las articulaciones y otros parámetros relevantes.
En esta investigación el procesamiento de los datos obtenidos a través del sistema Vicon se complementó con el análisis de componentes principales (ACP). El ACP es una técnica matemática que permite reducir la complejidad de los datos eliminando redundancia y enfocándose en las variaciones más significativas(Robertson et al., 2013). Esto facilita la interpretación de los resultados y permite comparar los patrones de marcha entre diferentes pacientes o incluso entre distintas etapas del tratamiento. Matlab se utilizó como plataforma para ejecutar el ACP y realizar análisis estadísticos adicionales siendo una herramienta clave para el tratamiento de los datos en este estudio.

## 3. RESULTADOS

Para este estudio se utiliza un paciente pediátrico con parálisis cerebral espástica, con una condición asociada de pie caído en la pierna izquierda, dificultades al caminar, flexión pronunciada de la cadera y una escasa extensión de las rodillas, patrón de marcha antiálgica para minimizar el dolor producido por la espasticidad, hipertonía en los músculos flexores de la rodilla, en el soleo y el gastrocnemio, con presencia de pie plano en la extremidad izquierda debido a la compensación en la marcha y una eversión pronunciada en el pie derecho. Por otra parte, para el patrón normal se utiliza un paciente pediátrico con condición física saludable, que cuenta con las mismas condiciones geográficas y sociales y un patrón de marcha similar al que se encuentra en la bibliografía referida de manera tal que el análisis sea lo más preciso posible.
En este caso de estudio se aplica un análisis desde el punto de vista cinemático, en el cual se tienen en cuenta las alteraciones en los ángulos articulares como parámetro fundamental para la determinación, de la influencia de la patología en el patrón de marcha normal. Dichos ángulos (Fig. 1), se miden desde el plano sagital teniendo en cuenta que es el plano más ilustrativo y que más información muestra para este estudio de caso.

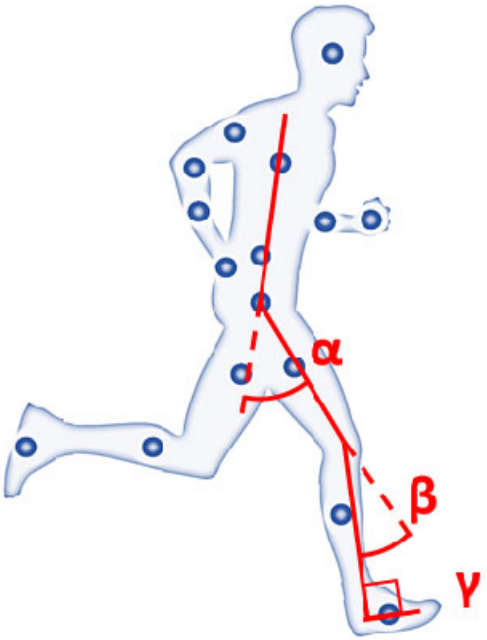



Fig. 1 Ángulos de flexión y extensión de cadera(α) y rodilla(β), y ángulo de dorsiflexión del pie(γ).

**Ángulo de Dorsiflexión del Tobillo Izquierdo (Fig. 2)**

Como resultado del análisis de los componentes principales (PC) asociados al tobillo se identifican la PC1 y la PC2(Componentes Principales 1 y 2 denotadas por sus siglas en ingles). Luego se aplicó el análisis

estadístico para determinar si se presentan diferencias notables; como resultado se obtuvo que la PC2 no representa una diferencia entre el patrón del paciente y de la persona normal (Fig. 2).

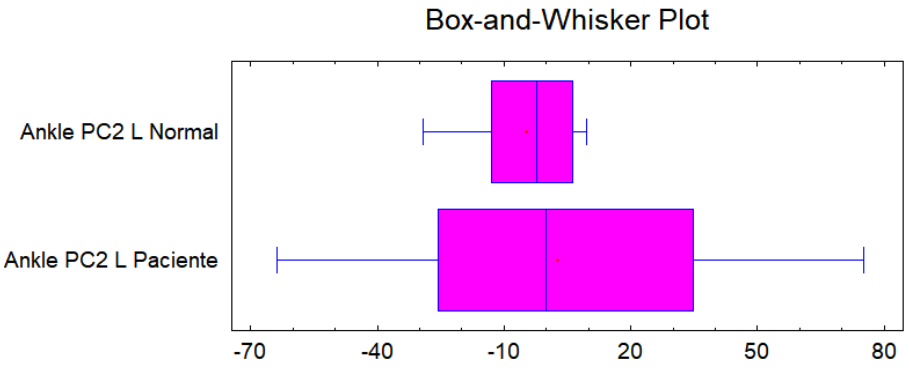



Fig. 2 Gráfico Box and Whisker Plot de las medias del PC2 del paciente con el normal, para el tobillo izquierdo.

En consecuencia, se define que la PC con la que se trabaja es la de primer orden; ello se debe a que estacumple con el requisito de que no coinciden los valores de un patrón y otro (Fig. 3). Esta condición ofrece la posibilidad de realizar el análisis con mayor precisión.

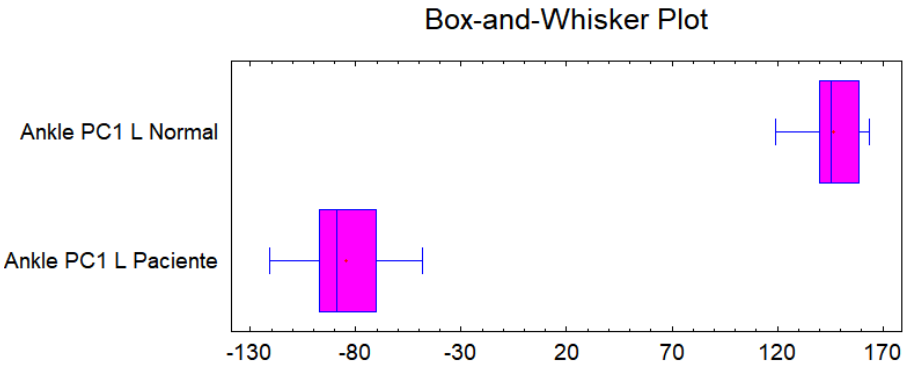



Fig. 3 Gráfico Box and Whisker Plot de las medias del PC1 del paciente con el normal, para el tobillo izquierdo.

Resultado: En un patrón de marcha normal, el ángulo de dorsiflexión del tobillo al inicio del ciclo de marcha (contacto inicial) es ligeramente inferior a 0 grados. Esto representa el punto en el que el pie hace contacto con el suelo y posteriormente aumenta el ángulo durante la fase de balanceo del otro hemisferio; una dorsiflexión adecuada permite un movimiento suave y efectivo durante la fase de balanceo lo cual es relevante para la estabilidad de la marcha. Sin embargo, en la marcha afectada por pie caído, este ángulo es significativamente menor que 0 grados, esta plantiflexión pronunciada indica un contacto prematuro de los dedos del pie con el suelo, lo que puede llevar a tropiezos y caídas, lo cual coincide con las investigaciones de (KHAN et al., 2020).
Entre el 10% y el 44% del ciclo de marcha, el ángulo del pie oscila alrededor de 0 grados, reflejando cómo el pie soporta la carga del cuerpo. La espasticidad en los músculos del sóleo y gastrocnemios actúa como un resorte, impidiendo que el pie haga un contacto completo con el suelo durante la fase de apoyo. Este comportamiento elástico de los músculos puede ser perjudicial porque no permite una absorción adecuada del impacto, resultando en una marcha ineficiente y posiblemente dolorosa.
La mayor afectación se observa en el 72% del ciclo de marcha, donde el ángulo de dorsiflexión alcanza los -30º durante la fase de balanceo, resultado similar al obtenido por (Nossa-Almanza et al., 2020) en su

estudio “Patrón cinemático de la marcha con ortesis de tobillo-pie de silicón en pacientes con pie caído”. Este resultado indica una incapacidad de los músculos tibiales anteriores para dorsiflexar el pie adecuadamente, mismo resultado obtenido por (KHAN et al., 2020). La zona rayada (color verde) en el gráfico muestra que esta incapacidad provoca un contacto prematuro de la punta de los dedos con el suelo en lugar del talón, como sucedería en una marcha normal, como plantea (Lascano Freire, 2013) en su investigación “Estudio de músculos neumáticos y determinación de parámetros funcionales para ser aplicado en una ortesis dinámica de pie caído”. Esta alteración, no solo afecta la eficiencia de la marcha, también puede llevar a una mayor fatiga muscular y al desarrollo de compensaciones en otras articulaciones.

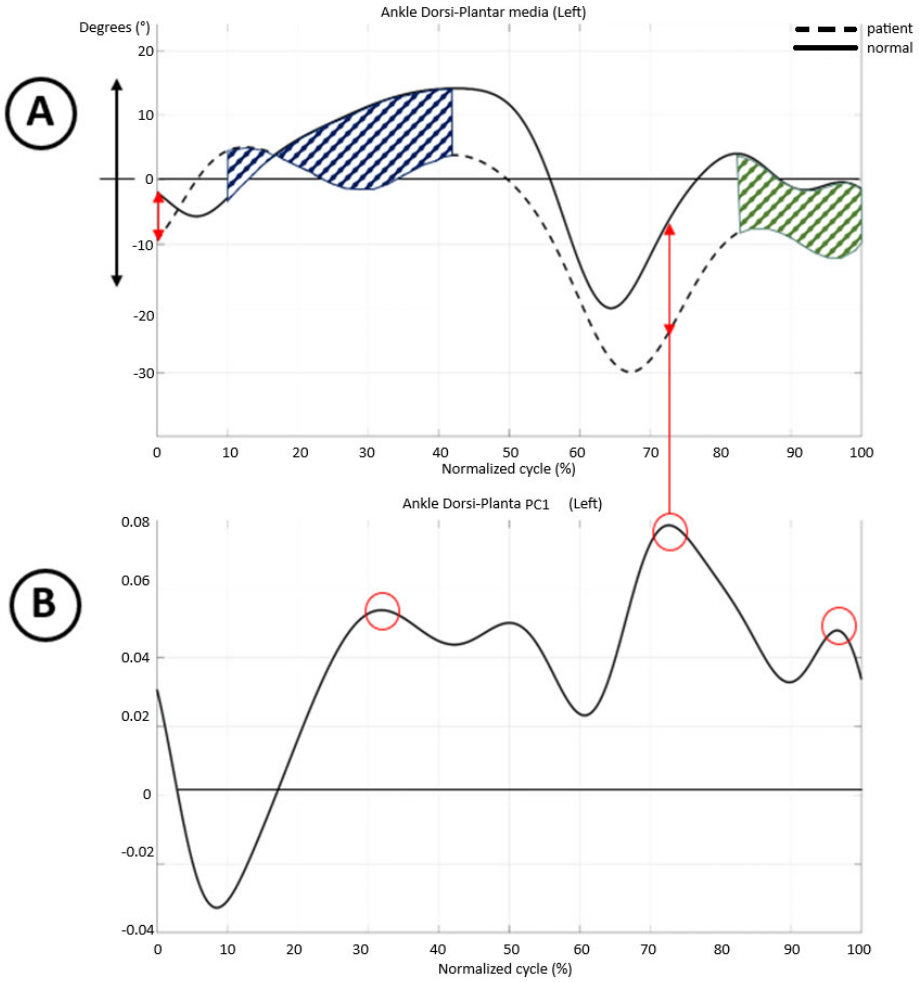



Fig. 4 La imagen muestra en el gráfico A los patrones de marcha del paciente con líneas discontinuas y los de la persona normal en línea continua; el gráfico B muestra el vector de carga del PC1

**Ángulo de Flexión-Extensión de la Rodilla Izquierda (Fig. 3)**

En el caso de la rodilla se presenta una situación particular, puesto que la PC1 supera el orden de confiabilidad por encima del 95%, alcanzando un valor del 97% lo que quiere decir que no representa una diferencia significativa entre un patrón y otro. Sin embargo, si se observan las gráficas de las medias aritméticas correspondientes a los patrones de marcha, se pueden apreciar grandes diferencias entre un patrón y otro, por lo que se asume como efectivo este valor. (Fig. 5)

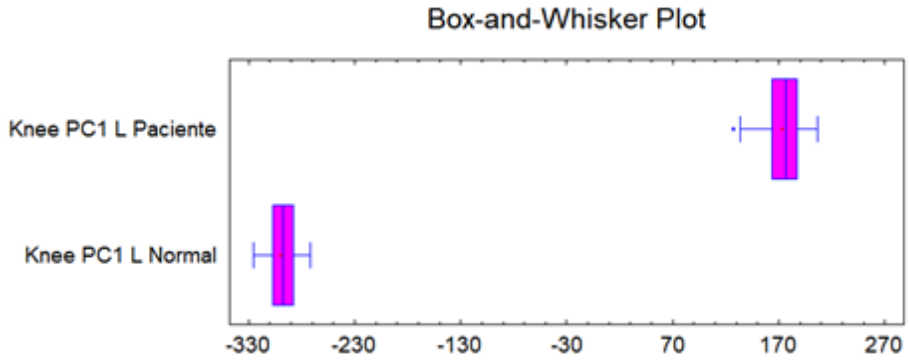



Fig. 5 Gráfico Box and Whisker Plot de las medias del PC1 del paciente con el normal, para la rodilla izquierda.

Resultado: En el inicio del ciclo de marcha, el ángulo de flexión de la rodilla es significativamente mayor en el paciente afectado, debido a la dorsiflexión incompleta del tobillo. En consecuencia, esto obliga a elevar más la pierna desde la cadera para compensar el desequilibrio y evitar el arrastre del pie, resultado que obtuvo Díaz García en su estudio "Alteraciones biomecánicas del complejo tobillo-pie y su incidencia en la carrera y la marcha" (Díaz García, 2019). Esta compensación es crítica, un ángulo de flexión elevado al inicio del ciclo de marcha puede generar un patrón de marcha ineficiente y aumentar la carga sobre otras articulaciones, lo que puede llevar a posibles lesiones, resultado que concuerda con la discusión del estudio "Efecto del pie caído sobre los parámetros espaciotemporales, cinemáticos y cinéticos durante la marcha" (Wiszomirska et al., 2017).
A lo largo del ciclo de marcha, la espasticidad impide la extensión completa de la pierna, manteniendo una postura semiflexionada. Esto sugiere una debilidad en el cuádriceps, el músculo encargado de la extensión de la pierna. La incapacidad para extender completamente la rodilla afecta la longitud del paso y la estabilidad durante la fase de apoyo, lo cual puede resultar en una marcha inestable y aumentar el riesgo de caídas.

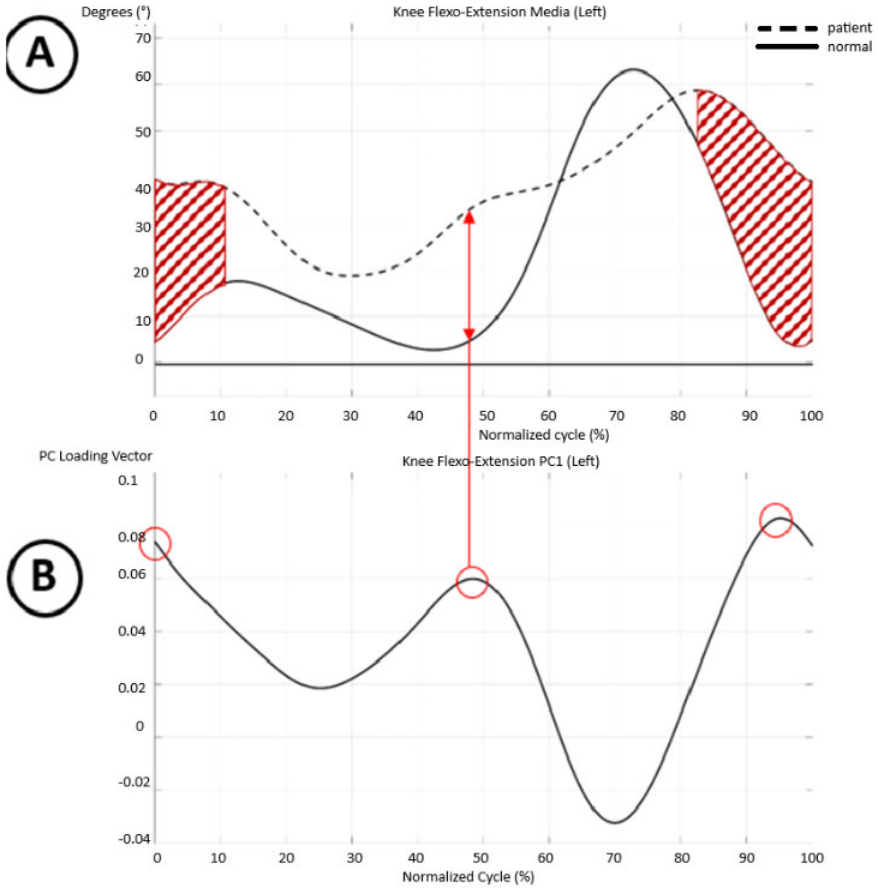



Fig. 6 La imagen muestra en el gráfico A los patrones de marcha del paciente con líneas discontinuas y los de la persona normal en línea continua; el gráfico B muestra el vector de carga del PC1.

**Ángulo de Flexión-Extensión de la Cadera Izquierda (Fig. 4)**

En el caso de la cadera izquierda, encontramos que la PC1 supera el 95%, al igual que sucede en la rodilla izquierda. Se aplica el mismo procedimiento y se obtienen los mismos resultados, donde es la PC1 la encargada de mostrar las principales diferencias entre un patrón y otro (Anexo 4). Se cumplen con los requisitos necesarios para el análisis:
Resultado: El patrón de movimiento de la cadera izquierda en este caso es similar al patrón normal, aunque con un desfase angular mayor trabajando sobre una flexión mayor. El aumento de la flexión por parte del iliopsoas es mayor debido a la espasticidad que impide la extensión completa de la pierna. Esta flexión es un mecanismo de compensación para asegurar que el pie no se arrastre durante la fase de balanceo, lo cual es fundamental para mantener una marcha segura y eficiente, comportamiento similar al obtenido por otros investigadores (Wiszomirska et al., 2017).

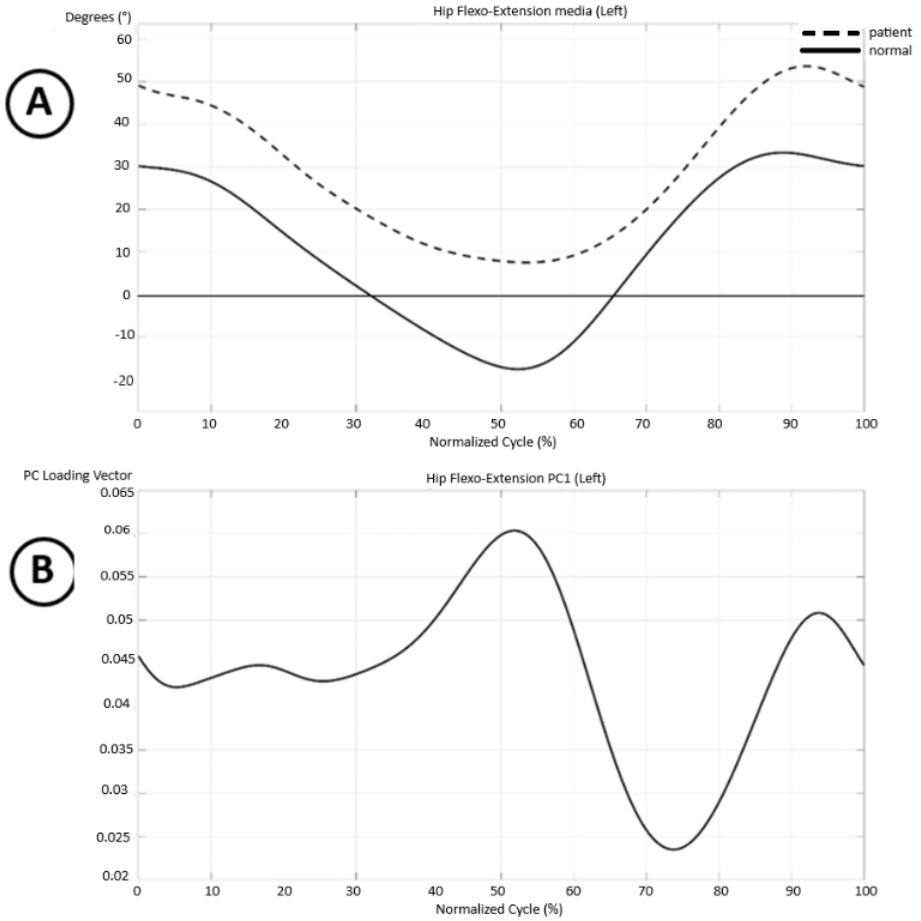



Fig. 7 La imagen muestra en el gráfico A los patrones de marcha del paciente con líneas discontinuas y los de la persona normal en línea continua; el gráfico B muestra el vector de carga del PC1.

## 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio confirman las diferencias significativas entre el patrón de marcha normal y el patológico en pacientes con pie caído. En una marcha normal se espera que el tobillo tenga una movilidad completa, permitiendo una dorsiflexión adecuada durante la fase de apoyo. Sin embargo, en este paciente, se evidenció una disminución en la movilidad del tobillo, lo que afectó negativamente la capacidad del paciente para realizar un ciclo de marcha estable y equilibrado.

El análisis comparativo de la marcha entre la pierna izquierda y la derecha del paciente también mostró diferencias notables. Aunque ambas piernas presentan limitaciones, la pierna izquierda está notablemente más afectada, lo que provoca una mayor compensación postural en el lado derecho. Esta observación tiene gran importancia, ya que determina la necesidad de un tratamiento integral que aborde ambas extremidades para evitar la sobrecarga en la pierna menos afectada.

Este análisis tanto estadístico como comparativo se replicó en la pierna derecha con resultados similares. Aunque la pierna derecha presentaba una mayor dorsiflexión, seguía existiendo una notable limitación en comparación con los parámetros normales de la marcha, lo que refuerza la necesidad de tratar ambas extremidades de manera simultánea.

## 5. CONCLUSIONES

El presente artículo contribuye a la caracterización de la influencia del pie caído en el patrón de la marcha humana en pacientes pediátricos que presentan parálisis cerebral espástica en tanto, hace uso de las

nuevas tecnologías de captura de movimiento y procesamiento matemático para ofrecer un análisis más preciso y en menor tiempo a través de la incorporación del Software Vicon.

El uso del método de los componentes principales demostró su capacidad de detectar las diferencias significativas entre un paciente con síndrome del pie caído y una persona aparentemente sana, encontrando las mayores diferencias en el componente principal de primer orden.

Las mayores diferencias entre un grupo de patrones y otro se encuentra en la escasa dorsiflexión del tobillo y en la marcada flexión en rodilla y cadera, lo que concuerda con los resultados de (Wiszomirska et al., 2017).

La ventaja de haber utilizado como patrón normal un paciente con las mismas condiciones geográficas y sociales que el paciente con la patología permitió eliminar las ausencias que pudieran originarse de haber utilizado un modelo teórico.

## REFERENCIAS

Cappozzo, A., Catani, F., Croce, U. D., & Leardini, A. (1995). Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clinical Biomechanics*, *10 4*, 171-178.

Davis, R. B., Õunpuu, S., Tyburski, D., & Gage, J. R. (1991). A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science*, *10*, 575-587.

Delp, S. L., Anderson, F. C., Arnold, A. S., Loan, P., Habib, A., John, C. T., Guendelman, E., & Thelen, D. G. (2007). OpenSim: Open-Source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *54*, 1940-1950.

Deluca, P. A., Davis, R. B., Unpuu, S. O., Rose, S., & Sirkin, R. B. (1997). Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three-dimensional gait analysis. *Journal of pediatric orthopedics*, *17 5*, 608-614.

Díaz García, L. (2019). Alteraciones biomecánicas del complejo tobillo-pie y su incidencia en la carrera y la marcha.

Fang, C., He, B., Wang, Y., Cao, J., & Gao, S. (2020). EMG-Centered Multisensory Based Technologies for Pattern Recognition in Rehabilitation: State of the Art and Challenges. *Biosensors*, *10*.

Flux, E., Krogt, M. M. v. d., Cappa, P., Petrarca, M., Desloovere, K., Harlaar, J., & Harlaar, J. (2020). The Human Body Model versus conventional gait models for kinematic gait analysis in children with cerebral palsy. *Human Movement Science*, *70*, 102585.

KHAN, M., ULLAH, A., AHMED, A., ALI, M., & AHMAD, M. (2020). Outcome of Surgical Treatment for Lumber Disc Herniation Causing Painful Incomplete Foot-Drop. *Pakistan Journal Of Neurological Surgery*, *24*(3), 283–288-283–288.

Lascano Freire, M. A. (2013). *Estudio de músculos neumáticos y determinación de parámetros funcionales para ser aplicado en una ortesis dinámica de pie caído* Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica …].

Nossa-Almanza, S., Duplat, J., Rueda-Fonseca, L., Jara, A., Cabrera, F., & Romero-Cárdenas, C. (2020). Patrón cinemático de la marcha con ortesis de tobillo-pie de silicón en pacientes con pie caído. *Acta ortopédica mexicana*, *34*(6), 371-375.

Pico Tibasosa, J. S., & Rey Pulido, E. A. (2016). Diseño e implementación de una plataforma baropodométrica para medición de puntos de presión plantar en bipedestación con visualización en ordenador a partir de sn sistema de adquisición.

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research methods in biomechanics*. Human kinetics.

Wiszomirska, I., Błażkiewicz, M., Kaczmarczyk, K., Brzuszkiewicz-Kuźmicka, G., & Wit, A. (2017). Effect of drop foot on spatiotemporal, kinematic, and kinetic parameters during gait. *Applied bionics and biomechanics*, *2017*. https://doi.org/10.1155/2017/3595461

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APLICACIÓN DEL MÉTODO CARDAN-EULER PARA DETERMINAR PATRONES DE MARCHA HUMANA

**Alejandra Fernández González[1], Alejandro Batista Taboada[2], Antonio Falcón Gómez[2], Dariel Carreño Juan[2], Tania Rodríguez Moliner[2]**

[1]Centro de Estudios e Investigación del Mantenimiento (CEIM), Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba, [2]Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba
[1]e-mail: alejandrafzgz@gmail.com

**RESUMEN**

El estudio de la marcha ha cobrado gran importancia en campos como la fisioterapia, la robótica y el deporte Existe la necesidad de trabajar en formas económicas y fiables de estudiar la marcha humana, pues, la tecnología para ello es costosa, y en ocasiones no se tiene acceso a ella. Este trabajo tiene como objetivo determinar los patrones de la marcha humana utilizando el método Cardan-Euler programado en Matlab, basado en operaciones matriciales, y compararlos con los resultados obtenidos a través de procesar los datos mediante el software VICON. Se capturaron los movimientos de una persona con el sistema VICON en un laboratorio de análisis de marcha. Posteriormente, se aplicó el método Cardán-Euler para calcular los patrones de marcha del sujeto, usando las trayectorias de los marcadores reflectantes colocados en los segmentos del tren inferior derecho. Los resultados mostraron una gran similitud con los obtenidos por VICON, aunque se observaron diferencias en algunos patrones de algunos movimientos, lo que sugiere la necesidad de investigaciones futuras para mejorar la precisión del método.
**PALABRAS CLAVES:** Cardan-Euler, matriz de rotación, marcha humana, método, marcadores.

## APLICATION OF THE CARDAN-EULER METHOD TO DETERMINE HUMAN GAIT PATTERNS

**ABSTRACT**

Study of human gait is really important in fields like: physiotherapy, robotics and sports. There is a need to work in economic and reliable ways to study human march, because, technology for this is expensive, and sometimes you do not have access to it. This work aims to determine the human march patterns using the Cardan-Euler method programmed in Matlab, based on matrix operations, and compare them with the results obtained through processing the data through the Vicon software. The movements of a person with the Vicon system were captured in a gear analysis laboratory. Subsequently, the Cardan-Euler method was applied to calculate the subject's gear patterns, using the trajectories of the reflective markers placed in the segments of the lower right train. The results showed a great similarity with those obtained by Vicon, although differences in some patterns of some movements were observed, which suggests the need for future research to improve the accuracy of the method.

**KEY WORDS:** Cardan-Euler, rotation matrix, human gait, method, markers.

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis cuantitativo de la marcha humana es un campo fundamental en la biomecánica, con aplicaciones que van desde el tratamiento de discapacidades motoras hasta el desarrollo de tecnologías de rehabilitación física. La marcha humana es un proceso cíclico que involucra movimientos complejos y coordinados de los miembros inferiores, y su estudio ha permitido identificar patrones normales y patológicos que son esenciales para la evaluación clínica. El uso de sistemas de captura de movimiento, como el sistema VICON Nexus, ha facilitado la cuantificación precisa de estos patrones, permitiendo la creación de modelos tridimensionales que describen con alta precisión los movimientos articulares durante el ciclo de marcha.

Sin embargo, los laboratorios equipados con tecnología avanzada como el mismo VICON son costosos y de difícil acceso en algunas ocasiones. Esto resalta la necesidad de explorar métodos alternativos y más asequibles como cámaras de video convencionales, teléfonos móviles o softwares de código abierto que permitan obtener resultados comparables sin depender de equipos de alto costo.

Se han llevado a cabo varios experimentos y estudios para validar formas de estudiar el movimiento humano de forma más económico demostrando así, su validez. En el 2015, Robert J. Ellis (Ellis et al. 2015) para estudiar la marcha en pacientes con la enfermedad de Parkinson, utilizó un sistema basado en una aplicación móvil llamada ¨SmartMOVE¨ en un Apple iPod Touch para medir aceleración, y lo comparó con los datos recolectados por sensores, obteniendo resultados que validaron su método.

Un estudio muy similar fue realizado en el 2017 (Silsupadol, Teja, Lugade 2017), donde se utilizó un teléfono inteligente como acelerómetro aprovechando los propios sensores de dicho dispositivo, para medir parámetros espaciotemporales de la marcha. En ese mismo año, Monica J. Finkbiner (Finkbiner et al. 2017), a través de videos hechos a pacientes con un teléfono inteligente, estudió los instantes del golpeo del talón en el suelo, y el despegue del pie durante la marcha, igualmente con resultados satisfactorios.

En el 2018, se hicieron mediciones de la cinemática en el plano frontal del tronco y las extremidades inferiores (Lopes et al. 2018), en este caso, los resultados no fueron suficientes para validar ese procedimiento. Sin embargo, se obtuvieron mejores resultados en un estudio en el 2019 (Howell et al. 2019) para tratar a pacientes en recuperación de una conmoción cerebral, que también utilizó un sistema de medición basado en un teléfono inteligente, y fue comparado con los resultados de un método validado.

Recientemente, en el 2020, un estudio comparó las mediciones de saltos de altura de una muestra de sujetos hechas por un sistema que combina un teléfono inteligente y la aplicación Kinovea, con las de un sistema de medición sofisticado (Pueo, Penichet-tomas, Jimenez-olmedo 2020), demostrando que el sistema de bajo costo basado en el uso del teléfono y la aplicación fue fiable.

Estos estudios demuestran que es totalmente posible idear sistemas, no tan costosos, para llevar a cabo investigaciones en el análisis del movimiento humano, que, de forma general, requieren una alta precisión en las mediciones, sobre todo en pacientes.

El presente estudio propone la aplicación del método Cardán-Euler para calcular los patrones de marcha a partir de las trayectorias de marcadores obtenidas mediante el sistema VICON, con el objetivo de validar una alternativa económica que permita realizar estudios biomecánicos con recursos limitados. El método Cardán-Euler se basa en la utilización de matrices de rotación para describir la orientación de los segmentos del cuerpo en el espacio tridimensional, proporcionando información sobre los ángulos articulares de la cadera, rodilla y tobillo durante el ciclo de marcha.

Además, la comparación de los resultados obtenidos con el método Cardán-Euler con los proporcionados por el software VICON permitirá evaluar la viabilidad de esta técnica para su implementación en estudios de marcha, sin necesidad de utilizar equipos especializados. Los resultados de este estudio podrían contribuir al desarrollo de herramientas de análisis más accesibles, con un impacto directo en el tratamiento de pacientes con patologías motoras y la investigación biomecánica en entornos con recursos limitados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Captura de datos

El estudio se llevó a cabo en un laboratorio de biomecánica para análisis de movimiento utilizando el software VICON, equipado con dos cámaras de video convencionales y 8 cámaras infrarrojas que

permiten la captura precisa del movimiento humano en 3 dimensiones mediante el uso de marcadores reflectantes, específicamente, se tomaron en cuenta los movimientos: flexo extensión (y dorsi-flexión plantar en el caso del tobillo, abducción-aducción y rotación externa e interna. Para el estudio, fue seleccionado un hombre joven (18 años), cuyo patrón de marcha es considerado normal.

Se aplicó el protocolo Helen Hayes para la ubicación de los marcadores reflectantes en el sujeto en las espinas ilíacas anterosuperiores posteriores y anteriores, muslo, rodillas y tobillos (figura 1).

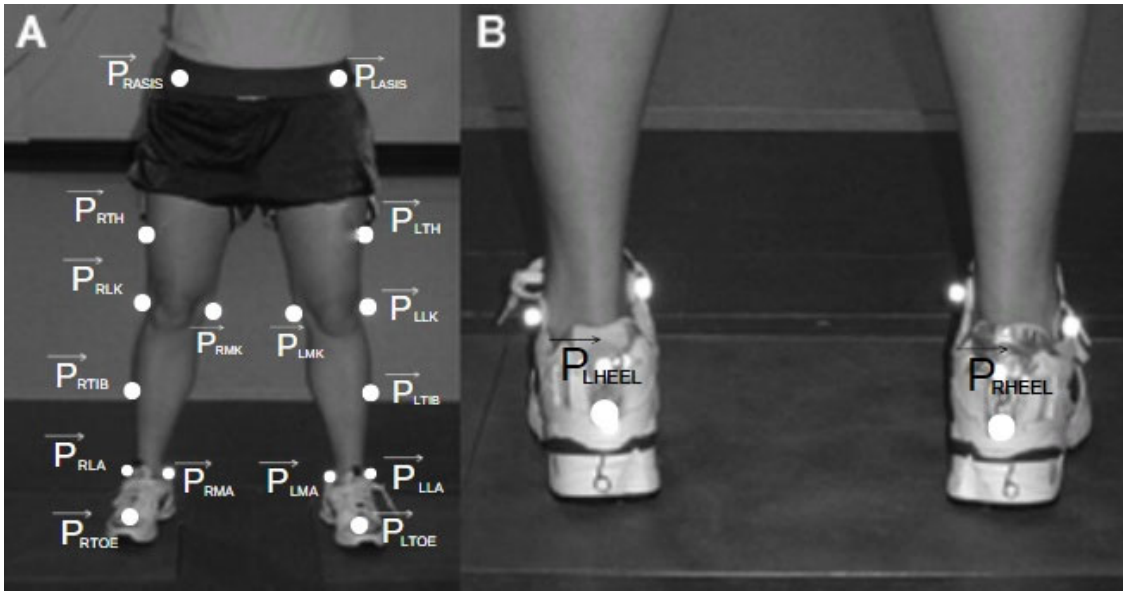



Figura 1. La imagen muestra la posición anatómica de los marcadores siguiendo el modelo Helen-Hayes. Se observan desde el plano frontal dese el frente del sujeto (A), y desde su espalda (B). Imagen modificada tomada de (Gutierrez et al. 2012)**.** Dos marcadores se colocan en las espinas ilíacas anterosuperiores de la pelvis, uno en cada lado ($\vec{P}_{RASIS}$ y $\vec{P}_{LASIS}$). Dos marcadores se colocan en las espinas ilíacas posteriores superiores, uno en cada lado ($\vec{P}_{RPSIS}$ y $\vec{P}_{LPSIS}$). Muslo ($\vec{P}_{RTH}$ y $\vec{P}_{TH}$).). Lado lateral ($\vec{P}_{RLK}$ y $\vec{P}_{LK}$)) y lado medial de la rodilla ($\vec{P}_{RMK}$ y $\vec{P}_{LMK}$) de cada rodilla. Tibia ($\vec{P}_{RTIB}$ y $\vec{P}_{LTIB}$). Maleolos lateral ($\vec{P}_{RLA}$ y $\vec{P}_{LLA}$) y medial ($\vec{P}_{RMLA}$ y $\vec{P}_{LMLA}$) de cada tobillo. Talón de cada pie ($\vec{P}_{RHEEL}$ y $\vec{P}_{LHEEL}$). Articulación metatarsofalángica ($\vec{P}_{RTOE}$ y $\vec{P}_{LTOE}$).

**Procesamiento de datos**

Los datos de las trayectorias de los marcadores fueron, primero procesados a través del software VICON para obtener el resultado del programa, que es la referencia para la comparación con el método Cardan-Euler, y luego los datos de las trayectorias sin procesar, fueron exportados desde VICON en formato Excel. Estos datos incluyen las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de cada marcador respecto al sistema de coordenadas global (SCG) del laboratorio, cuyo origen se ubica en el centro del volumen de captura (espacio donde fue grabado el sujeto) y a nivel del suelo.

**Procedimiento de cálculo**

El método empleado para calcular los patrones de marcha fue el método de los ángulos Cardán-Euler, que permite describir la orientación de un segmento corporal en el espacio tridimensional mediante secuencias de rotaciones (Knutzen 1998). Para aplicar este método, es necesario calcular para cada segmento corporal (pelvis, muslo, pierna y pie), la matriz de rotación formada por los vectores ortogonales del

sistema de coordenadas local (SCL) de cada uno. Para ello, fue seguido el procedimiento expuesto en el libro ¨Reaserch Methods in Biomechanics¨ (Métodos de Investigación en Biomecánica) (Robertson, Caldwell, Hamill, cap. 2).
La secuencia de rotaciones empleada en este estudio fue XYZ: primero, la rotación alrededor del eje lateral X; luego, alrededor del eje Y; y finalmente, alrededor del eje vertical Z; a su vez, los ángulos para la secuencia XYZ son: α para la primera rotación, β para la segunda rotación y γ para la tercera rotación (figura 2).

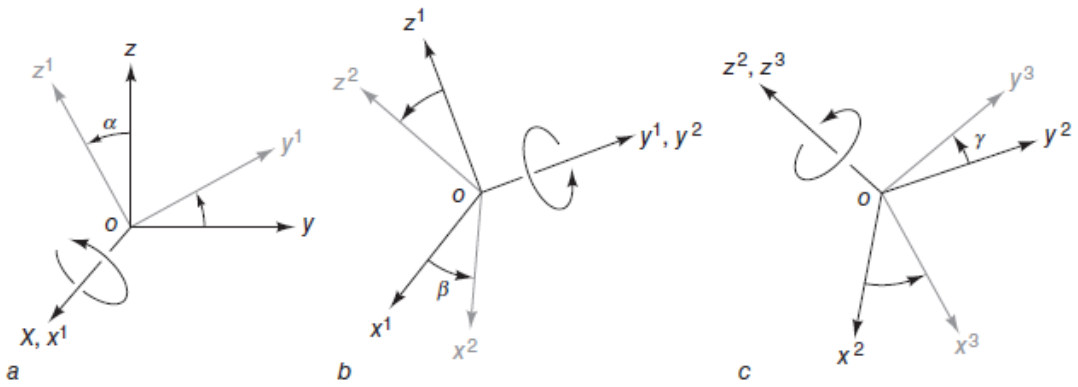



**Figura 2. Se muestra la secuencia de rotación de los ejes: (a) Rotación alrededor del eje X (α); (b) rotación alrededor del eje Y (β); (c) rotación alrededor del eje Z (γ). Imagen tomada de (Robertson, Caldwell, Hamill)**

La matriz de rotación para esta secuencia se expresa como:

$$R = R_z R_y R_x \tag{1}$$

Donde Rx, Ry y Rz son las matrices de rotación individuales para cada eje, que serían:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} R_y = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} R_z = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Al multiplicar se obtiene:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\gamma\cos\beta & \cos\gamma\sin\beta\sin\alpha + \sin\gamma\cos\alpha & \sin\gamma\sin\alpha - \cos\gamma\sin\beta\cos\alpha \\ -\sin\gamma\cos\beta & \cos\alpha\cos\gamma - \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha & \sin\gamma\sin\beta\cos\alpha + \cos\lambda\sin\alpha \\ \sin\beta & -\cos\beta\sin\alpha & \cos\beta\cos\alpha \end{bmatrix} \tag{3}$$

Los elementos en esta matriz, representan la orientación relativa de un SCL con respecto al SCG; a esta matriz R, se le llama ¨matriz de descomposición¨. El cálculo de los ángulos se deriva directamente de la matriz R.

Se toman los elementos correspondientes (tomándolos: fila; columna) de las matrices de rotación de cada segmento calculado, para hallar su rotación en el espacio.
El ángulo α se halla a partir de los elementos 3,2 y 3,3:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{-R_{3,2}}{R_{3,3}}\right) \tag{4}$$

El ángulo β se halla a partir de los elementos (1,1), (2,2) y (3,1):

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{-R_{3,1}}{\sqrt{R^2_{1,1} + R^2_{2,2}}}\right) \tag{5}$$

El ángulo γ se halla a partir de los elementos (2,1) y (1,1):

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{-R_{2,1}}{R_{1,1}}\right) \tag{6}$$

El movimiento en una articulación es definido como la orientación de un segmento con respecto a otro segmento cercano. Con la posición relativa de un segmento corporal respecto al SCL de otro segmento definido, se calculan los ángulos articulares.

Para hallar la posición relativa del tobillo, se toman los segmentos PIE y PIERNA. Se toma como elemento fijo el pie y la pierna de mueve relativamente respecto a él, es decir, ubicaremos el SCL de la pierna con respecto al SCL del pie de la siguiente forma:

$$R_{TOBILLO} = R_{PIE} * R'_{PIERNA} \tag{7}$$

Para hallar la posición relativa de la rodilla, se fija el segmento PIERNA, y el segmento MUSLO se mueve relativo a la pierna:

$$R_{RODILLA} = R_{PIERNA} * R'_{MUSLO} \tag{8}$$

Para hallar la posición de la cadera, se toma el segmento MUSLO fijo, y el segmento PELVIS se mueve respecto a él:

$$R_{CADERA} = R_{MUSLO} * R'_{PELVIS} \tag{9}$$

Todo el proceso de cálculo fue programado en el software MATLAB importando los datos de las coordenadas de los marcadores extraídos de VICON en formato EXCEL.

## 3. RESULTADOS

En los gráficos donde se representan los resultados, se incluyeron las curvas resultantes del software VICON, y las obtenidas al utilizar el método Cardan-Euler programado en MATLAB con el objetivo de hacer una comparación visual entre ambos resultados. Las curvas presentadas solo representan el ciclo seguido por la pierna derecha del sujeto estudiado.

En el movimiento de flexo extensión (Figura 3), ambas curvas, en general, muestran un comportamiento similar durante todo el ciclo. Se puede apreciar cierto desfasaje en el inicio y final del ciclo. En el caso de la flexo-extensión de rodilla, las curvas son prácticamente iguales, solo que con signos opuestos, lo que indica que el sistema de rotación está rotado. La dorsi-flexión de tobillo presenta una variación mucho más notable, aún así, la tendencia de las curvas es la misma.

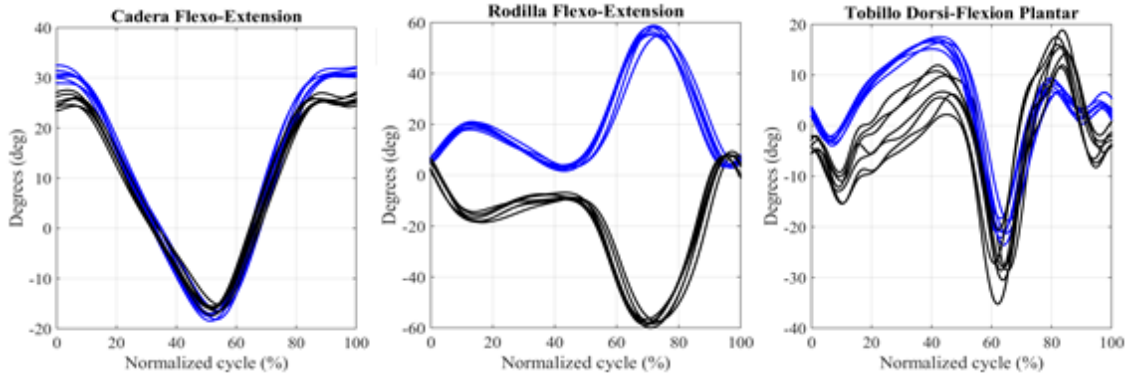



Figura 3. Las gráficas muestran el movimiento de flexo extensión de la cadera, la rodilla y el tobillo respectivamente a lo largo del ciclo de marcha. Las líneas azules son las calculadas por el software VICON, y las negras son las resultantes del método Cardan-Euler. En el eje de las abscisas se representa el ciclo de marcha normalizado en porciento; en el eje de las ordenadas los grados de movimiento de la articulación. Elaboración propia.

Respecto a la abducción-aducción (figura 4), ambos resultados en la cadera son muy similares en cuanto a los ángulos y las tendencias de las curvas, la mayor diferencia se haya en el 60% del ciclo, donde los ángulos calculados a través de Cardan-Euler, son mayores. La gráfica de abducción-aducción de la rodilla muestra diferencias significativas en la tendencia de las curvas calculadas por el método Cardan-Euler, además de estar muy desfasadas con respecto a las calculadas en VICON.

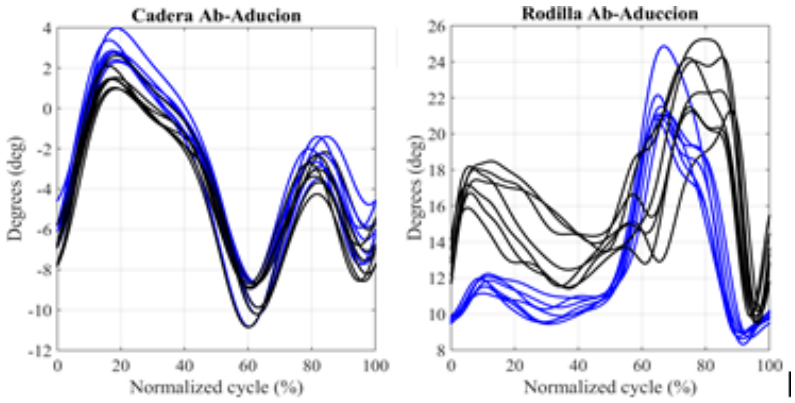



Figura 4. Las gráficas muestran el movimiento de abducción-aducción de la cadera y la rodilla respectivamente a lo largo del ciclo de marcha. Las líneas azules son las calculadas por el software VICON, y las negras son las resultantes del método Cardan-Euler. En el eje de las abscisas se representa

el ciclo de marcha normalizado en porciento; en el eje de las ordenadas los grados de movimiento de la articulación. Elaboración propia.

Por último, en el caso del movimiento de rotación interna y externa de las articulaciones, lo resultados fueron los menos satisfactorios (figura 5). Las curvas resultantes del método Cardan-Euler presentan una dispersión notable en las articulaciones de la cadera y el tobillo. En el caso de las tres articulaciones, la diferencia entre los ángulos de estas durante el ciclo de marcha, es muy notable, pues en las gráficas se observan las curvas desfasadas.

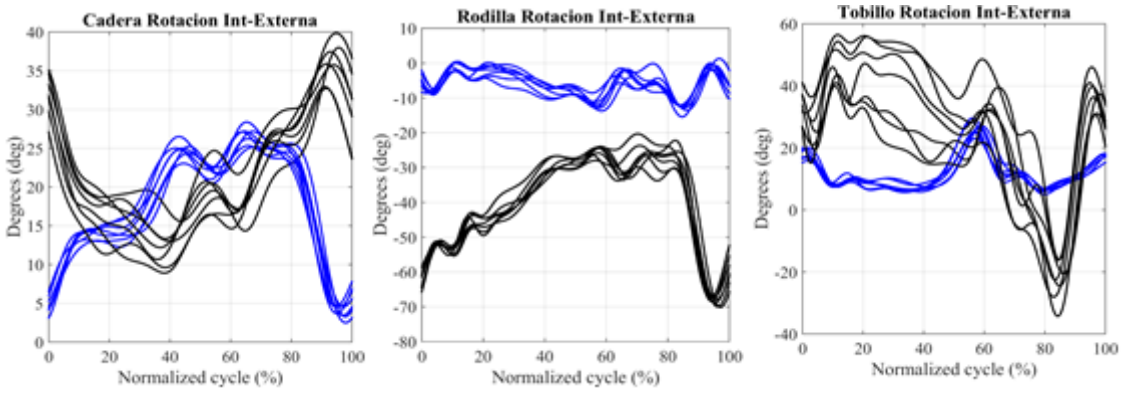



Figura 5. Las gráficas muestran el movimiento de rotación externa e interna de la cadera, la rodilla y el tobillo respectivamente a lo largo del ciclo de marcha. Las líneas azules son las calculadas por el software VICON, y las negras son las resultantes del método Cardan-Euler. En el eje de las abscisas se representa el ciclo de marcha normalizado en porciento; en el eje de las ordenadas los grados de movimiento de la articulación. Elaboración propia.

## 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el método Cardán-Euler puede proporcionar estimaciones precisas de los patrones de marcha, comparables a los obtenidos con el software VICON en los planos sagital y frontal. La similitud en los resultados de flexo-extensión de la rodilla y las rotaciones de la cadera indican que este método es adecuado para analizar movimientos articulares complejos, a pesar de las limitaciones en la captura de movimientos más sutiles, como los del tobillo.

Uno de los principales desafíos observados es la necesidad de perfeccionar la precisión en el análisis de segmentos donde los ángulos de rotación son menores y más difíciles de detectar con precisión. Las variaciones observadas en la dorsi-flexión del tobillo sugieren que este es un área de mejora para futuras investigaciones.

A nivel práctico, la implementación de este método en laboratorios con recursos limitados puede reducir significativamente los costos asociados al análisis de la marcha, ofreciendo una alternativa accesible para la cuantificación del movimiento humano. En el futuro, sería interesante explorar el uso de algoritmos de corrección de errores para mejorar la precisión en segmentos donde las diferencias fueron más notorias.

## REFERENCIAS

ELLIS, Robert J et al., 2015. A Validated Smartphone-Based Assessment of Gait and Gait Variability in Parkinson ' s Disease. . DOI 10.1371/journal.pone.0141694.
FINKBINER, Monica J et al., 2017. Video Movement Analysis Using Smartphones ( ViMAS ): A Pilot Study. . Núm. March, pp. 1–7. DOI 10.3791/54659.

GUTIERREZ, Gregory M. et al., 2012. Examining neuromuscular control during landings on a supinating platform in persons with and without ankle instability. *American Journal of Sports Medicine*. Vol. 40, núm. 1, pp. 193–201. DOI 10.1177/0363546511422323.

HOWELL, David R et al., 2019. Determining the utility of a smartphone-based gait evaluation for possible use in concussion management. *The Physician and Sportsmedicine*. Vol. 0, núm. 0, p. 1. DOI 10.1080/00913847.2019.1632155.

KNUTZEN, Kathleen M., 1998. *Kinematics of human motion*. American Journal of Human Biology 10. DOI 10.1002/(sici)1520-6300(1998)10:6<808::aid-ajhb13>3.0.co;2-e.

LOPES, Thiago Jambo Alves et al., 2018. Reliability and validity of frontal plane kinematics of the trunk and lower extremity measured with 2-dimensional cameras during athletic tasks: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. Vol. 48, núm. 10, pp. 812–822. DOI 10.2519/jospt.2018.8006.

PUEO, Basilio, PENICHET-TOMAS, Alfonso y JIMENEZ-OLMEDO, Jose Manuel, 2020. Validity , reliability and usefulness of smartphone and kinovea motion analysis software for direct measurement of vertical jump height. *Physiology & Behavior*. Vol. 227, núm. August, p. 113144. DOI 10.1016/j.physbeh.2020.113144.

ROBERTSON, D Gordon E, CALDWELL, Graham E y HAMILL, Joseph. *Methods in Biomechanics SECOND EDITION*. ISBN 9780736093408.

SILSUPADOL, Patima, TEJA, Kunlanan y LUGADE, Vipul, 2017. Gait & Posture Reliability and validity of a smartphone-based assessment of gait parameters across walking speed and smartphone locations : Body , bag , belt , hand , and pocket. *Gait & Posture*. Vol. 58, núm. September, pp. 516–522. DOI 10.1016/j.gaitpost.2017.09.030.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y LA SÍNTESIS DE SISTEMAS. INVESTIGACIONES DE APLICACIÓN

**José Arzola Ruiz**[1]

[1]Dpto de mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica
[1]e-mail: ejosearzolaruiz1945@gmail.com

**RESUMEN**

Las investigaciones en las diferentes áreas de las ingenierías se vinculan a la posibilidad del desarrollo de competencias a partir de los logros alcanzados por la Teoría de Sistemas, la inteligencia artificial, las técnicas CAD/CAPP/CAM/CAS para la representación gráfica, simulación y la optimización multi-nivel multi-objetivo, entre otras. La enseñanza de los fundamentos de estas ciencias y la integración entre la enseñanza de las ciencias básicas, las que aportan la teoría, modelos y métodos básicos y de las tecnologías, las que aportan modelos específicos y procedimientos de cálculo, a nivel de pre y postgrado, permite la elevación de las competencias requeridas para la toma de decisiones óptimas en las diferentes tecnologías. Para la formación de estas competencias se ha desarrollado por el autor, con la participación de otros muchos, como parte de colectivos de investigadores, cursos de pregrado y postgrado con la denominación de sistemas de ingeniería soportada con los resultados de investigación teórica y aplicada en esta línea de investigación. Los resultados de investigación básica obtenidos se han aplicado en al menos 21 Tesis de Doctorado ya defendidas en diferentes áreas de las Ingenierías

**PALABRAS CLAVES:** toma de decisiones, sistemas complejos, sistemas de ingeniería, optimización multi-objetivo multi-nivel, descomposición de tareas complejas.

## METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS AND THE SYNTHESIS OF ENGINEERING SYSTEMS. APPLICATIONS RESEARCHES

**ABSTRACT**

Research in the different areas of engineering is linked to the possibility of developing competencies based on the achievements of Systems Theory, Artificial Intelligence, CAD/CAPP/CAM/CAS techniques for graphic representation, simulation and multi-objective multi-level optimization, among others. The teaching of the fundamentals of these sciences and the integration between the teaching of basic sciences, which provide the theory, models and basic methods, and of technologies, which provide specific models and calculation procedures, at the undergraduate and graduate levels, allows the enhancement of the competencies required for optimal decision making in the different technologies. For the formation of these competences has been developed by the author, with the participation of many others, as part of research groups, undergraduate and graduate courses under the name of engineering systems supported with the results of theoretical and applied research in this line of research. The basic research results obtained have been applied in at least 21 PhD Theses already defended in different areas of Engineering.

**KEY WORDS:** decisions making, complex systems, engineering systems, multiple-objetive multi-level optimization, complex tasks decomposition.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones de aplicación en las diferentes esferas de la industria, la energía, la agricultura, etc. presuponen el uso o desarrollo de herramientas para elevar la calidad de las decisiones adoptadas. Una vez concluidos los resultados intermedios vinculados al modelado de optimización, gráfico, de simulación, interacción hombre-máquina, se requiere el desarrollo de herramientas computacionales para la preparación y toma de decisiones considerando no solo la complejidad inherente a estas tareas, sino también las implicaciones sociales de las decisiones. La obtención de esas herramientas pasa necesariamente por las etapas de análisis primero y síntesis después de los correspondientes sistemas.

Estas realidades han dado lugar al surgimiento en el Massachusetts Institute of Technology (ver [1], http://esd.mit.edu/) y otras universidades de vanguardia del mundo agrupadas en el "Council of Engineering Systems Universities" (ver http://www.cesun.org/) de la línea de investigación "Sistemas de Ingeniería", entendidos como tales "una clase de sistemas caracterizados por un alto grado de complejidad técnica, intrincación social y multiplicidad de procesos destinados al cumplimiento de funciones importantes para la sociedad" [1]. En el MIT se introdujo la carrera Sistemas de Ingeniería, y un Programa Doctoral en la misma especialidad, siendo actualmente una de las más demandadas en esa universidad. La línea de investigación involucra transversalmente a todas las facultades de esa universidad, incluidas las humanidades.

Para el desarrollo de esta clase de problemas se utiliza todo el caudal del conocimiento disponible vinculado a los sistemas, la matemática aplicada, etc. Así, se hacen necesarios aportes metodológicos que, sobre la base de resultados de la Teoría de Sistemas, la Cibernética, la Matemática Aplicada, la Ingeniería de Sistemas y otras Ciencias y, desarrollando procedimientos y métodos propios, permitan enfrentar exitosamente el diseño de sistemas de aplicación de alto grado de complejidad considerando el carácter sistémico de los procesos estudiados, la pertenencia de estos sistemas a otro(s) de mayor envergadura, la multiplicidad de niveles de procesamiento, de criterios cuantificables y no cuantificables y otras complejidades.

Sin pretender, en sus inicios, enfrentar problemas de envergadura nacional, la línea de investigación del mismo nombre, emergió en los mismos años en Cuba, constituyendo los resultados metodológicos obtenidos su soporte teórico, ha desarrollado aportes que permiten enfrentar el análisis y la síntesis de sistemas de alta complejidad sobre bases sistémicas, así como herramientas matemáticas para desarrollarlos. Como regla en el país, incluidas las universidades, esto se hace a partir del estudio de la bibliografía vinculada y la imaginación, procurando mejorar lo ya publicado, pero sin base metodológica alguna que aseguren: la adecuada inserción en el sistema mayor del cual forma parte la tarea estudiada, la formulación del modelo matemático conceptual de la tarea, la eventual necesidad de su descomposición, la determinación de las relaciones entre las sub-tareas mediante determinadas estructuras, la integración de modelos de optimización, simulación, representación gráfica e interacción hombre-máquina y el desarrollo de procedimientos de conciliación de decisiones para las diferentes estructuras en presencia de múltiples objetivos, incluyendo los criterios subjetivos (que pudieran reflejar, entre otros factores, la intrincación social) de los eventuales decisores.

Los antecedentes están dados por investigaciones básicas y de aplicación realizadas en los últimos 40 años, muchos de ellos reflejados en 20 temas de doctorados ya defendidos o en proceso de defensa. Los "aportes" brindan las herramientas teóricas que, conjuntamente con los resultados disponibles en la bibliografía especializada, permiten enfrentar consciente y sistémicamente el análisis y la síntesis de sistemas para la solución de estos problemas, lo que incluye todo el modelado que asegure el desarrollo de estas herramientas. Esto ha requerido muchos años dedicados a investigaciones de aplicación, inicialmente en la industria y posteriormente en la CUJAE y la Universidad de Holguín. La acumulación e integración de los resultados básicos parciales dieron lugar al enfoque metodológico correspondiente y a su introducción en la docencia de pre y posgrado. Entre los resultados más recientes se encuentran:

- Desarrollo del método de Integración de Variables (como herramienta para la síntesis de los sistemas) incluyendo varios algoritmos, entre ellos el de "Búsqueda por vectores direccionales", que se aplicó con éxito al trabajo investigativo "Un algoritmo del método de Integración de Variables para la solución del problema máximo clique ponderado" [4].
- Desarrollo del algoritmo "Exploración Aleatoria de Funciones de Códigos Variables" y su aplicación a tareas de distribución de piezas de configuración irregular en chapas, compensación de potencia reactiva en redes de suministro eléctrico industriales, recubrimiento refractario de instalaciones de alta temperatura y procedimiento de solución de la tarea de selección de instalaciones energéticas adecuadas a las disponibilidades del mercado y a los recursos energéticos del territorio [4].
- Procedimientos para la elaboración de modelos monomiales, posinomiales y signomiales [5], y su aplicación experimental a varios procesos con el fin de disponer de nuevas herramientas que contribuyan a la elevación de la precisión de las funciones de aproximación utilizadas como parte de la etapa de análisis de los sistemas de ingeniería. Han sido ya aplicados a sistemas de operación de procesos.
- La introducción de los resultados del enfoque a una parte importante de las investigaciones de aplicación ya realizadas ha dado lugar a la solución de problemas considerados como básicos a los efectos de las áreas del conocimiento involucradas. Por ejemplo, en el marco de una Tesis de

Doctorad, la aplicación del enfoque metodológico al problema de la distribución óptima de piezas de configuración irregular en superficies planas dio lugar a resultados nuevos en el tema [4]. Este problema ha sido considerado como clásico tanto por matemáticos como por ingenieros de diferentes tecnologías. Lo mismo pudiera decirse de otras de las soluciones encontradas.

El enfoque desarrollado tiene que ver con la integración del trabajo inter y multidisciplinario de las investigaciones científicas en las ingenierías, basada en los aportes científicos en el área del análisis y la síntesis de sistemas de ingeniería, incorporando resultados de las matemáticas aplicadas, las técnicas de simulación y representación gráfica y la ingeniería de sistemas. El desarrollo de competencias profesionales en los egresados de las carreras en las Ciencias Técnicas se ve muy favorecido por el conocimiento del enfoque desarrollado, por lo que, sin que exista una percepción oficial de la necesidad de su enseñanza en la educación superior se ha venido introduciendo en asignaturas de pregrado y en cursos de postgrado a nivel de Especialidad, Maestría y Doctorado en la CUJAE y la Universidad de Holguín.

## 2. IDEAS BÁSICAS DE SU FUNDAMENTACIÓN

El enfoque propuesto se ha venido conformando durante la vida profesional del autor principal, con la partición de otros muchos autores, alcanzando en los últimos años su fundamentación y contenido más acabados [8] - [14]. La concatenación entre estos aportes se puede representar por el esquema general mostrado en la figura 1.

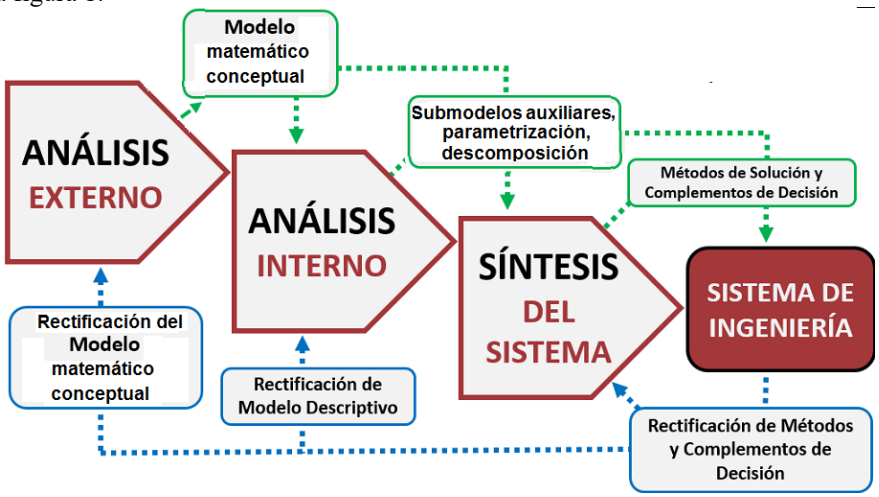



Fig. 1 Representación esquemática del enfoque metodológico propuesto.

En la etapa del análisis externo la información asociada a la tarea se clasifica en variables de coordinación (las que enlazan el sistema dado con el sistema mayor), indicadores de eficiencia (los que caracterizan el desempeño del sistema), variables de decisión (las que pueden ser modificadas a voluntad al nivel de la tarea en solución con el fin de variar los valores de los indicadores de eficiencia y datos de entrada, los que tienen que ver con toda la información complementaria, no relacionada directamente con la toma de decisiones. A partir de la clasificación realizada se construye el modelo matemático conceptual de la tarea objeto de estudio, la que incluye los objetivos y las restricciones, en forma de relaciones. En dependencia de su complejidad y dimensión, el modelo puede ser o no descompuesto en sub - modelos componentes, que responden a una de cuatro estructuras de toma de decisiones previstas, en correspondencia con su estructura matemática.

Modelo matemático conceptual. Consta del conjunto de indicadores de eficiencia, los operadores de preferencia que sobre ellos deben de actuar y funciones restringidas. Las relaciones pueden tener carácter implícito y ser, por tanto, determinadas con ayuda de métodos numéricos.

$$Pref\ \{\ Y(u,\ x)\ /\ h(u) \geq 0;\ g\ (u,\ x) \geq\ 0\} \qquad (1)$$

Donde:

*Pref*: Designa el sistema de operadores de preferencia del eventual decisor, dependiente de las soluciones de todo el sistema $(u,\ x)$ a partir de los valores adoptados por $Y(u,\ x)$.

$Y(u, x)$**:** Vector-función de indicadores de eficiencia, de dimensión $m$, del sistema.
$g(x, u)$: Vector-función de dimensión $k$ de intensidades de relaciones entre los elementos del sistema.
$h(u)$: Vector-función de intensidades del sistema de mayor envergadura, del que el sistema estudiado constituye un elemento.
$x = (x_1,..., x_n) \in X$**:** Vectores de decisión de todos y cada uno de los $n$ elementos del sistema.
$x_s = (x_1^s, ..., x_r^s) \in X_s$**:** Variables de decisión del elemento $s$ del sistema.
$u = (u_1, ..., u_p)$: Vector de variables de decisión, de dimensión $p$, del sistema mayor.
Cada componente de la decisión del sistema describe su estado y puede tener sus componentes por cada elemento. Es decir, $u$ puede constituir una matriz, con columnas dadas por $u_i = u_i(u_i^1, u_i^2, ..., u_i^n)$, donde $u_i^s$ es la variable de coordinación $i$ del elemento $s$ del sistema.
Los componentes de $u = (u_1, u_2, ..., u_p)$ constituyen variables de decisión de todo el sistema y afectan no solo la propia calidad de funcionamiento, dada por los valores de los componentes de $Y(u, x)$, sino también la del sistema de mayor envergadura, del cual constituye un simple elemento.
Aquellos componentes de $Y(u, x)$ que son cuantificables se sustituyen, en una primera aproximación, por los componentes de $Z(u, x)$, dados por $z_j(u, x) = \theta_j y_j(u,x)$.
Donde:

$$\theta_j = \begin{cases} 1 \text{ si el indicador } y_j(u, x) \text{ debe ser minimizado} \\ -1 \text{ si el indicador } y_j(u, x) \text{ debe ser maximizado} \end{cases}$$

Los componentes no cuantificables de $Y(u, x)$ se consideran a posteriori mediante la elección adecuada de una solución con valores de los componentes de $Z(u, x)$ próximos a:

$$Min\{ Z(u, x) / h(u) \geq 0; g(u, x) \geq 0\} \qquad (2)$$

El que constituye una aproximación al modelo conceptual y representa un modelo de optimización bi-nivel. Cada uno de los elementos del sistema puede constituir también un sistema bi-nivel, por lo que el sistema en su integralidad puede contener múltiples niveles. Se adopta el esquema teórico del método Aproximatorio-Combinatorio [2], [3], de acuerdo al cual las soluciones al modelo (1) se encuentran entre las soluciones a (2) que se diferencian por cada uno de los criterios $z_i(u, x)$, en no más de una cierta magnitud $\alpha_i$ siempre que se cumplan las condiciones del método. Entre estas soluciones se busca la satisfacción al operador correspondiente de preferencia *Pref* con ayuda de procedimientos de simulación, representación gráfica, evaluación subjetiva obtenida por procedimientos de interacción hombre-máquina mediante los modelos propuestos por los métodos de la teoría de la toma de decisiones bajo criterios múltiples [4], los que modelan el sistema de preferencia de los decisores.
Las ideas principales del método Aproximatorio - Combinatorio se presentan a continuación:

En el conjunto de las posibles decisiones $D$ se define la función $Z(x)$ que describe el objetivo mono o multi-criterial de la tarea que se requiere solucionar.

Se requiere hallar un elemento $x^* \in D$ tal que

$$Z(x^*) = min\ Z(x), x \in D. \qquad (3)$$

Prácticamente, cualquier tarea de optimización puede ser formulada de esta forma.

Se utiliza el siguiente procedimiento general:

En el conjunto $D$ se define una función de aproximación $Q(x)$, tal que $Z(x^*) \geq Q(x^*)$ y para $Q(x)$ existen métodos efectivos y algoritmos de determinación no solo de $x^o \in D$: $Q(x^o) = min\ Q(x)$ sino también de todos los elementos $x \in D$, con valores de $Q(x)$ que se diferencien de $Q(x^o)$ en no más que un parámetro $\alpha \geq 0$. Así, se hace posible la determinación de un conjunto $D_0 \subset D$, tal que:

$$\left.\begin{array}{l} Q(x^o) \leq Q(x) \leq Q(x^o) + \alpha \Rightarrow x^o \in D_0 \\ Q(x) > Q(x^o) + \alpha \Rightarrow x^o \in D - D_0 \end{array}\right\} \qquad (4)$$

En otras palabras, $D_0$ contiene <u>todas</u> las soluciones $\alpha$- óptimas de la tarea de aproximación. Se hace de tal forma posible la búsqueda de solución a la tarea original de alta complejidad entre opciones de solución a tareas de inferior complejidad.

En el trabajo [2, 3] se demuestra que si el valor seleccionado de $\alpha$ satisface la condición

$$min\ \{Z(x) / x \in D_0\} \leq Q(x^o) + \alpha, \qquad (5)$$

entonces, el conjunto $D_o$ contiene la solución óptima de la tarea original. En caso contrario, las opciones de solución a la tarea original con valor mínimo $Z(x)$ contenida en el conjunto $D_0$ constituyen soluciones aproximadas, lo que le confiere entonces al método carácter heurístico. Lo mismo ocurre si la población generada de soluciones no contiene a todo el conjunto $D_0$. La aplicación del método permite la solución de tareas de muy alta complejidad, representadas por $min\ \{Z(x)/\ x \in D\}$ entre las opciones de solución que se diferencian de la óptima en no más que $\alpha$ de una tarea más sencilla representada por $min\ \{Q(x)/\ x \in D\}$.

Entre otros esquemas de descomposición derivados de la aplicación del método se encuentra la búsqueda de solución por aproximaciones sucesivas dadas por la serie de tareas aproximadas $Q^1(x)$, ..., $Q^{m.}(x)$, tales que $Z(x^*) \geq Q^1(x^*) \geq Q^2(x^*) \geq ... \geq Q^{m.}(x^*)$, es decir $Q^i(x)$ constituye una aproximación de $Q^{i-1}(x)$. Entonces, se hace posible la búsqueda de la solución óptima a la tarea original en sub-espacios de opciones de solución cada vez mejor evaluados y más reducidos, terminando en $D_0$.

$$D_0 \subset D_1 \subset ... \subset D_n \qquad (6)$$

Para el caso concreto estudiado en este trabajo, cada uno de los elementos del sistema puede constituir también un sistema bi-nivel, por lo que el sistema en su integralidad puede contener múltiples niveles. De acuerdo al esquema del método Aproximatorio Combinatorio, las soluciones al modelo (1) se encuentran entre las soluciones a (2) que se diferencian por cada uno de los criterios $z_i(u, x)$, en no más de una cierta magnitud $\alpha_i$ siempre que se cumplan las condiciones establecidas por el método. Entre estas soluciones se busca la satisfacción al operador correspondiente de preferencia *Pref* con ayuda de procedimientos de simulación, representación gráfica y evaluación subjetiva con ayuda de procedimientos de interacción hombre-máquina.

En dependencia de la estructura matemática de (2) se deducen esquemas de descomposición correspondientes a las estructuras descentralizada, centralizada, disperso-conciliada y jerárquico-participativa [4].

En la etapa del **análisis interno** se realiza el modelado matemático detallado, por lo que se parametrizan todos y cada uno de los modelos resultantes de la descomposición, aplicando el conocimiento ya existente o bien desarrollándolo, tanto teórica como experimentalmente, lo que puede incluir el diseño de alguna instalación experimental, realización de un plan experimental y el procesamiento de los resultados, utilizando las técnicas conocidas, entre ellas el modelado por funciones posinomiales y signomiales herramienta desarrollada a partir de investigaciones básicas de los autores [5].

El análisis interno consta de las siguientes fases:

**Organización racional de los procedimientos de cálculo.** Se precisa la composición de las variables de decisión y el orden de los cálculos que conducen a procedimientos con la menor cantidad posible de ciclos, quedando definidos los algoritmos de cálculo del proceso. Aquí se emplean diferentes métodos, desde los trabajos fundacionales [2, 3], los que aportaron los principios básicos para la solución de este problema, hasta los métodos más modernos, como el de los grafos dicromáticos.

**Identificación de todos y cada uno de los componentes del modelo matemático conceptual de preparación y toma de decisiones por las diferentes tareas derivadas de la descomposición**. Se realiza la descripción detallada del procedimiento de cálculo básico a ser insertado en el procedimiento de generación de opciones, el cual puede tener carácter implícito, que permite calcular las salidas $y_j(x)$, $g_i(x)$ y la determinación de los procedimientos gráficos y de simulación complementarios que aportan la información requerida para precisar el comportamiento, una a una, de las opciones de solución generadas a partir del cálculo básico implementado en el procedimiento de generación de opciones.

**Síntesis de los sistemas de ingeniería**

En la síntesis se requiere elaborar los procedimientos para:

- la preparación de decisiones, es decir, la generación de opciones de solución, su filtrado y reevaluación, por procedimientos gráficos y de simulación.
- la toma de decisiones, es decir, la selección de opciones al nivel de todo el sistema
- la implementación amigable de los procedimientos anteriores, con la adición de los procedimientos complementarios de simulación y representación gráfica de soluciones mediante las técnicas de la ingeniería de sistemas y su presentación al personal (u otros sistemas) encargados de la selección de opciones para el filtrado, la revaluación y selección de las soluciones definitivas.

En la figura 2 se ilustran los procedimientos y herramientas principales que intervienen en los procesos complejos de síntesis.

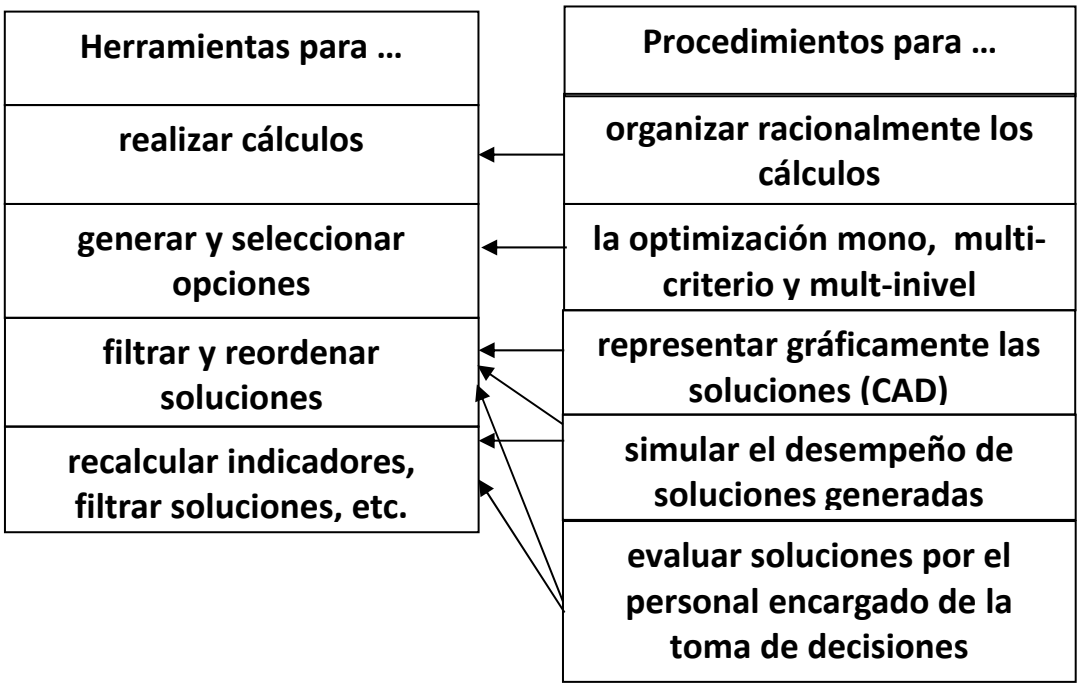



Fig. 2 Herramientas y procedimientos utilizados en los sistemas de preparación y toma de decisiones de ingeniería

## 3. INTRODUCCIÓN EN LA DOCENCIA DE PRE Y POSTGRADO

**A nivel de pregrado**

Los rudimentos del análisis externo e interno, así como diferentes herramientas para la simulación y optimización de procesos se imparte, desde hace ya 30 años en pregrado de la carrera Ingeniería Metalúrgica en el marco de las asignaturas "Sistemas de Ingeniería" en el plan C de esa carrera y, actualmente, en la asignatura Modelación y Simulación, con contenido ampliado. Elementos básicos del enfoque se imparten actualmente en el marco de la asignatura optativa "Modelación y Simulación" en la carrera de Ingeniería Mecánica. La evaluación de la asignatura se realiza con la aplicación del contenido a sus propios temas de Tesis, vinculados generalmente a investigaciones de profesores de la Facultad.

**A nivel de postgrado**

Curso "Preparación y toma de decisiones de ingeniería" en el currículo de la Especialidad en Metalurgia.
Curso "Sistemas de Ingeniería" que se imparte en la Maestría de Diseño y Fabricación" de la Universidad de Holguín"
Curso "Sistemas de Ingeniería" que se imparte en el Doctorado Curricular de Ingeniería Mecánica, salida "Diseño y Fabricación de la Universidad de Holguín.
Los resultados de investigación básica se han aplicado en numerosas investigaciones de aplicación, incluidas 21 Tesis de doctorado ya defendidas (la del autor principal y otras 20 de las que ha sido tutor) y se encuentran en proceso de aplicación en otros 5 temas a nivel de doctorado que se encuentran en proceso de realización.

**Algunas investigaciones importantes se han desarrollado también asociadas a Tesis de Maestría, entre las que se encuentran:**

1. Ajuste posinomial y signomial mediante la generación de monomiales por métodos de programación no lineal [5]
2. Generación de opciones de destino para semiproductos del acero en las empresas siderúrgicas [15].
3. Diseño y fabricación de un molde metálico para fundición de aluminio, Revista de Ingeniería Mecánica [6].
4. Web-based tool for the decision making in photovoltaic/wind farms planning with multiple objectives [11]

**Algunos temas de investigaciones de aplicación desarrollados en el marco de Tesis de Doctorado defendidos con la aplicación del enfoque.**

1. El método de Selección de Propuestas y sus aplicaciones en la industria metalúrgica. Autor: José Arzola Ruiz, Leningrado,URSS, 1982 [2]
2. Diseño óptimo automatizado de procesos de forja en estampas. Autor: Raúl Santana Milián, Universidad de Holguín, año 1996 [3]
3. Soldadura y embutición por explosión del titanio con el acero 20 K para la fabricación de recipientes a presión. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Autor: Benito Casals, año 1997 [3].
4. Diseño óptimo de la tecnología de lixiviación directa de las menas polimetálicas del yacimiento de Santa Lucía. CUJAE, año 1998 [3]
5. Generación de tecnologías para el maquinado de piezas en tornos con control numérico. Universidad de Holguín, año 1999 [3]
6. Diseño óptimo multi-objetivo de troqueles de corte y punzonado simples y progresivos. Autor: Rolando Simeón Monet, Universidad de Holguin, año 1999 [12]
7. Diseño óptimo multiobjetivo de redes de conductos de climatización. Autor: Alexis Cordovés García, Universidad de Holguin, año 1999
8. Primera etapa del proceso de desarrollo de un hidromotor de alto par: conceptualización y Prototipo Analítico. Autor: Genovevo Morejón Vizcaíno. CUJAE, año 2004,
9. El mineral de manganeso en la producción de aceros al carbono, en hornos de arco eléctrico con revestimiento básico. Autor: Efraím Navas Medina. Universidad de Holguín, año 2007.
10. Diseño óptimo, bajo criterios técnicos y económicos de redes hidráulicas cerradas. Autor: MSc. Jesús Hechavarria Hernández, Universidad de Holguín. Diciembre 2008.
11. Modelación y simulación de la tecnología de ruedas desecantse en climas tropicales. Autor: Tania Carbonell, CUJAE, 2008.
12. Conciliación bajo criterios múltiples de secuencias de trabajo de talleres de maquinado de piezas. Autor: Alberto Antonio Fiol Zulueta, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), 2009.
13. Compensación de potencia reactiva bajo criterios múltiples. Autor: Iliana Antonia González Palau, San Petersburgo, [16]
14. Optimización multi-objetivo de los parámetros tecnológicos del doblado de tubos por el método de arrastre. Author: Jorge Luis Hurtado Ortega, Universidad Politécnica Territorial del Estado de Aragua, Venezuela, 2012.
15. Optimización de las características técnicas básicas de conjuntos tractivos para el transporte de la cosecha azucarera. Autor: Vladimir Álvares Sánchez, Universidad de Holguín, 2013.
16. Distribución y corte óptimos de piezas de configuración irregular en chapas, Universidad de Holguín, 2017 [17]
17. Modelado matemático de la operación del proceso de vaciado continuo del acero en instalaciones radiales. Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), 2017.
18. Selección óptima de instalaciones de generación de energía en territorios aislados de la red. Autor: Valente Ribeiro Muhongo (Angola), 2019
19. Selección óptima de materiales del recubrimiento refractario de cazuelas metalúrgicas. Osmel Martinez, CUJAE, 2021

20. Modelado matemático del dimensionamiento y selección óptimos de sistemas de bombeo eolo – eléctricos. José Augusto Medrano, CUJAE, 2021
21. Tecnología para el transporte multi-objetivo mediante métodos híbridos de optimización. Autor: Manuel Enrique Coloma Salazar, Holguin, 2024
22. Selección de hornadas para su laminación en talleres de perfiles en fábricas siderúrgicas. Caso de Estudio Empresa Antillana de Acero. Autor: Denis Zambrano Oetiz, CUJAE, 2024

## 5. CONCLUSIONES

Se han creado las condiciones para iniciar un proceso de introducción en las diferentes carreras tecnológicas en la CUJAE y otras universidades del país y el exterior a través de su impartición en las diferentes carreras y en programas de maestría y doctorado.

## Algunos reconocimientos recientes, proyectos principales y evento dedicado al tema.

Se ha obtenido 2 Premios de la ACC, la orden Carlos J. Finlay,
Premio al resultado de mayor impacto científico en las Ciencias Técnicas del año 2021 en la Universidad Tecnológica de La Habana: Aportes metodológicos al análisis y la síntesis de sistemas de ingeniería
Distinción Especial del Ministro del MES 2020 por Investigaciones
Se han captado 2 proyectos europeos (coordinación académica de un Proyecto ALFA de la Union europea y co-coordinación de un Proyecto AECI de España, dos proyectos del MES vinculados a la línea de investigación
Se organiza anualmente el Seminario Euro-Latinoamericano de sistemas de Ingeniería en diferentes ciudades de América Latina y Europa, se han realizado hasta el momento 16 ediciones.

## REFERENCIAS

1. DE WECK O., Roos D., Magee C. (2011): Engineering Systems, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
2. JACHATUROV, V. (1989): Métodos matemáticos de la programación regional (en ruso), Ed. Nauka, Moscú.
3. ARZOLA-RUIZ J- (2012): Sistemas de Ingeniería, 2da edición. Editorial Félix Valera.
4. ARZOLA-RUIZ J. (2015): Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería. Bibliomaster.com
5. ANTÓNIO-MAGAIA N., I. Alemán-Romero, J. Arzola-Ruiz, O. Martínez-Valdés (2017): Ajuste posinimial y signomial mediante la generación de monomiales por métodos de programación no lineal. Revista Investigación Operacional, V. 38, N5, 525-536.
6. MIR–LABRADAI V. M., García-Hernández T., Parada-Expósito A., Arzola-Ruiz J., Monzon-YepeI (2023): Diseño y fabricación de un molde metálico para fundición de aluminio, Revista de Ingeniería Mecánica, 26(1).
7. BORRERO-NENINGER J. C., Oliva-Merencio D., Arzola-Ruiz J. (2024): Diseño de planta para la codigestión anaerobia de residuales vinaza-cachaza de la industria azucarera, Minería y Geología, v.39 n.4, p. 252-266.
8. COLOMA-SALAZAR, M. E., Arzola Ruiz, J., Marrero Fornaris, C. E., (2022): La gestión de la distribución y la planificación de rutas en el sector empresarial cubano. Revista Universidad y Sociedad, 14(5), 357-368.
9. ARZOLA-RUIZ, J. Luis Enrique García-Marrero 2021): Generación de opciones de juegos de cilindros en talleres de laminación de perfiles, Ingeniería, 24(2): p. 1-14.
10. Jiménez-Sánchez D. y Arzola-Ruiz J. (2021): Generación de opciones de destino para semiproductos del acero en las empresas siderúrgicas, Investigación & Desarrollo, V. 21, NO. 1: 99 – 108 199.

11. GARCIA-MARRERO L. E. y Arzola-Ruiz J. (2021): Web-based tool for the decision making in photovoltaic/wind farms planning with multiple objectives, Renewable Energy, 179, pp. 2224-2234
12. SIMEÓN-MONET, R., Arzola-Ruiz J. (2021): Genetic algorithms for the optimal multi-objective design of simple and progressive cutting and punching dies. sinergias en la investigación en stem, editorial área de innovación y desarrollo, s.l., Sevilla (capítulo de libro).
13. MEDRANO-HERNANDEZ J.A., Moreno-Figuerodo C., Arzola-Ruiz J. (2021): Multi-criteria modeling for the selection of centrifugal pumps driven ny wind turbines, PJAEE, 18 (08).
14. ZAMBRANO-ORTIZ D. J. , Arzola-Ruiz J., Litardo-Velásquez R. M., Ashger I. (2021): A human-computer interaction (hci) approach for the optimal generation and selection batches destination options in steel making factories. In advances in neuroergonomics and cognitive engineering, springer (capítulo de libro y publicación indexada en Scopus)
15. JIMÉNEZ-SÁNCHEZ D., Arzola-Ruiz J. (2021): Generación de opciones de destino para semiproductos del acero en las empresas siderúrgicas, investigación & desarrollo, vol. 21, no. 1: 99 – 108
16. ASHGER U., Arzola-Ruiz J. Gonzalez Palau I. (2020): "Multi-level Optimization of Reactive Power Compensation in Industrial Nets with Heuristic Modelling Techniques". Memorias de AHFE 2020, In Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering, Memorias de AHFE 2020, 11th International Conference on Applied Human Factors in Decisions making.
17. ARZOLA-RUIZ J., Michel-Aleaga A., García-Cordovés A. Ashger U. (2920): Using Adaptive Integration of Variables Algorithm for Analysis and Optimization of 2D Irregular Nesting Problem, In Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering, Memorias de AHFE 2020, 11th International Conference on Applied Human Factors in Decisions making.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESCOMPOSICIÓN DE LA TAREA DE SELECCIÓN ÓPTIMA DE HORNADAS EN LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA

**José Arzola Ruiz[1], Denis Zambrano Ortiz[2]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, Dpto de mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica,
[2]Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Ingeniería Industrial, Ecuador.
[1]e-mail: josearzolaruiz1945@gmail.com

**RESUMEN**

El objetivo de la generación de opciones de destino de las hornadas procedentes del vaciado continuo del acero para la producción de perfiles de acero finales en los talleres de laminación es próximo a la obtención del mínimo exceso de sus propiedades con respecto a las normadas. El análisis sistémico de la función de producción en las fábricas siderúrgicas permite formular adecuadamente el modelo conceptual bi-nivel de optimización de la tarea relacionada de toma de decisiones. Este modelo se somete a descomposición in submodelos de generación de opciones de destino, como una tarea discreta y estocástica de optimización y una tarea de selección de hornadas para satisfacer las demandas de venta. Se presentan los esquemas de solución de las tareas de generación de opciones y de selección de hornadas. Para la adecuación de las tareas de optimización a las condiciones reales, se desarrolló un procedimiento heurístico, el que se valida mediante su comparación con las soluciones óptimas exactas.

**PALABRAS CLAVES:** Toma de decisiones, descomposición de tareas de optimización, sistemas de ingeniería, producción de acero.

## DECOMPOSITION OF THE OPTIMAL SELECTION HEATS DESTINATION OPTIONS IN STEELMAKING PRODUCTION

**ABSTRACT**

The objectives of the destination options generation of the semi-products heats coming from the continuous casting installations for the production of finished steel profiles in lamination workshops are close to the minimum of the excess of mechanical properties respecting its normed values in the steel industry. The systemic analysis of production function in steel factories allows to formulate the conceptual bi-level optimization model formulation of the related decision-making task. This model is submitted to decomposition in sub-models of the heat's destination options generation, as a discrete stochastic optimization and the selection of the heats to satisfy the sales demand sub-tasks. Solutions outlines of the generation and selection stages are also presented. For the adaptation the optimization tasks to real situations, a heuristic procedure is proposed and validated by it comparison with exact optimal solutions.

**KEY WORDS:** Decision making, decomposition of optimization tasks, engineering systems, steel making production.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de perfiles ligeros involucre la fundición y el afino del acero (FA), el vaciado continuo (VC) y los propios de los molinos de laminación de perfiles (MLP). Production scheduling plays a critical role in improving productivity and reducing as possible production costs. La programación de la producción juega un papel crítico en el incremento de la productividad y la reducción de los costos de producción. Para ser eficiente, la programación debe involucrar a todo el proceso FA-VC-MLP, incluyendo la producción de hornadas (FA), la selección de lotes para satisfacer las órdenes de suministro entre los lotes de palanquillas en proceso de vaciado continuo (VC) o en los almacenes para ser laminadas en los molinos de laminación (MLP). En figura 1 se ilustra la estructura productiva de una fábrica siderúrgica de ciclo incompleto, para la producción de perfiles de acero.

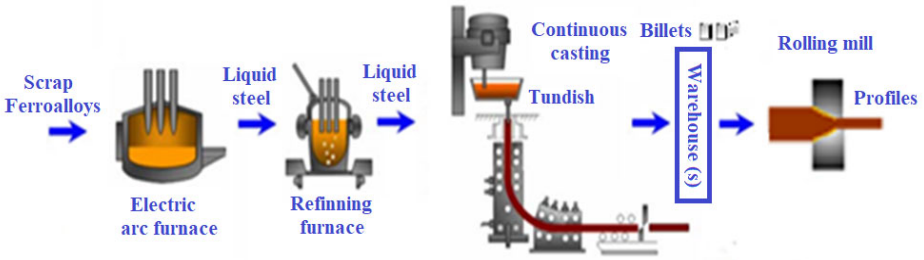



Figura 1. Ilustración del proceso integrado de producción en los complejos FA-VC-MLP

La hornada es la unidad básica de `producción (un trabajo del programa) de la producción siderúrgica. En las últimas décadas han aparecido numerosos trabajos vinculados a la secuenciación de la producción de los complejos FA-VC-MLP. Tang et al. [1] aportan una revisión de sistemas de sistemas de planeación y secuenciación para plantas siderúrgicas integrqdas, incluyendo métodos de Inteligencia Artificial, Sistemas Expertos y Programación con Restricciones, en [2] se propone a un enfoque de descomposición de pasos múltiples para la secuenciación de la producción siderúrgica que incluye el complejo e FA-VC-MLP completo, donde se determina la necesidad en la conciliación de decisiones por todas las etapas de producción; Zhang and Tang introducen en [3] programación por un modelo de tiempo discreto utilizando un algoritmo de relaxación del Lagrangiano basado en el método del sub-gradiente que incluye restricciones a la disponibilidad de energía y la minimización del consumo energético, el que fue posteriormente mejorado por Mao et al [4]. En [5] el problema de planeación del conjunto FA-VC se enfrenta utilizando métodos de la Programación Matemática y heurísticos. Aunque Jia et al y otros autores en [6] modelan el problema de la programación de la producción en los molinos de laminación de perfiles por el esquema de la tarea del agente viajero, o próxima a ella, Arzola-Ruiz J. [7] muestra, que ésta constituye una tarea mucho más compleja que la del agente viajero. Tang, L y Liu G. [8] proponen un modelo determinístico de programación lineal mixta entera-discreta para la programación de las órdenes de producción sobre las operaciones críticas que constituyen cuellos de botella para la programación de la producción una planta específica de producción de acero. T., Zhang Un componente importante del programa de producción está constituido por la asociación entre los productos intermedios y finales en las órdenes de los clientes. Zhang T., Zhang Y. y Panos M, en [9] presentan un esquema de solución propio para enfrentar esta asociación. La asociación de las órdenes de los clientes con la producción en proceso (hornadas de palanquillas), para secuencias de producción previamente establecidas son enfrentadas en [10] y [11] y mejoradas en el presente artículo.

En loa trabajos [12] y [13], Ashby determina como mejores opciones de selección de materiales aquellas en las que se utilizan con mayor plenitud sus propiedades, es decir, aquellas en que se minimiza el exceso de propiedades, asegurando los valores requeridos de éstas para el cumplimiento de la designación de servicio. A partir de los trabajos básicos de Ashby muchos autores han desarrollado ideas específicas para la solución de tareas concretas. Así, Melouk W. Melouk S, Freeman D, Miller M, [13] utilizan técnicas de simulación para estudiar el comportamiento de aceros en estructuras, utilizando el criterio de minimizar el exceso de propiedades obtenidas por simulación con respecto a las requeridas en el diseño de la estructura. Bin [14] apply simulation techniques for

studying the behavior of materials for structures using the criterion of minimizing the excess of the obtained properties respecting the required ones.

Gran parte de la bibliografía dedicada a la gestión de procesos y productos en las empresas siderúrgicas aborda la importancia de la precisión en la toma de decisiones; sin embargo, muy pocos estudios [ 7. 13 ] abordan este problema basándose en enfoques metodológicos para el análisis de sistemas aplicados a la operación en tiempo real. Según estos trabajos, las tareas de toma de decisiones en las organizaciones se descomponen espacialmente: el sistema de toma de decisiones de todo el objeto dirige todos los elementos que lo conforman. En cada nivel de descomposición espacial, tiene lugar la descomposición por funciones, y en cada nivel de descomposición funcional, se realiza la descomposición en el tiempo. Como resultado, ha surgido una jerarquía de tareas decisorias interrelacionadas dentro de la misma estructura del sistema. La descomposición espacial de las tareas decisorias determina la existencia de un sistema decisorio de toda la organización, de sus tareas subordinadas y de un sistema decisorio local que participa en la producción material. La descomposición por funciones permite distribuir racionalmente la tarea por subsistemas. Este proceso de producción se resume en la preparación de determinados recursos para su transformación en producción terminada por parte de la función de ventas. Los recursos se clasifican en funciones materiales, técnicas, humanas y financieras. De este modo, el sistema de toma de decisiones de toda la empresa se descompone en los sistemas funcionales que permiten gestionar las decisiones relativas a los recursos materiales, técnicos, humanos, financieros, de producción y de ventas. La descomposición en el tiempo de cada una de estas funciones determinan las tareas a ser solucionadas.

Las tareas de generación y selección de calendarios forman parte del proceso global de planificación. Los sistemas de toma de decisiones de los talleres elaboran los gráficos de producción, teniendo en cuenta sus objetivos y limitaciones funcionales. El programa del sistema empresarial se selecciona a partir de la combinación de las propuestas procedentes de los talleres, teniendo en cuenta sus propios objetivos y limitaciones. Los sistemas operativos de la fábrica y de los talleres (sistemas de expedición) reciben en tiempo real las acciones de decisión y deben decidir qué calores, del conjunto de los disponibles, deben asignarse a cada pedido de cliente de forma que se satisfagan los objetivos empresariales. En la figura 2 se ]estala jerarquía de tareas correspondientes (ver [7], [10]).

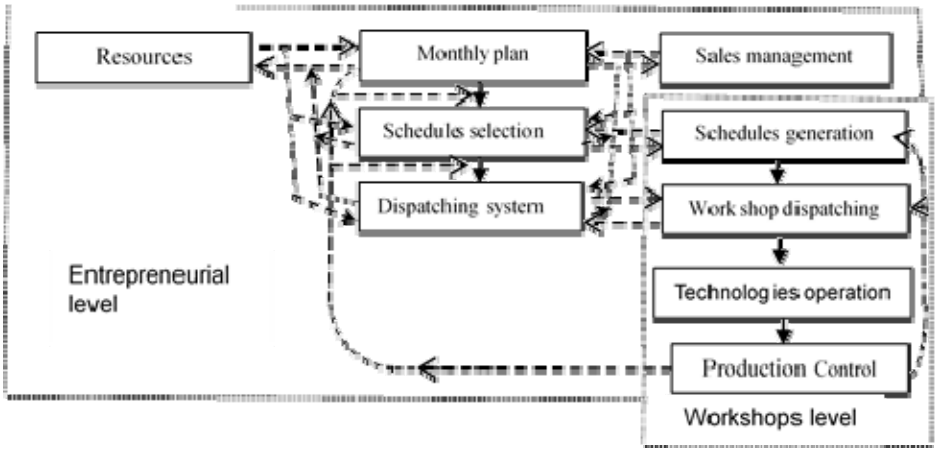



Figura 2. Jerarquía de tareas de planeación de la producción asociada al problema de la secuenciación de la producción en la industria siderúrgica

A partir de los pedidos no satisfechos de los clientes, se elaboran y rectifican periódicamente las órdenes de producción para todos los talleres de la empresa y. a partir de las propiedades de la producción final resultante, se seleccionan los calores para la asignación a satisfacción de los pedidos de los clientes [ 9 ]. Por otro lado, las propiedades mecánicas del acero no dependen directamente del tipo de acero, sino de la composición química obtenida y de los regímenes de deformación y térmicos asociados a la producción del perfil en el proceso de laminación. Así, el sistema de gestión de la producción debe asignar la orden de producción en función de la composición química considerando el régimen tecnológico asociado al destino designado. Una vez concluido el proceso de laminación de cualquier calor, se obtiene la información sobre las propiedades reales, se deciden los

pedidos de clientes a satisfacer y se rectifican las órdenes de producción para los pedidos de clientes restantes, según la figura 3.

| |
|---|
| aún no satisfechas de los clientes |
| Ordenes de producción para cada taller del complejo FA-VC-MLP |
| adas de palanquillas en proceso |
| lección de hornadas de palanquillas para satisfacer las ordenes de producción |
| rders selection, based on quality control measurements |



Figura .3 Formación de las órdenes de producción.

Análisis Externo de la tarea de destino de las hornadas:
Variables de Coordinación:

Volúmenes de producción de perfiles $p \in P$ con sus grados normados de calidad $g \in G$, para el periodo de tiempo asociado al umbral operativo de planificación (turno, día), correspondientes a los pedidos a satisfacer para toda la empresa $Q_j$, $j \in J = G \times P$

Volumen de producción asignado a cada taller s∈S para el umbral operativo de planificación (turno, día) del perfil en producción establecido en el plan - $TP_S$

Indicadores de Eficiencia:

- Mínimo costo asociado a la determinación de las hornadas asignadas por cada destino, la que se determina por la magnitud del exceso de propiedades con respecto a las normadas por la masa de metal con este exceso, entregadas a los clientes.
- Máxima probabilidad de aseguramiento de las propiedades mecánicas normadas de asociadas al destino (o mínimo riesgo de no aceptación del destino, por el Sistema de Control de Calidad, a partir de los ensayos mecánicos posterior a la laminación).

Ambos indicadores son contradictorios, pues probabilidades próximas al 100% de alcanzar las propiedades requeridas se encuentran para valores muy altos de exceso fe propiedades.

En efecto, el usuario utiliza el acero adquirido estrictamente por las propiedades normadas $R_j^n$, por lo que el exceso de propiedades entregadas $R_j^c - R_j^n$ no aporta valor alguno al cliente. Al mismo tiempo, mientras mayor sea el exceso de propiedades entregadas, el productor incurre en gastos proporcionales a este exceso $h_{ij}\, Pr_j\, (R_j^c - R_j^n)$ y a la masa $P_i$ de la hornada $i$ por concepto de sobreconsumo de materiales, energía y otros gastos mientras que el riesgo de rechazo presupone el valor del riesgo asumido por la diferencia de precios del metal correspondiente al destino inicialmente previsto menos el correspondiente al grado de calidad inmediatamente inferior y a la masa $P_i$ asociada de la hornada, para el mismo perfil (1- $h_j$) $(Pr_j - Pr_j^{inf})$. La minimización de estos gastos se corresponde con la eficiencia que se puede lograr mediante una correcta selección de hornadas por los diferentes destinos.

Variables de decisión:
Destino asignado a cada hornada $i$: taller $s \in S$ donde se ha de procesar del conjunto de hornadas en proceso $i \in I$, perfil $p \in P$ y grado de calidad $g$ que deberá ser asegurado a los clientes que se les asigna metal de esa hornada $g \in G$. En adelante, se utiliza la variable $\Theta_{ispg}$ con valor igual a 1 en el caso que la hornada $i$ se lamine en el taller $s$, en la producción del perfil $p$ para obtener el grado de calidad $g$ y valor 0 en caso contrario. El conjunto de los diferentes destinos de entrega $j$ constituye un elemento del producto cartesiano $J = P \times G$, independientemente del taller donde

se produzca. El destino de producción está dado por el producto $S \times P \times G$, pues al destino de entre se le adiciona el taller $s$ en el que se va producir, en el que se está produciendo un perfil determinado dado, en correspondencia con la programación de producción (scheduling) determinado, por lo que los perfiles a laminar en un momento dado están restringidos por esta programación. Una hornada determinada puede laminarse en no de estos perfiles o esperar para su laminación posterior, de acuerdo a la programación de la producción y a la situación operativa que se presente.

Datos de entrada:
Información referida a la composición química de las hornadas en proceso, parámetros de las ecuaciones que describen el modelo para los talleres de laminación de perfiles, información asociada a las normas que describen las exigencias de los indicadores de calidad, etc.

Restricciones:

- Asegurar el cumplimiento de las entregas de los volúmenes de producción por los diferentes destinos.
- Asegurar la entrega de los volúmenes de producción requeridos $TP_s$ a a cada taller $s$ de laminación, de acuerdo a la situación operativa de cada laminador y a la masa de metal en proceso en el momento escogido por la dirección de producción de la empresa.
- Asegurar, con una probabilidad mayor o igual a un valor dado, el cumplimiento de las propiedades normadas según destino, para todas y cada uno de las hornadas asignadas.

## 2. MODELO MATEMÁTICO CONCEPTUAL

Se requiere definir un compromiso entre la minimización del exceso de todas y cada una de las $r$ propiedades normadas entregadas, por tonelada producida, y el riesgo asumido (probabilidad de rechazo de la hornada una vez laminada, por el sistema de aceptación – rechazo).
En la figura 4 se ilustran los conceptos de valor estimado y asegurado de una propiedad $R$, con la superposición de valores normados de calidad.

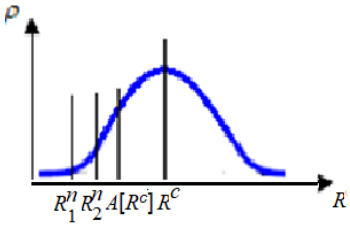



Figura 4 Ilustración de valores calculado, asegurado y normados, estimados según distribución normal

De la expresión (2.1), se deduce la función multi-objetivo dada por (2.1):

Minimizar:

$$Z_k = \sum_i \sum_j \left[ h_{ij}\, Pr_j \left( R_{ij} - R_j^n \right) + \left(1 - h_{ij}\right)\left( Pr_j - Pr_j^{inf} \right) \right] \Theta_{ij}, k = 1,\ldots,r \qquad (1)$$

La función multi-objetivo (1) establece la intención de minimizar las pérdidas económicas totales, por tonelada producida, por concepto de utilización y por concepto de rechazo (determinado por su incumplimiento), con la probabilidad $h_{ij}$ de la propiedad $k$ según el grado correspondiente a la opción de destino $j$ de la hornada $i$, por todos los destinos, todas las hornadas, todas las propiedades (en este caso los límites de fluencia y de rotura).

Por otra parte, el riesgo asumido de incumplimiento de las propiedades se corresponde con gastos adicionales, muy difíciles de cuantificar, asociados a la posible reprogramación de la producción como resultado del posible

rechazo del destino en la fase del control de calidad. Por lo anterior, este riesgo es asumido, en lo adelante, como un criterio independiente en el procedimiento de optimización. Por esta razón la función multi-objetivo (1) se sustituye, en el presente trabajo, por la minimización de las $r$ distancias de Tchebyshev dadas por (2):

$$Z_k = \sum_i \sum_j \sum_s max\left\{ w\frac{\left|A_{h_{ijk}}(R_{ijk}) - R^n_{ijk}\right|}{R^n_{ijk}}, (1-w)\left(1-h_{ijk}\right)\right\}\theta_{ijs} \qquad (2)$$

Las $r$ funciones – objetivos $Z_k$ indican la intención de minimizar la máxima diferencia ponderada entre el exceso del valor asegurado con una probabilidad mayor igual a $h_{ij}$ entregado de la propiedad $k$ con respecto a sus valores normados, normalizado con respecto al valor normado, y los riesgos sumarios asumidos por hornadas (1-$h_{ij}$), para sus destinos seleccionados, de incumplir la propiedad normada para la masa de metal producida por hornadas.

$$A_{h_{ijk}}(R_{ijk}) - \theta_{ijs}R^n_{jk} \geq 0,\ j \in J, k \in K, s \in S,\ i=1, \ldots, m \qquad (3)$$

$$\sum_i \Theta_{ijs}\, P_i \geq Q_j; j \in J_s\ ;\ s \in S \qquad (4)$$

$$\sum_i \sum_j \Theta_{ijs} P_i \geq TP_s; s \in S \qquad (5)$$

$$\sum_s \sum_j \theta_{ijs} \leq 1\ ;\ i = 1, \ldots, n \qquad (6)$$

Las restricciones (3) aseguran que se satisfaga la probabilidad $h_{ij}$ de cumplimiento de las cada una de las propiedades $k$, por cada hornada $i$ asignada al destino $j$.

Las restricciones (4) establecen la obligación de satisfacer el pedido por los diferentes destinos de entrega $j$, diferenciados por cada taller $s$, donde se han de producir. Como las propiedades dependen de la composición química, se trata de los destinos que presuponen el perfil que se está produciendo.

Las restricciones (5) establecen la obligatoriedad de asegurar la tarea productiva establecida a cada taller por el sistema de despacho de la empresa.

Las restricciones (6) establecen que las hornadas en proceso pueden o no ser asignadas a los talleres, pero si lo son puede ser asignada solo para un destino, en un taller.

El modelo matemático conceptual (2) – (6) de la tarea de selección de hornadas debe solucionarse con la frecuencia dada por las decisiones adoptadas operativamente por el Sistema de Despacho de la Empresa; pudiera ser una o más veces por día o incluso por turno. Los conjuntos de opciones $J_s$ están constituidos, para cada taller $s$, por las opciones de destino que presuponen el perfil que se encuentra en producción en ese taller en ese momento para los diferentes grados de calidad que son demandados por el servicio de entrega en el momento dado. Los volúmenes $\sum_{j \in J_s} Q_j$ los selecciona operativamente el sistema de despacho atendiendo a la demanda del Sistema de Entrega de la producción terminada a satisfacer.

La tarea productiva al taller lo establece el sistema de despacho de la empresa de acuerdo al periodo de tiempo para el cual se establece, la situación productiva operativa que se presente, los inventarios de hornadas en el taller, etc.

El valor de la probabilidad de aseguramiento de la propiedad normada $h_{ikj}$ de la hornada $i$ según destino $j$ , para cada propiedad $k$, se calcula a partir de la distribución normal estandarizada, con valor medio igual a 0 y dispersión igual a 1, considerando que el valor de la propiedad $R$ se distribuye normalmente alrededor del valor calculado por el modelo, con valor medio y error estándar iguales a los del modelo empleado (Walpole R. E. et al. 2012):

$$h_{ijs} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-t^2} dt \qquad (2.7)$$

Donde la variable normalizada $z$, para cualquier propiedad, cualquier destino, cualquier hornada, en cualquier laminador, se calcula por $z = \frac{R^n_{jk} - R^c_{ijk}}{S}$

Suponiendo tan solo 3 talleres de producción, con 10 perfiles, 6 normas de calidad, 2 propiedades se tendría una tarea de optimización multi-objetivo, discreta y estocástica, con 360 variables $\Theta_{ijs}$. La consideración de $h_{ijk}$ como variable en el modelo la convierte en tarea multi-objetivo mixta discreto-continua y estocástica. Aunque la utilización de las heurísticas modernas pudiera permitir enfrentar su solución, se hace posible y necesaria su descomposición en tareas interrelacionadas. Esta necesidad se determina por el hecho que la asignación de hornadas por los diferentes destinos y talleres se realiza en tiempo real, día por día, entrega tras entrega, y el mismo plan de entregas se rectifica periódicamente, lo que obliga a la toma de decisiones en tiempo real. En otras palabras, las potenciales propiedades de las hornadas para los posibles destinos son evaluables al momento de su vaciado, mientras que su asignación a los talleres de laminación se realiza de acuerdo a las hornadas disponibles al momento de su asignación, en correspondencia con las entregas a ser satisfechas.
La estimación de las propiedades mecánicas de las hornadas se realiza por redes neuronales artificiales de base radial, de acuerdo a los resultados, en comparación con las estructuras de modelos.

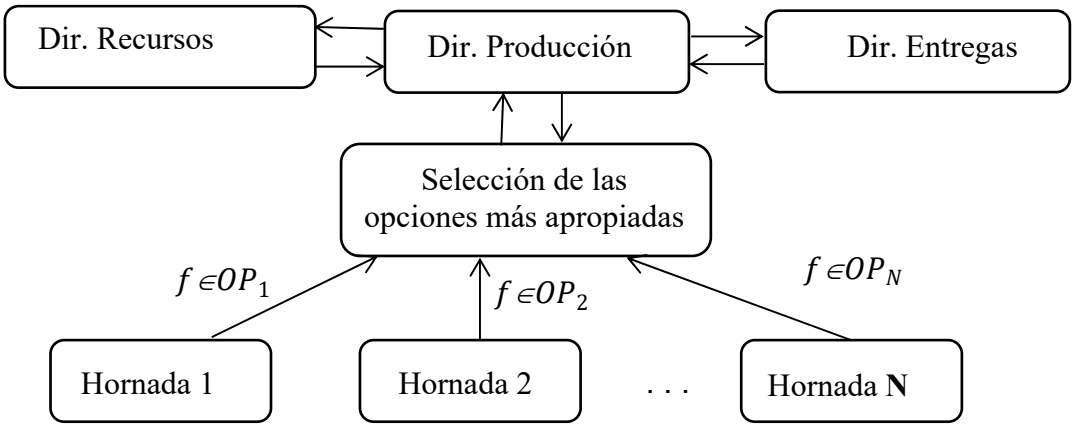



Figura 5. Esquema general de descomposición de la tarea de destino del metal

A partir de la información estadística de 20 años de trabajo de Antillana, fueron elaborados modelos descriptivos lineales (Lin.), cuadráticos (Cuad.), signomiales (Sign.) y de redes neuronales artificiales radiales de los límites de fluencia y de rotura en los talleres 250 y 300, cuyos indicadores Coeficiente de determinación ($R$) y error estándar ($S$) se muestran en las tablas 1 y 2..

Tabla 1. Indicadores de calidad de los modelos descriptivos de propiedades en el taller 250

| 250 | Límite de fluencia, Re | | | | Límite de rotura, Rm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lin. | Cuad. | Sign. | RNA | Lin. | Cuad. | Sign. | RNA |
| S | 1.84 | 1,83 | 1,81 | 0,75 | 2.53 | 2.48 | 2,41 | 0,79 |
| $R^2$ | 81 | 85.11 | 82,72 | 98,1 | 89,53 | 85,11 | 87 | 97,5 |

Tabla 2. Indicadores de calidad de los modelos descriptivos de propiedades en el taller 300

| 300 | Límite de fluencia, Re | | | | Límite de rotura, Rm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lin. | Cuad. | Sign. | RNA | Lineal | Cuad | Sign | RNA |
| S | 1.75 | 1,74 | 1,73 | 0,83 | 2.53 | 2,51 | 2,48 | 0,89 |
| $R^2$ | 85.4 | 85,6 | 86,1 | 97,1 | 89,53 | 89,69 | 91,1 | 96,8 |

Se desarrollaron los softwares para la generación de opciones (GENOPC) y de Selección de hornadas (SELHOR) para la solución de las tareas correspondientes a ambas etapas de solución del modelo matemático (3) – (7).

## 3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El efecto económico por concepto de exceso de propiedades dado por la expresión (1) está constituida por la reducción del consumo de ferroaleaciones requeridas, además de la reducción del tiempo requerido para elevar las propiedades que se obtienen en exceso como resultado del destino correspondiente a las propiedades que realmente pueden entregar las palanquillas de acuerdo a la composición química y por la reducción de hornadas rechazadas por el sistema de aceptación rechazo por el incumplimiento de las propiedades normadas de las hornadas ya laminadas.
Aunque la probabilidad de aseguramiento de las propiedades puede variar desde el 70 % en adelante, se parte del supuesto de asegurarlas al 95 % de probabilidad. Según los resultados obtenidos del exceso de Re requerido en los talleres 250 y 300 para asegurar un 95 % de probabilidad de obtener las propiedades normadas se tiene, respectivamente:
Para el taller 250, exceso máximo requerido $\Delta Re = 1,64*1,49 = 2.44$ kgf/mm$^2$
Para el Taller 300, exceso máximo requerido $\Delta Re = 1,64*1,084 = 1,77$ kgf/mm$^2$
Promedio de exceso requerido para ambos talleres: $(2,44 + 1,77)/2 = 2,105$ kgf/mm$^2$. Razones organizativas pueden determinar un incremente de este exceso por razones de disponibilidad de hornadas para satisfacer la demanda operativa, por lo que consideramos un incremento adicional del 10 % por estas razones. Así, se considera un potencial de incremento de límite de fluencia con respecto al valor normado igual a $2,105 * 1,10 = 2,3155$ kgf/mm$^2$
Ahorro potencial de exceso de límite de fluencia esperado como resultado de introducción de la generación de opciones de destino: $6 – 2,3155 = 3,6845$ kgf/mm2
Costo de por concepto de ferroaleaciones para elevar en 1 Kgf/mm$^2$ el límite de fluencia
Composición de Mn para lograr G-40: 0,7 – 0,9
Composición de Mn para lograr G-60: 1.3 – 1,65
Diferencia media del Manganeso: 1.475 – 0.8 = 0.675
Adición de SiMn para elevar en 0.675 el contenido de Mn en una hornada:
0.675 x 100 / 0.1 = 675 Kg de SiMn / hornada
Costo por hornada 675 x 634 /1000 = 427.95 dólares por hornada
Costo por tonelada 427,95 / 50 toneladas laminadas = 8.56 dólares / ton de acero laminada.
Costo por tonelada para elevar en 1 kgf./ mm2 : 8.56 /10 = 0.856
Incremento de costo por concepto de exceso de ferroaleaciones para el logro del exceso de límite de fluencia con respecto al requerido 3,6845 *0,86 = 3,16867 $/ton.

**Resultados e impacto**

En el periodo 1987-2019 han sido introducidos resultados parciales expuestos en el presente trabajo, sobre los que se ha construido todo el sistema de Control de Calidad de Antillana. La introducción de todo el trabajo se hace posible mediante su inserción total en el sistema de Control de Productos en proceso, incluida toda la relación propuesta entre el sistema de Entregas, Sistema de Dirección de la Producción-Sistema de Control de Calidad de la Empresa. Así mismo se trabaja para la introducción de estos resultados en Acinox Tunas.

## 4. CONCLUSIONES

• La selección de opciones de destino constituye una tarea de selección de materiales, estudiada con éxito por reconocidos autores y es parte de la tarea general de dirección de la producción y, como tal, debe de insertarse adecuadamente en la jerarquía de tareas de esta función.
• La modelación matemática de la toma de decisiones de selección de hornadas derivada del análisis externo e interno admite su descomposición en una estructura jerárquica participativa, la que consta de las etapas de generación de opciones de destino y la posterior selección, entre las opciones generadas, de aquellas que satisfacen un sistema de preferencias para toda la empresa siderúrgica.
• La modelación de las propiedades mecánicas y de la probabilidad de rechazo de las hornadas una vez concluido el proceso de laminación requiere del uso de modelos no lineales, incluidas las redes neuronales artificiales.
• El algoritmo propuesto para la solución del modelo permite generar opciones de destino que facilitan la reducción del exceso de propiedades y a la reducción del número de hornadas con destino rechazado.
•Los sistemas de generación y selección de opciones se integran conceptualmente al sistema de despacho de la empresa siderúrgica y, por tanto, al de control de producción de los talleres de producción.
• El destino racional de las hornadas condiciona el logro de impactos económico y medioambiental significativos.

## REFERENCIAS

1. Tang L., Liu J., Rong A. and Yang Z.: A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production. European Journal of Operational Research l33, l–20 (200l).
2. Harjunkoski, I. and Grossmann, I. E.: A decomposition approach for the scheduling of a steel plant production, Computers & Chemical Engineering, 25, 11, 1647-1660, (2001)
3. Zhang, Y. and Tang, L.: Production Scheduling with Power Price Coordination in Steel Industry. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp- 28-31 (2010)
4. Mao K., Pan Q.-K., Pang X. F., and Chai T. Y.: A novel Lagrangian relaxation approach for a hybrid flowshop scheduling problem in the steelmaking-continuous casting process. Eur. J. Oper. Res., vol. 236, no. 1, pp. 51–60 (2014).
5. Pan Q.-K.: An effective co-evolutionary artificial bee colony algorithm for steelmaking-continuous casting sched-uling. Eur. J. Oper. Res., vol. 250, no. 3, pp. 702–714 (2016).
6. Jia S., Zhu J., Yang G., Yi J., and Du B.: A decomposition-based hierarchical optimization algorithm for hot rolling heat scheduling problem. Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 61, pp. 487–501 (2012).
7. Arzola-Ruiz J.: Selection of Proposals. Científico-Técnica Publishing House, Havana (1989).
8. Tang L. and Liu G.: A mathematical programming model and solution for scheduling production orders in Shanghai Baoshan Iron and Steel Complex. European Journal of Operational Research 182 1453–1468 (2007).

9. Zhang T., Zhang Y., Panos M,, A hybrid particle swarm optimization and tabu search algorithm for order plan-ning problems on steel factories based on the make-to-stoke and make-to-order management architecture. Journal of Industrial and Management Optimization, 7, 1 pp 31-51 (2011).
10. Arzola-Ruiz J.: Sistemas de Ingeniería, 2nd. Edition. Felix Varela Publishing House, Havana (2012).
11. Zambrano-Ortiz D. J., Arzola-Ruiz J. Litardo-Velásque R. M.: Generación y selección óptima de opciones de destino de hornadas en fábricas siderúrgicas. Ingeniería Mecánica, 102, 3, La Habana (2020).
12. Ashby, M.F.: Materials Selection in Mechanical Design. 4th ed. USA: Elsevier, 646 p.p. 230-245. (2011).
13. Ashby, F. M., Shercliff, H., &Cebon, D.: Materials: Engineering, science, processing and design. Second Editions. Butterworth-Heinemann, Elsevier 13 (2010).
14. Melouk S, Freeman D, Miller M, et al. Simulation optimization based decision support tool for steel manufacturing. Int. J. Production Economics. 2013; 141 :269–276. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.001Bin, W.: CAD Interaction with CAPP. Manufacturing Systems Design and Analysis, 2nd edition. Ed. Chapman & Hall, Brunel University, Uxbridge (2017)
15. Jiménez-Sánchez D., Arzola-Ruiz J.: Regularized neural networks applied to the estimation of the mechanical properties of steel profiles, Ingeniería Mecánica. Vol. 20. No. 3, p. 115-121 (2017).

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY cujae

# DESARROLLO DE MATERIAL COMPUESTOS DE TEJIDO DE FIBRAS DE HENEQUÉN CON MATRIZ DE PEBD

**Daniel Díaz Batista[1], Adrián Alberto Barreras González[2], Francisco Rolando Valenzuela Díaz[3], José Luis Valín Rivera[4].**

[1]Cujae, Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [2] Departamento de Aeronaves, Centro de Adiestramiento Aeronáutico "Capitán Fernado Álvarez" (CAA), Corporacion de la Aviación Cubana S.A. (CACSA), La Habana, Cuba, [3] Universidad de Sao Paulo (USP), SP, Brasil, [4] Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). Valparaíso, Chile.

[1]e-mail: danieldiaz@mecanica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Se presenta la obtención de laminados de material compuesto de fibras tejidas de henequén, a partir del prensado en caliente con una matriz polímerica termoplástica. En el trabajo se evalúa el comportamiento de las fibras tejidas en el proceso de obtención de los laminados. El material compuesto obtenido presenta una mejora de las propiedades de resistencia y rigidez en las distintas direcciones, alcanzándose una resistencia en la dirección principal de unos 21 MPa y en la dirección de 45° unos 12 MPa aproximadamente. Estos resultados se consiguieron con la incorporación de apenas un 20% en peso de la fibra de henequén. Se muestra una comparación del comportamiento mecánico del material con respecto a las propiedades obtenidas con otros materiales conformados por fibras de estas agaváceas. Se muestran los procesos de obtención de los tejidos y la instalación experimental para la obtención del laminado.
.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DEMOSTRACIÓN EFECTIVA DE RESONANCIA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D Y MECÁNICA COMPUTACIONAL

**J. Flores Méndez[1], Gustavo M. Minquiz Xolo[1], Fernando Medina Pérez[1], J. Luis Ruiz Escamilla Sandoval[1], María Claudia Denicia Carral[2], José A. Luna López[2]**

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Puebla, Av. Tecnológico No. 420, Maravillas, C.P. 72220, Puebla, Pue, México.

[2]Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Ciudad Universitaria, Blvd. Valsequillo y Esquina, Av. San Claudio s/n, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue, México.

e-mail: javier.flores@puebla.tecnm.mx

**RESUMEN**

En este documento se describe una herramienta de enseñanza ideal para fines de demostración dentro del aula o entorno de laboratorio. Se basa en la respuesta dinámica simple de voladizos flexibles a partir del principio de un tacómetro de láminas vibrantes. Utilizando una impresora 3D, estas ideas abarcan convenientemente el fenómeno de la resonancia en el cual todos los voladizos de una longitud similar responden en armonía cuando solo uno de ellos es excitado a una fuerza determinada.

**PALABRAS CLAVES:** Vibraciones mecánicas, Resonancia, viga en voladizo, impresión 3D, mecánica computacional.

**ABSTRACT**

This document describes a teaching tool ideal for demonstration purposes within the classroom or laboratory environment. It is based on the simple dynamic response of flexible cantilevers from the principle of a vibrating plate tachometer. Using a 3D printer, these ideas conveniently encompass the phenomenon of resonance in which all cantilevers of a similar length respond in harmony when only one of them is excited at a given force.

**KEY WORDS:** Mechanical vibrations, Resonance, cantilever beam, 3D printing, computational mechanics.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diapasón se usa rutinariamente como un resonador acústico. Proporciona un medio conveniente de producir un sonido de cierto tono, y por lo tanto presenta oportunidades de calibración, no solo en instrumentos musicales. El concepto de resonancia se explota en una variedad de contextos en aplicaciones científicas, incluyendo AFM (Microscopía de Fuerza Atómica) [1,2], MRI (Imagen de Resonancia Magnética) [3], circuitos eléctricos [4], láser y óptica [5] y nanotecnología [6]. Como fenómeno físico fundamental, juega un papel clave en la enseñanza de las vibraciones. En este breve artículo, describimos el uso de una impresora 3D para facilitar una demostración efectiva de resonancia. El dispositivo es autónomo y no necesita involucrar cualquier medida, ya que la demostración puede basarse en una apreciación puramente visual.

Muchas demostraciones convencionales de resonancia implican el uso de una variable (no trivial) dispositivo o señal de conducción de frecuencia, pero el sistema descrito en este documento implica solo ideas simples, observación directa y una impresora 3D.

La rigidez de flexura de cualquier elemento estructural delgado depende del tipo de material y propiedades geométricas, pero especialmente de la longitud del miembro, ya que la frecuencia natural tiende a escalar con la inversa de la longitud al cuadrado [7]. Por ejemplo, reducir a la mitad la longitud de un voladizo

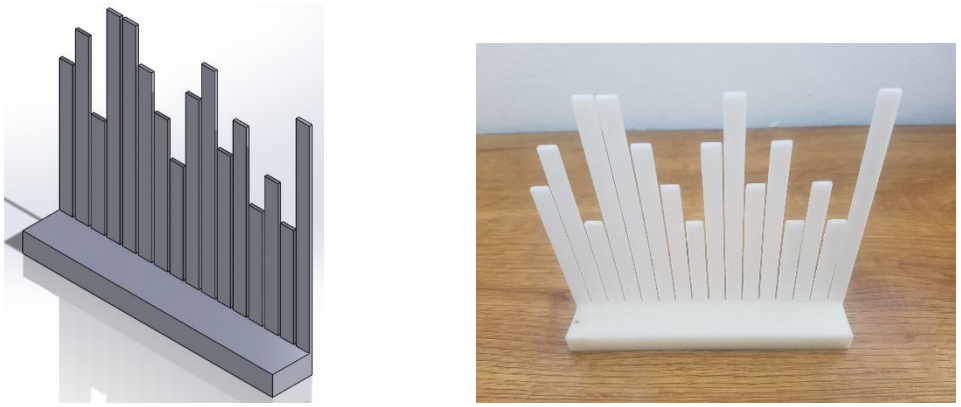
típicamente cuadruplicará la frecuencia natural. Un sistema elástico continuo posee un número innato de frecuencias y formas de modo, pero aquí nos centraremos en la frecuencia más baja en la vibración de flexión de los voladizos prismáticos, es decir, miembros en los que las propiedades de la sección transversal son constantes a lo largo de toda la longitud.

Por lo tanto, dado que todas las dimensiones de diversos voladizos pueden ser impresas con un alto grado de precisión y usando el mismo material, entonces es relativamente fácil aislar un solo parámetro de cambio – la longitud. Se puede explorar un análisis detallado basado en la ecuación diferencial parcial del movimiento, y tales sistemas también son susceptibles para aproximar análisis como Rayleigh-Ritz, dicho análisis queda pendiente para otra investigación.

La impresión 3D ha proporcionado un medio útil para explorar la rigidez y las frecuencias naturales de las estructuras de los aviones [8,9], y dada la ubicuidad de las impresoras 3D, no es sorprendente que los componentes impresos en 3D pueden proporcionar un papel útil en el campo de la enseñanza en física y la ingeniería. Puede haber deficiencias con algunas de las propiedades mecánicas del ABS, termoplástico utilizado por muchas impresoras 3D, por ejemplo, con la visco-elasticidad y precisión en el módulo de Young [10], pero estos son mínimos para una sola pieza impresa.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se diseña y construye un resonador armónico conformado por voladizos flexibles, manufacturado con material ABS (ver Fig. 1). El prototipo didáctico está conformado por 4 grupos de barras de diferente longitud: 105 mm, 87.5 mm, 70 mm y 52.5 mm. Todas con sección transversal rectangular de 1.51×7 mm. Las propiedades mecánicas del ABS son: Densidad=1060 kg/m$^3$, Módulo de Young=2275 MPa, Coeficiente de Poisson=0.35, Módulo de Bulto=2.52 GPa, Módulo de Corte = 842.59 MPa, Resistencia última a la tensión=40 MPa y Resistencia de fluencia a la compresión=65 MPa.



(a) (b)

Figura 1: Diseño en CAD de un resonador armónico de voladizos flexibles (a) e impresión 3D en ABS del modelo (b).

Analíticamente la frecuencia natural de un voladizo flexible se determina mediante la ecuación [11]:

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi}\sqrt{\frac{EIg}{wl^4}}\ , \qquad (1)$$

donde $E$ es el módulo de Young, $g$ la fuerza de gravedad, $l$ la longitud de la barra y $K_n$ es un factor que se refiere al modo de vibración (ver Tabla 1) y $w$ es la carga por unidad de longitud, incluyendo el peso de la barra y se define por:

$$w = hb\delta g\ , \qquad (2)$$

donde $h$ es la altura (1.51 mm), $b$ el ancho de la sección transversal (7 mm) y $\delta$ la densidad de masa del material de la barra en voladizo. La variable $I$ en (1) es el segundo momento de inercia de la sección transversal, para una sección rectangular se determina mediante:

$$I = \frac{bh^3}{12} \ . \tag{3}$$

Tabla 1: Factores para los primeros 5 modos de vibración de una viga en voladizo.

| **Modo de Vibración** | **$K_n$** |
|---|---|
| 1 | 3.52 |
| 2 | 22 |
| 3 | 61.7 |
| 4 | 121 |
| 5 | 200 |

Para cada barra de diferente longitud, se aplica la fórmula (1) para determinar la frecuencia natural en cada modo de vibración, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados del análisis modal para los primeros 5 modos de vibración de la viga en voladizo.

| **Longitud (mm)** | ***Frecuencia Natural por modo de vibración (Hz)*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| 105 | 32.4 | 203 | 569 | 1120 | 1840 |
| 87.5 | 46.7 | 292 | 819 | 1610 | 2650 |
| 70 | 73 | 456 | 1280 | 2510 | 4150 |
| 52.5 | 131 | 821 | 2300 | 4510 | 7460 |

De forma experimental, si una de las barras de uno de los 4 grupos de longitud se desplaza una cierta posición transversal de tal modo que genere un movimiento vibratorio (ver Fig. 2), las otras tres barras de esa misma longitud comenzarán a vibrar al unísono. El mismo efecto ocurre si cualquiera de los otros voladizos es excitado.

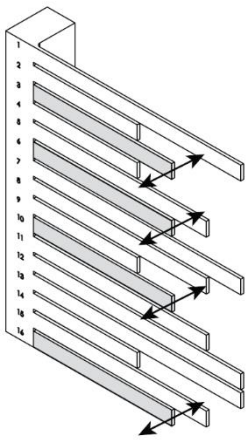


Figura 2: Desplazamiento transversal que genera movimiento vibratorio en las barras en voladizo.

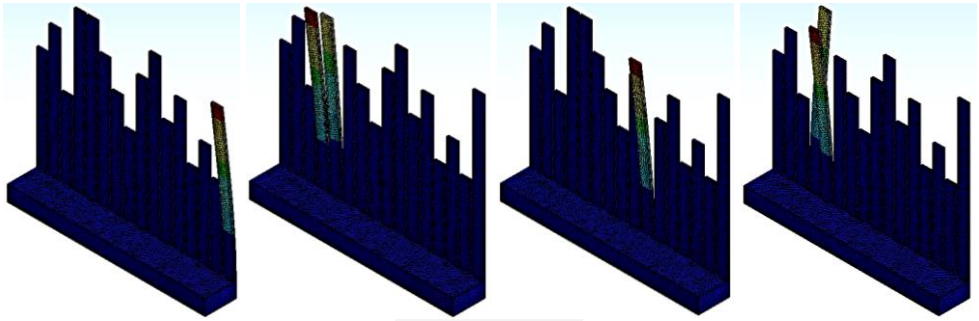
Por lo tanto, la barra en voladizo inicialmente excitada causa que las demás barras de la misma longitud vibren, por lo tanto, se generan frecuencias naturales que producen resonancia armónica. Lo anterior se debe a que la energía generada por el movimiento vibratorio se transfiere estructuralmente a través de la base impresa, especialmente por el bajo coeficiente de amortiguamiento. Observándose que la masa o

rigidez de la base no es un factor crítico, pues basta simplemente sostener el prototipo con la mano y excitar una de las barras para mostrar el efecto de resonancia armónica. Además, se hace evidente que con voladizos más largos se pueden obtener amplitudes más grandes y frecuencias más bajas de resonancia (ver resultados de la Tabla 2). De la ecuación (1) se observa un efecto interesante: la frecuencia natural de un voladizo es independiente de su ancho. Esto sucede porque la rigidez (específicamente segundo momento de área, *I*) escala linealmente con *b*, pero también lo hace la masa por unidad de longitud, por lo tanto, estos se cancelan.

## 3. ANÁLISIS POR MECÁNICA COMPUTACIONAL

### A) Análisis Modal

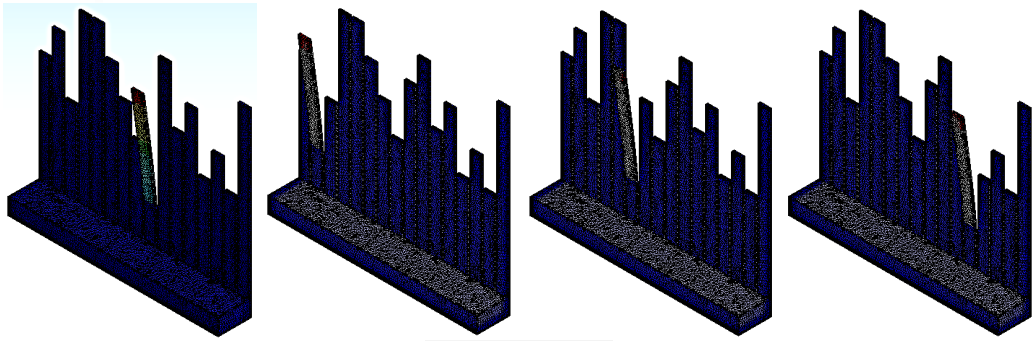
El objetivo del análisis modal en la mecánica estructural es determinar las frecuencias naturales y modos de vibrar de un objeto o estructura durante vibración libre. Es común utilizar el Método de los Elementos Finitos (MEF) para desarrollar el análisis porque, como en otros cálculos usando el MEF, el objeto que se analiza puede tener formas arbitrarias. La interpretación física de los valores propios y vectores propios, los cuales vienen de resolver el sistema, representan las frecuencias y modos de vibrar correspondientes. Algunos de los resultados que se pueden obtener con este tipo de análisis es la deformación y puntos de alto esfuerzo en la estructura debido a cada uno de los modos de vibración. En la Fig. 3 se muestra el análisis modal en vibración libre del prototipo de resonador armónico mediante MEF para la barra en voladizo de 105 mm de longitud, en estas se observa la deformación de las 4 barras a una frecuencia natural promedio de 32 Hz, que corresponde al primer modo de vibración, dicho valor coincide con el calculado en la tabla 2. Es importante señalar que el software visualiza dicho valor promedio como 4 modos diferentes, pero nótese que el error numérico entre estos es mínimo y por consiguiente solo se simulan las deformaciones de todas las barras de dicha longitud. Una explicación semejante sucede para los voladizos de 87.5 mm y 70 mm de longitud, cuyas frecuencias naturales promedio para el primer modo mediante mecánica computacional son de 46.01 Hz y 71.628 Hz, respectivamente. Lo anterior coincide nuevamente con los resultados reportados en la Tabla 2, en las Figs. 4 y 5 se muestran las deformaciones para cada uno de estos grupos de barras cuando están en resonancia.



Tabular Data

| | Mode | Frequency [Hz] |
|---|---|---|
| 1 | 1. | 31.983 |
| 2 | 2. | 32.014 |
| 3 | 3. | 32.017 |
| 4 | 4. | 32.019 |
| 5 | 5. | 45.997 |
| 6 | 6. | 46.011 |
| 7 | 7. | 46.016 |
| 8 | 8. | 46.029 |
| 9 | 9. | 71.574 |
| 10 | 10. | 71.682 |

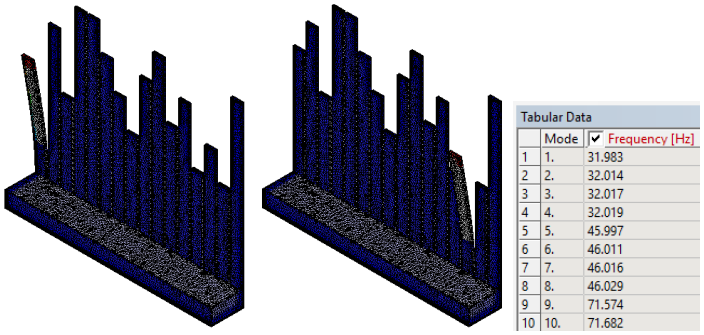
Figura 3: Deformación de los voladizos de 105 mm en un primer modo de vibración promedio de 32 Hz.



Tabular Data

| | Mode | Frequency [Hz] |
|---|---|---|
| 1 | 1. | 31.983 |
| 2 | 2. | 32.014 |
| 3 | 3. | 32.017 |
| 4 | 4. | 32.019 |
| 5 | 5. | 45.997 |
| 6 | 6. | 46.011 |
| 7 | 7. | 46.016 |
| 8 | 8. | 46.029 |
| 9 | 9. | 71.574 |
| 10 | 10. | 71.682 |

Figura 4: Deformación de los voladizos de 87.5 mm en un primer modo de vibración promedio de 46.01 Hz.



Tabular Data

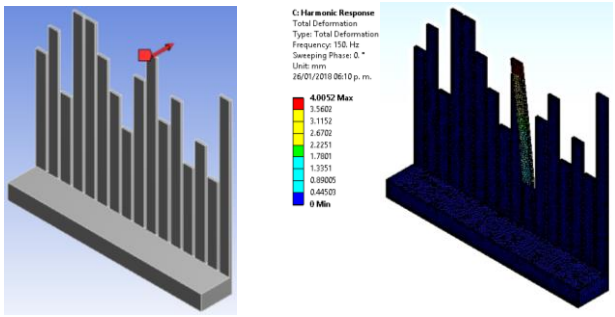
| | Mode | Frequency [Hz] |
|---|---|---|
| 1 | 1. | 31.983 |
| 2 | 2. | 32.014 |
| 3 | 3. | 32.017 |
| 4 | 4. | 32.019 |
| 5 | 5. | 45.997 |
| 6 | 6. | 46.011 |
| 7 | 7. | 46.016 |
| 8 | 8. | 46.029 |
| 9 | 9. | 71.574 |
| 10 | 10. | 71.682 |

Figura 5: Deformación de los voladizos de 70 mm en un primer modo de vibración promedio de 71.628 Hz.

Aunque en la Tabla 2 se muestran los valores para los 5 primeros modos de vibración de cada voladizo, en ocasiones, los únicos modos deseados son los correspondientes a las menores frecuencias porque pueden ser los modos predominantes en la vibración del objeto (que son los que se obtuvieron para este prototipo mediante MEF). Nota: Debido a la capacidad de los recursos informáticos del departamento, no fue posible modelar computacionalmente la barra en voladizo de 52.5 mm de largo.

**B) Análisis armónico**

El análisis armónico se usa para encontrar la frecuencia de respuesta en una estructura cuando está sujeta a una carga oscilante en un cierto modo de vibración. Este tipo de análisis es muy útil, debido a que hay estructuras que tienen frecuencias armónicas que a menudo no se consideran y pueden llegar a ser un factor de falla importante. Entre los resultados que se pueden obtener con este tipo de análisis es la cantidad de deformación sufrida por una estructura a una frecuencia determinada. Otro resultado importante es un gráfico que muestra la deformación de la estructura dentro de un rango definido de frecuencias. Atendiendo lo anterior, se simula un análisis armónico mediante mecánica computacional para el prototipo de resonador armónico, se aplica una carga de 1N en un voladizo de longitud de 105 mm (ver Fig. 6a) en un rango de frecuencias de 0 a 150 Hz y se observa que tiene una deformación máxima de 4 mm (ver Fig. 6b).




(a) (b)

Figura 6: Aplicación de carga en uno de los voladizos (a) y resultados de deformación por análisis armónico (b).

Finalmente, en la Fig. 7 se presenta un gráfico amplitud *vs* frecuencia, en la dirección de aplicación de la carga. En este se observan los rangos de valores de deformación crítica del resonador armónico y nótese que estos suceden en los valores de frecuencia que se determinaron en el análisis modal (32 Hz, 46.01 Hz y 71.628 Hz). Por consiguiente, estas son las frecuencias de resonancia.

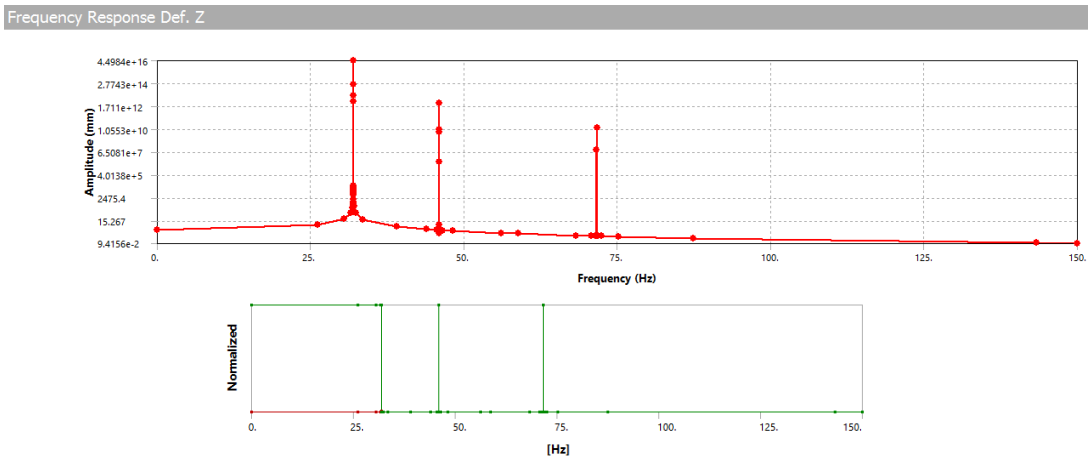



Figura 7: Gráfico amplitud *vs* frecuencia en la dirección de aplicación de la carga.

## 4. CONCLUSIONES

El material de introducción convencional respecto a vibraciones mecánicas es común que inicie con el sistema masa-resorte, a pesar de la relativa dificultad para cambiar los parámetros, por ejemplo, agregar otra masa. Sin embargo, para sistemas con masa y rigidez distribuidas, los voladizos simples han sido utilizados para demostrar fácilmente la frecuencia natural de vibración mediante observación. En este documento se muestra una extensión simple, utilizando una impresora 3D, se puede desarrollar una demostración efectiva de resonancia, para caracterizar uno de los parámetros más importante en dinámica estructural y vibración.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento otorgado por el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Puebla (Beca No. 18862.23-P), para la presentación del presente trabajo de divulgación.

**REFERENCIAS**

[1] Melanie Müller, "Imaging surfaces at the space–time limit: New perspectives of time-resolved scanning tunneling microscopy for ultrafast surface science", Progress in Surface Science, 2024, vol 99, pp 100727.

[2] Xiulin Shen, Zhenfei Lv, Kimiyoshi Ichikawa, Huanying Sun, Liwen Sang, Zhaohui Huang, Yasuo Koide, Satoshi Koizumi, Meiyong Liao, "Stress effect on the resonance properties of single-crystal diamond cantilever resonators for microscopy applications", 2022, vol 234, pp 113464.

[3] S.A. Huettel, A.W. Song and G. McCarthy, "Functional Magnetic Resonance Imaging", 3rd Edition, Sinauer Associates: Sunderland Massachusetts, 2014. ISBN 9780878936274

[4] Michael H. Tooley, "Electronic Circuits: Fundamentals and Applications", 4th Edition, London:Routledge, 2015. ISBN 1138828920

[5] A. Allen and J.H. Eberly, "Optical Resonance and Two-Level Atoms", 1st Edition, Dover, 1987. ISBN 0486655334

[6] Hairui Wang, Chen Wei, Yao Zhang, Yinji Ma, Ying Chen, Heling Wang, Xue Feng, "Tunable Three-Dimensional Vibrational Structures for Concurrent Determination of Thin Film Modulus and Density", J. Appl. Mech., 2022, vol 89(3), pp 031009.

[7] Lawrence N. Virgin, "Vibration of Axially Loaded Structures", 1st Edition, Cambridge University Press, 2012.

[8] M. Trujillo, M. Cheng-Guajardo, M. Curtin, A. Abdelkefi, "Experimental characterization of bending modes and investigation of multi-stable solutions of PLA-based additively manufactured beams", Mechanical Systems and Signal Processing, 2024, vol 220, pp 111665.

[9] M. Trujillo, L. Corral, M. Curtin, A. Abdelkefi, "Comparative investigations on the dynamical responses of ABS and PLA additively-manufactured beams", International Journal of Non-Linear Mechanics, 2023, vol 157, pp 104558.

[10] Lawrence N. Virgin. "Comparative structural stiffness: Exploiting 3D-printing". Am. J. Phys., 2020, vol 88(12), pp 1049–1058.

[11] Richard G. Budynas, Ali M. Sadegh. "Roark's Formulas for Stress and Strain", 9th Edition, McGraw Hill, 2020. ISBN 1260453758

**Sobre los autores**

**J. Flores Méndez**, es Doctor en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Además, posee una Maestría en Ingeniería Mecánica. Actualmente, es Profesor-Investigador del departamento de Ingeniería Metal-Mecánica en el "Instituto Tecnológico de Puebla", México. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores de México. Su área de investigación se centra en el estudio de las propiedades acústicas y electromagnéticas en materiales periódicos artificiales (metamateriales) y análisis numérico computacional mediante método del elemento finito.

**Gustavo M. Minquiz Xolo**, recibió el grado de Maestría y Doctorado en Ingeniería Mecánica. Actualmente es Profesor-Investigador en el departamento de Ingeniería Metal-Mecánica del "Instituto Tecnológico de Puebla", México. Su área de investigación se centra en estudiar el ahorro y la eficiencia energética en los procesos de fabricación realizados mediante control numérico computarizado y análisis numérico computacional mediante método del elemento finito.

**Fernando Medina Pérez**, ostenta el título de Ingeniero Industrial y el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería. Es Profesor-Investigador de tiempo completo en el departamento de Ingeniería Industrial del

"Instituto Tecnológico de Puebla", México. Su área de investigación se centra en el estudio de nuevas propiedades mecánicas y electromagnéticas en materiales para aplicaciones y usos en el sector industrial.

**J. Luis Ruiz Escamilla Sandoval**, es Ingeniero Industrial y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial. Es Profesor-Investigador de tiempo completo en el departamento de Ingeniería Industrial y Secretario General del Sindicato de Profesores del "Instituto Tecnológico de Puebla", México. Su campo de investigación es la dinámica de las máquinas y el análisis y síntesis de mecanismos.

**María Claudia Denicia Carral**, es Doctora en Ciencias Computacionales. Es Profesora-Investigadora de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería en Automatización y Autotrónica de la "Benemérita Universidad Autónoma de Puebla", México. Su área de investigación se centra en la mejora y optimización del producto, así como, el diseño de procesos de fabricación y sistemas de producción mediante el uso de software de fabricación digital y planificación.

**José A. Luna López**, es Ingeniero en Electrónica graduado del Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala-México. Posee el grado de Maestro y Doctor en Microelectrónica por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Puebla-México. Actualmente, es Profesor-Investigador en el Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores, del Instituto de Ciencias de la BUAP, México. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores de México. Su área de investigación se centra en el estudio de fenómenos ópticos en películas delgadas y elaboración de prototipos electrónicos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO Y SIMULACIÓN MULTICUERPOS DE PLATAFORMA PARA SIMULADOR DE MOTO

**Javier Guerra Miranda[1], Jaime González Albiza[1], Alexis Leyva Guillerme[1]**

[1]Empresa de Alta Tecnología, Santa Ana / Loma y Bella Vista. Municipio Plaza de la Revolución. Provincia La Habana. Cuba
[1]e-mail: felixguerra2894@gmail.com

**RESUMEN**

Los simuladores de moto tienen aplicaciones de entrenamiento y lúdicas, un elemento clave de su desarrollo es disponer de una plataforma que permita imitar las percepciones del conductor durante las maniobras. La propuesta conceptual y análisis de solución son etapas fundamentales, partiendo del diseño conceptual de una plataforma de 4 Grados De Libertad (GDL), se estableció el siguiente objetivo: realizar la simulación dinámica multicuerpos de la plataforma de 4 GDL, para obtener las fuerzas, torques y potencias máximas que sustenten la selección de los actuadores. Se partió del modelo 3D, aplicando pares cinemáticos que eviten redundancias y garanticen los GDL requeridos. Para las leyes de movimiento asumidas y empleando la simulación dinámica multicuerpos, se obtuvieron las variables cinemáticas y dinámicas cuyos valores máximos permiten la selección de los actuadores de la plataforma.

**PALABRAS CLAVES:** simulador de moto, simulación dinámica multicuerpos, plataforma

## DESIGN AND SIMULATION OF MULTIBODY PLATFORM FOR MOTORCYCLE SIMULATOR

**ABSTRACT**

Motorcycle simulators have training and recreational applications, a key element of their development is having a platform that allows imitating the driver's perceptions during maneuvers. The conceptual proposal and solution analysis are fundamental stages, starting from the conceptual design of a 4 Degrees Of Freedom (DOF) platform, the following objective was established: to carry out the multibody dynamic simulation of the 4 DOF platform, to obtain the forces, maximum torques and powers that support the selection of the actuators. We started from the 3D model, applying kinematic pairs that avoid redundancies and guarantee the required DOF. For the assumed laws of motion and using the multibody dynamic simulation, the kinematic and dynamic variables were obtained whose maximum values allow the selection of the platform actuators.

**KEY WORDS:** motorcycle simulator, multibody dynamic simulation, platform.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los simuladores juegan un rol importante en la tecnología moderna, pueden ser medios de enseñanza, entretenimiento o herramientas para probar productos y sistemas. Las plataformas son uno de los elementos de los simuladores de avanzada [1], como sistemas mecatrónicos es imprescindible la modelación para su desarrollo [2]. Las plataformas tienen otros empleos como: aisladores de vibraciones y estabilizadores sobre buques [3,4], control preciso de posición [5,6] y simulación de pruebas [7]. Las plataformas de mayor empleo son un tipo de robot, designados como robots paralelos (varias cadenas cinemáticas cerradas), que enlazan una base fija con una plataforma móvil [8]. Estas se clasifican además según sus grados de libertad, que determina la cantidad de actuadores y complejidad del modelo dinámico.

Las plataformas con cadenas cinemáticas paralelas pueden ser de cables, Stewart, Pseudo-stewart, Delta y otros [8]. En cualquier caso, son más complejas que las estructuras de cadenas cinemáticas abiertas o en serie. Para obtener los modelos dinámicos y realizar las tareas cinemáticas/dinámicas directas e inversas, pueden emplearse métodos analíticos, computacionales e integrar herramientas de inteligencia artificial

[9]. Un campo con amplio empleo en la modelación de plataformas es el de los sistemas multicuerpos [10], que pueden ser de uso software de uso especifico como CARSim o software de propósito general como el MSC ADAMS y RECURDYN.

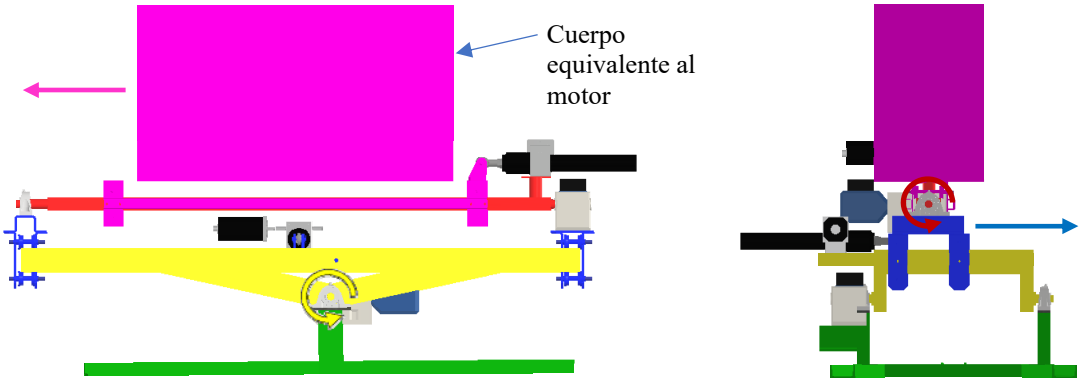
Los simuladores de motos permiten el entrenamiento de los conductores para realizar diferentes maniobras de forma segura, antes de enfrentarse al tráfico real. El diseño conceptual de una plataforma de 4 GDL (Grados De Libertad), que permita desplazamientos longitudinales, de banqueo, laterales y de cabeceo es una necesidad para la obtención de un simulador de moto en el mercado nacional. Para el paso a un análisis detallado y selección de actuadores se trazó el siguiente objetivo: realizar la simulación dinámica multicuerpos de la plataforma de 4 GDL, para obtener las fuerzas, torques y potencias máximas que sustenten la selección de los actuadores.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

### Modelación y simulación dinámica multicuerpo

La dinámica de sistemas mecánicos es un campo dentro de la mecánica que abarca desde métodos clásicos, como las ecuaciones de Newton-Euler hasta avanzados métodos numéricos. La física no cambia, pero los formalismos matemáticos y herramientas computacionales son diversas. El método aplicado en la investigación fue la modelación y simulación de sistemas multicuerpos, empleando el entorno *Dynamic Simulation* del programa Autodesk Inventor. La herramienta fue empleada para implementar el modelo, correr las simulaciones y procesar los resultados.

La investigación se realizó sobre una plataforma de 4 Grados De Libertad (GDL), que se encuentra en desarrollo para un simulador de moto urbana. Las cuerpos y GDL que representan el modelo, se muestran en la Figura 1.




Leyenda: Desplazamiento Longitudinal, Giro de Bancada, Desplazamiento Lateral, Giro de Cabeceo y Soporte Inmóvil

Figura: 1 Cuerpos y Grados De Libertad (GDL)

Los pares cinemáticos aplicados al modelo se resumen en la Tabla 1, fueron seleccionados para garantizar la no presencia de redundancias del modelo y mantener los 4 GDL. La no presencia de redundancias, garantiza que los valores de las fuerzas y torques sean únicos, estos se emplearan para el análisis de resistencia y la selección de los actuadores de la plataforma.

Tabla 1: Grados de Libertad y pares cinemáticos

| Grado de Libertad | Nombre (Tipo de Par cinemático) |
|---|---|
| Desplazamiento Longitudinal | Apoyo Delantero (Poin-Plane)<br>Apoyo Trasero (Poin-Plane)<br>Movimiento Longitudinal (Poin-Line)*<br>Charnela Longitudinal (Poin-Plane) |
| Giro de Bancada | Chumacera Delantera (Poin-Line)<br>Movimiento de Bancada (Poin-Line)* |
| Desplazamiento Lateral | Apoyo Delantero (Poin-Plane)<br>Apoyo Trasero (Poin-Plane)<br>Movimiento Lateral (Poin-Line)*<br>Charnela Lateral (Poin-Plane) |
| Giro de Cabeceo | Chumacera Izquierda (Poin-Line)<br>Movimiento de Cabeceo (Poin-Line)* |

* Par cinemático al que se le aplica un movimiento de entrada (motriz), que puede ser un desplazamiento lineal o angular.

Los desplazamientos de cada par cinemático motriz, se definen en función de los desplazamientos lineales y angulares. Partiendo de la posición inicial, hasta la posición extrema opuesta y regreso a la posición inicial. Los valores de desplazamiento para cada par cinemático motriz son:

- Movimiento Longitudinal (Poin-Line): 0 mm → 200 mm, 200 mm → 0 mm
- Movimiento de Bancada (Poin-Line): 0 º → -25º, -25º → 0 º, 0 º → 25º, 25º → 0 º
- Movimiento Lateral (Poin-Line): 5 mm → 205 mm, 205 mm → 5 mm
- Movimiento de Cabeceo (Poin-Line): 0 º → -15º, -15º → 0 º, 0 º → 15º, 15º → 0 º

Cada sección de un movimiento se asume con una duración de un segundo. Estas condiciones cinemáticas motrices se toman en conformidad con la geometría y dimensiones de la plataforma. Posteriormente se realiza la simulación de cada GDL independientemente de los demás. Esta condición permite evaluar las condiciones de movimiento, fuerzas, torques y potencias que demandan cada GDL de la plataforma, sus valores máximos son fundamentales para seleccionar el accionamiento encargado de impulsar cada GDL.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desplazamiento Longitudinal

El cuerpo que realiza el movimiento longitudinal, está compuesto de la plataforma longitudinal y un paralepípedo de masa 350 kg, valor que corresponde a la moto asumida con su conductor. La masa y momentos de inercia de la plataforma longitudinal, lo determina el software en base a la geometría y material. El par cinemático motriz Movimiento Longitudinal, es un vástago que se desplaza respecto a un cuerpo fijo a la bancada. La ley de movimiento que se aplica al vástago está representada en la Figura 2, un desplazamiento de 200 mm y regreso a la posición inicial (el signo negativo es por la orientación del sistema de coordenadas del par cinemático).

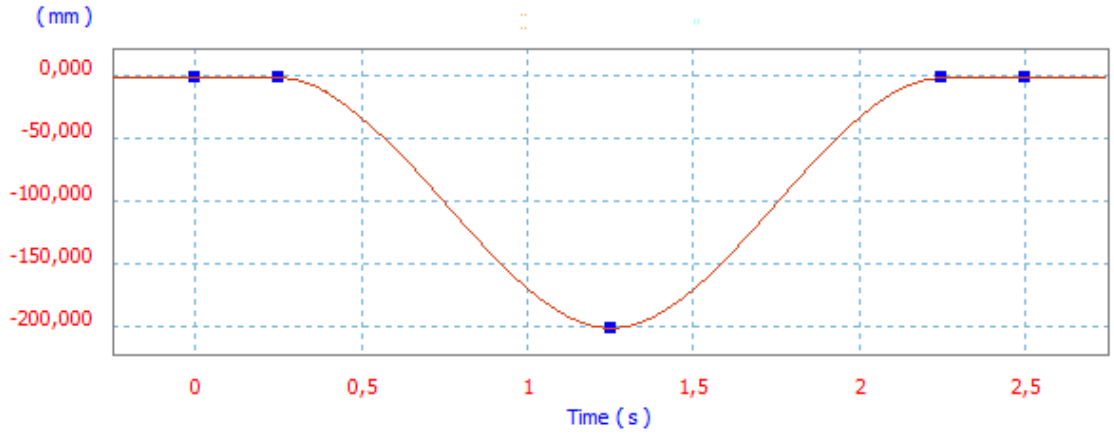



Figura 2: Ley de movimiento del par cinemático Movimiento Longitudinal (desplazamiento lineal)

Al realizar la corrida del modelo para ese GDL, el software realiza los cálculos cinemáticos y dinámicos en todos los pares cinemáticos implicados, el motriz y los Apoyo Delantero y Trasero. Para el análisis de la resistencia estructural, las fuerzas en cada par cinemático constituyen cargas en la estructura, aunque el objetivo está en conocer el comportamiento del par cinemático motriz y tomar los valores máximos, como criterios para seleccionar los actuadores, que en este caso sería un motoreductor con trasmisión tornillo sinfín.

El comportamiento de las variables se presenta en la Figura 3, observándose la suavidad de las curvas de desplazamiento y velocidad, mientras la aceleración y fuerzas presentan cambios bruscos de valores. La potencia no es determinada directamente por el software, pero el mismo permite crear curvas nuevas a partir de cálculos, por de la definición de potencia:

$$P = F \cdot v \tag{1}$$

donde:

$P$ – potencia mecánica, W

$F$ – fuerza, N

$v$- velocidad, m/s

Los valores máximos de las variables de la Figura 3 de mayor interés son: el desplazamiento máximo 200 mm, debiendo garantizar el accionamiento un desplazamiento igual o superior; la velocidad máxima 300 mm/s, esta velocidad depende de las revoluciones del motor y relación de trasmisión del reductor, es un parámetro principal del accionamiento; la aceleración máxima 1200 mm/s$^2$ no es importante para seleccionar el actuador, pero brinda un valor de referencia de la aceleración lineal que experimentaría el conductor en la moto; la fuerza máxima es de 980 N y puede ser empleada al calcular las uniones y otras piezas que trasmiten la fuerza del accionamiento; la potencia máxima es 187 W y es un parámetro de selección del motoreductor.

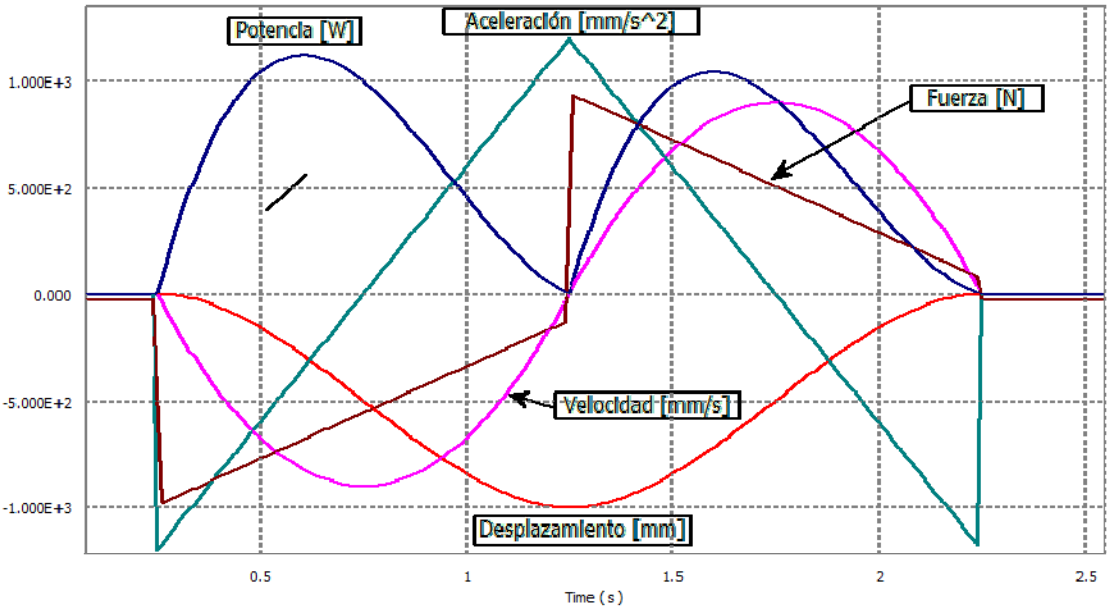



Figura 3 Graficas del par cinemático Movimiento Longitudinal.

**Giro de Bancada**

El cuerpo que realiza el movimiento de giro de bancada, está compuesto por los cuerpos del Desplazamiento Longitudinal más la bancada, su masa y momentos de inercia los determina el software en base a la geometría y material. El par cinemático motriz Giro de Bancada, es un árbol que gira respecto a un cuerpo fijo a la plataforma transversal. La ley de movimiento que se aplica al árbol está representada en la Figura 4, un desplazamiento de ± 25° mm y regreso a la posición inicial (el signo negativo es por la orientación del sistema coordenada del par cinemático).

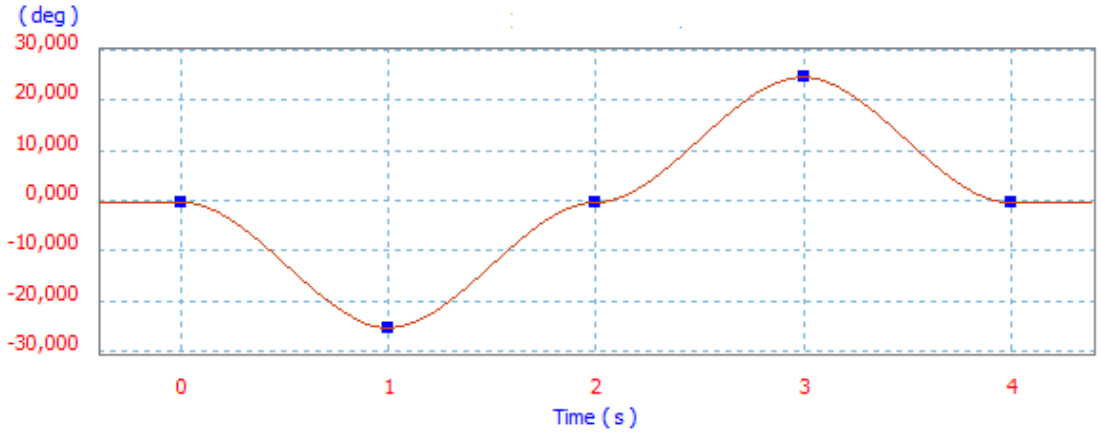



Figura: 4 Ley de movimiento del par cinemático Giro de Bancada (desplazamiento angular)

Al realizar la corrida del modelo para ese GDL, el software realiza los cálculos cinemáticos y dinámicos en todos los pares cinemáticos implicados, el motriz y la Chumacera Delantera. Las fuerzas y torques en cada par cinemático constituyen cargas para el análisis de la resistencia estructural, aunque el objetivo está en conocer el comportamiento del par cinemático motriz y tomar valores máximos, como criterios para seleccionar el actuador, que en este caso sería un motoreductor que puede ser de ruedas cónicas o trasmisión sinfín.

El comportamiento de las variables se presenta en la Figura 4, siendo similar al anterior en cuanto a la suavidad de las curvas de desplazamiento y velocidad, mientras la aceleración y torques presentan cambios bruscos de valores. La potencia mediante la expresión siguiente:

$$P = T \cdot \omega \tag{2}$$

donde:

$P$ – potencia mecánica, W

$T$ – torque, N·m

$\omega$- velocidad angular, rad/s

Los valores máximos de las variables de la Figura 5 de mayor interés son: el desplazamiento máximo ±25°=50°, debiendo garantizar el accionamiento un desplazamiento igual o superior; la velocidad máxima 37.5 °/s, esta velocidad depende de las revoluciones del motor y relación de trasmisión del reductor, es un parámetro principal del accionamiento; la aceleración máxima 150 °/s$^2$ no es importante para seleccionar el actuador, pero brinda un valor de referencia de la aceleración lateral que experimentaría el conductor en la moto, considerando la distancia desde el eje de giro hasta el centro de masas del conductor; el torque máximo es de 931 142 N·mm y puede ser empleada al calcular las uniones y otras piezas que lo trasmiten; la potencia máxima es 357 W y es un parámetro de selección del motoreductor.

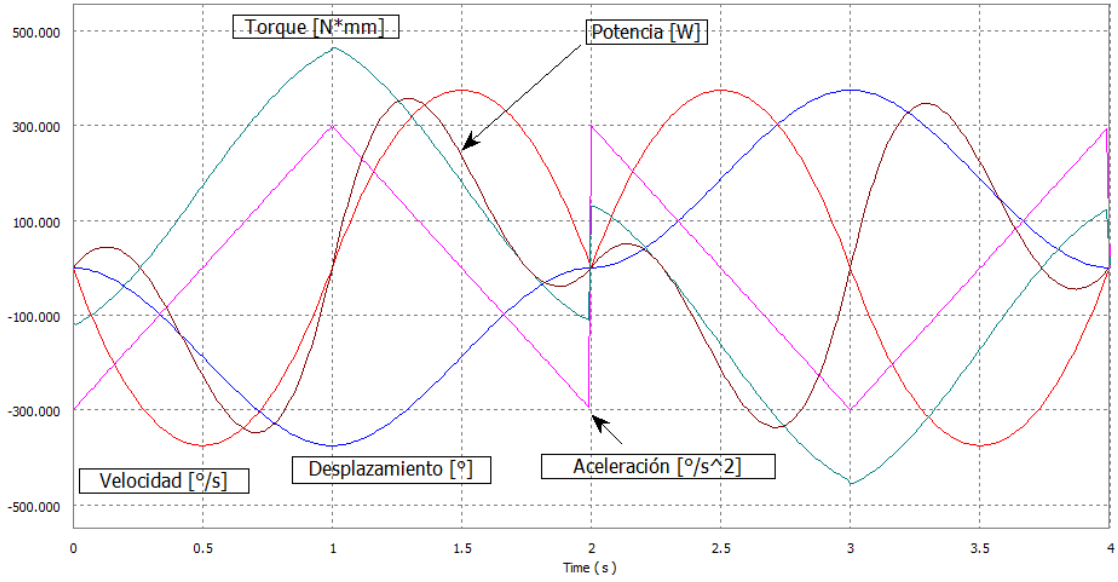



Figura: 5 Graficas del accionamiento de banqueo

**Movimiento Lateral**

El análisis para el par cinemático motriz de Movimiento Lateral es similar al del Movimiento Longitudinal, en cuánto a descripción cualitativa e importancia para el trabajo. Las variables se presentan en la Figura 6 y los valores máximos de los parámetros son: desplazamiento 205 mm; velocidad 300 mm/s; aceleración 1200 mm/s$^2$, fuerza del accionamiento 550 N y potencia 187 W. Estos valores al igual que en caso anterior, son de referencia para seleccionar el actuador lateral, analizar la resistencia y evaluar las aceleraciones sobre el conductor.

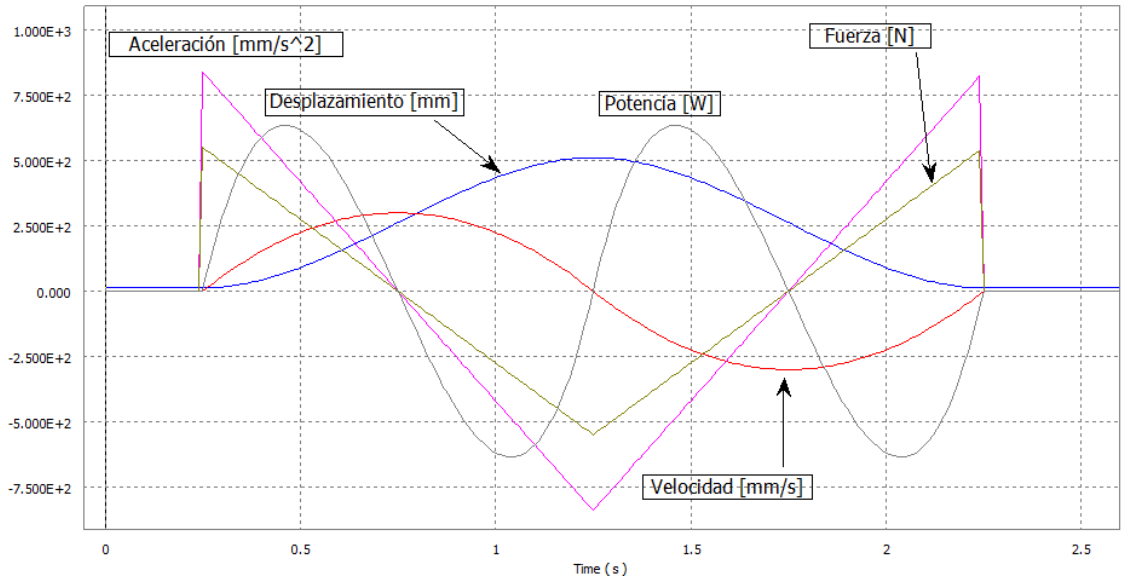



Figura: 6 Graficas del accionamiento lateral.

**Giro de Cabeceo**

El análisis para el par cinemático de Giro de Cabeceo es similar al del Giro de Bancada, en cuánto a descripción cualitativa e importancia para el trabajo. Las variables se presentan en la Figura 7 y los valores máximos de los parámetros son: desplazamiento ±15°=30°; velocidad 22.5 °/s; aceleración 90 °/s$^2$, torque del accionamiento 1 777 040 N·mm y potencia 383 W. Estos valores al igual que en caso anterior, son de referencia para seleccionar el actuador lateral, analizar la resistencia y evaluar las aceleraciones sobre el conductor.

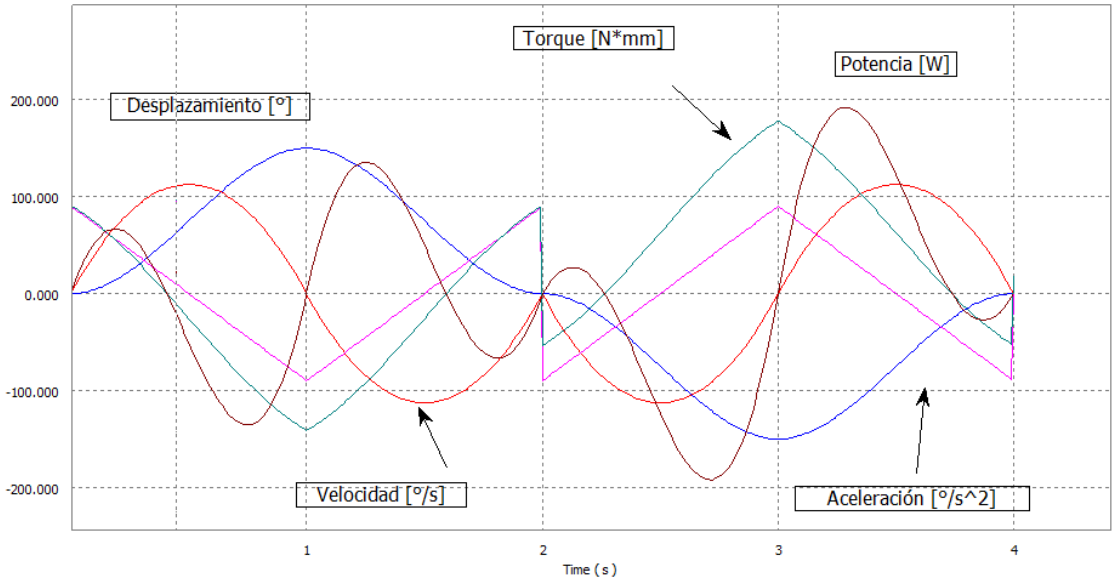



Figura: 7 Graficas del accionamiento de cabeceo

La simulación de un GDL a la vez permite obtener las variables y valores máximos en los pares cinemáticos de interés, que constituyen parámetros de selección de actuadores. Otro posible caso de estudio hubiera sido una maniobra en específico que combinara la simulación simultanea de varios grados de libertad y comparar los parámetros de selección con la de un solo GDL a la vez, pero no se

encontraron valores cinemáticos de referencia para las maniobras típicas en cada GDL, quedando cómo investigación futura.

## 4. CONCLUSIONES

El trabajo realizado, permitió obtener un modelo conceptual de una plataforma de 4 GDL para moto y su modelo multicuerpos. Las variables cinemáticas y dinámicas obtenidas, garantizan la información necesaria para seleccionar actuadores a partir de los valores máximos, que son parámetros de selección para los catálogos. La propuesta de plataforma realizada es novedosa y representa una solución nacional a la necesidad de simuladores y juegos de conducción de motos.

## REFERENCIAS

1. Arconada VS, García-Barruetabeña J, Haas R. Validation of a ride comfort simulation strategy on an electric stewart platform for real road driving applications. J Low Freq Noise Vibrat Act Control. marzo de 2023;42(1):368-91.
2. Barbieri G, Fantuzzi C, Borsari R. A model-based design methodology for the development of mechatronic systems. Mechatronics. octubre de 2014;24(7):833-43.
3. Preumont A, Horodinca M, Romanescu I, Marneffe B de, Avraam M, Deraemaeker A, et al. A six-axis single-stage active vibration isolator based on stewart platform. J Sound Vibrat. marzo de 2007;300(3):644-61.
4. Silva D, Garrido J, Riveiro E. Stewart platform motion control automation with industrial resources to perform cycloidal and oceanic wave trajectories. Machines. agosto de 2022;10(8):711.
5. Yun H, Liu L, Li Q, Li W, Tang L. Development of an isotropic Stewart platform for telescope secondary mirror. J Name. 2024;Volume Number(Issue Number):Page Numbers.
6. Toz M, Kucuk S. Dexterous workspace optimization of an asymmetric six-degree of freedom Stewart–Gough platform type manipulator. Robot Auto Syst. diciembre de 2013;61(12):1516-28.
7. Du C, Wang T, Zhou H, Sun Z, Lei Y. Development of an integrated load testing device for a substructure hybrid test of a curved bridge. Experim Techn. junio de 2022;46(3):395-411.
8. Gosselin C, Merlet JP. Parallel Robots: Architecture, Modeling, and Design. En: Ang MH, Khatib O, Siciliano B, editores. Encyclopedia of Robotics [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. p. 1-6. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41610-1_158-1
9. Toquica JS, Oliveira PS, Souza WS, Motta JMS, Borges DL. An analytical and a Deep Learning model for solving the inverse kinematic problem of an industrial parallel robot. Comput Ind Eng. 2021;151:106682.
10. Nandihal PV, Mohan A, Saha SK. Dynamics of Rigid-Flexible Robots and Multibody Systems. Vol. 100. Springer; 2022.

### Sobre los autores

Javier Guerra Miranda, graduado de ingeniero mecánico y master en ingeniería mecánica, director de la Dirección de Mecánica Aplicada de la Empresa de Alta Tecnología. Aspirante a Investigador.

Jaime González Albiza, graduado de ingeniero electromecánico, especialista de la Dirección de Mecánica Aplicada de la Empresa de Alta Tecnología. Investigador y Profesor Auxiliar.

Alexis Leyva Guillerme, graduado de ingeniero mecánico, especialista de la Dirección de Mecánica Aplicada de la Empresa de Alta Tecnología. Aspirante a Investigador.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# Design and Prototyping of an Affordable Mechanical Ventilator for Mass Production in Respiratory Failure Patients

**Jay Molino[1], Alfredo Lescher[2], Asdrúal Rojas[2], Ana Clevis Lozano[3], Abhishek Appaji[4], Svetlana de Tristán[5]**

[1]Molecular Observation and Research in Nanodynamics (MORiN), Centro I+D+i de Biotecnología, Energías Verdes y Cambio Climático, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS).
Albrook, Paseo de La Iguana 0843-014, Republic of Panama.
Jay.molino@udelas.ac.pa

[2]Laboratorio de Ingeniería Experimental de Bioseñales (LABIEB), Centro I+D+i de Biotecnología, Energías Verdes y Cambio Climático, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS).
Albrook, Paseo de La Iguana 0843-014, Republic of Panama.
alfredo.lescher.3@udelas.ac.pa

[3]Faculty of Electrical Engineering, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Victor Levi Sasso, Panama.
Anaclevis.lozano@utp.acp.pa

[4]Department of Medical Electronics Engineering, B.M.S. College of Engineering, Bengaluru, India
abhishek.ml@bmsce.ac.in

## ABSTRACT

This study showcases the design, evaluation, and validation of a portable, cost-effective, and easily manufacturable mechanical ventilator prototype, tailored explicitly for pressure and volume control. The prototype encompasses five distinct modalities: (a) volume-controlled mandatory ventilation, (b) pressure-controlled mandatory ventilation, (c) pressure support (assisted), (d) synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV), and (e) continuous positive airway pressure ventilation (CPAP).
Regarding clinical relevance, the device facilitates effortless adjustment of ventilator parameters and provides crucial information about the patient's physical condition. Its versatility extends from intra-hospital applications, such as emergencies or Intensive Care Units, to extra-hospital settings, including home use and ambulances.
**KEYWORDS:** Mechanical Ventilator, Prototype Design, Low-Cost Production, Respiratory Failure, Pressure and Volume Control, Clinical Application, Technology Accessibility.

## INTRODUCTION

In March 2020, the World Health Organization (WHO) declared the severe acute respiratory syndrome coronavirus2 (SARS-CoV-2) outbreak a pandemic due to the constantly increasing numbers of cases outside of China as (*Alocución de Apertura Del Director General de La OMS En La Rueda de Prensa Sobre La COVID-19 Celebrada El 11 de Marzo de 2020*, n.d.; Huang et al., 2020; Yang et al., 2020). SARS-CoV- 2 can develop COVID-19, resulting in high hospitalization rates and admissions to Intensive Care Units (I.C.U.)(Arentz et al., 2020; Huang et al., 2020; Richardson et al., 2020; Wang et al., 2020; Yang et al., 2020). The aforementioned is a recent example of the required preparedness and readiness to tackle global health challenges. Indeed, the medical device manufacturing industry has proven to be one of the most critical components in the public health system in any country, not only to assure its population's life expectancy but also to improve labor productivity, which is vital for economic development. Improving the be innovative, practical, and economically affordable (Frutos et al., 2003; Schönhofer & Sortor-Leger, 2002).

The medical device market is characterized by complexity and high sophistication: regulations, financial support, technological knowledge, and short product life cycles (generally fast-paced innovation). All these considerations improve device management by applying modern methodologies like activity-based costly, process reengineering, and quality control. In general, the whole process is very time and cost-intensive.(Hassani et al., 2022; Parvinian et al., 2018; Salditt, n.d.; Staff et al., 1900).

The medical device market is concentrated in high-income countries (H.I.C.s). Only 13% of industries are in middle- and low-income countries (L.I.C.s). Many companies in the U.S.A. are interested in increasing activities in emerging markets, investing in low-cost health technologies with value based design and co-creation, benefiting both H.I.C.s and LMICs. Reverse innovation is proposed as a model to be implemented, whereby low-cost products are developed and delivered to L.I.C.s. Innovative aspects can be obtained inexpensively through collaborative work between H.I.C.s, and L.I.C.s focused solutions (Appelbaum & Schmitt, 2009; Chalkidou et al., 2014; Chow et al., 2018; Papanicolas et al., 2018).

At the same time, emerging-economies-countries need to produce their technology. In this case, attending to manufacture low cost with domestic technology has been targeted to the basic unit, avoiding extra sophisticated functions typically used under special circumstances. Maybe because of structural troubles in those countries, prices could still be not affordable enough or competitive. One possibility is an open-source hardware approach, where complete equipment manufacturing information is publicly available, allowing replication.(Maresova et al., 2015; Tomaskova et al., 2019).

A vital medical device is a mechanical ventilator designed to provide ventilatory support to patients with compromised lung function due to acute respiratory distress or other pathologies [8]. It seeks an optimal gas exchange, with the least breathing and low lung damage, treating restrictive or obstructive lung diseases. This device could be used for in-hospital applications in emergency and intensive care units, to out-of-hospital homes, or during patient transport.

Recently, the world experienced a Pandemic, and the long-term effects of COVID-19 could have triggered a collapse in the healthcare system due to a plethora of I.C.U. patients. Despite the number of ventilators in hospitals, there was a considerable number of patients at risk. Thus, being able to provide more mechanical ventilators for other patients locally became a world race. Nonetheless, most solutions in developing countries were mechanical ventilators based on an automated compressing system, a conventional bag-valve-mask (portable pneumatic ventilator) (Farré et al., 2022) . It is necessary to mass-produce inexpensive ventilators that reach public hospitals in all communities, especially those with

insufficient resources (Akay & IEEE Engineering in Medicine and Biology Society., 1998; Al-Naggar, 2015; García Vicente et al., 2011; Schönhofer & Sortor-Leger, 2002).

This study aimed to design a ventilator prototype under the following standard parameters: flow, pressure, volume, respiratory rate, inspiration/ expiration ratio, pause time, trigger, and FiO2. This product was designed for the modalities: (a) volume-controlled mandatory ventilation, (b) pressure-controlled mandatory ventilation, (c) pressure support (assisted), (d) synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV), (e) continuous positive airway pressure ventilation (CPAP). Several alarms have been placed throughout the system and could be activated at any point during pulmonary ventilation. In addition, this prototype encompasses additional electronic safety devices in case of failures at the power supply or lack of medical O2 and compressed air supply gases.

**PROTOTYPE**

A mechanical ventilator comprises different building blocks encompassing the equipment's design characteristics and the patient's needs. Figure 1 shows a general diagram of the functional blocks for the prototype's creation. The device's commercial brand equipment or adequate performance (Camozzi, 2023; Draeger, 2023; Getinge, 2023; Hamilton Medical, 2023; Sensirion, 2023), and specifications for design are the following:

- Tidal volume adjustment up to 2000 ml.
- Inspiratory pressure adjustment up to 80 cm H2O.
- Maximum inspiratory flow of 120 L/min.
- Respiratory rate range: 0 to 60 breaths per minute.
- SIMV Rate Range: 0 to 40 breaths per minute.
- CPAP / PEEP level: 0 to 20 cm H2O.
- Pressure Support Range (P.S.): 0 to 45 cmH2O.
- Setting the Inspiratory Oxygen fraction (FiO2) range: 21 to 100%.
- Inspiratory time: from 0.1 to 5 seconds.
- Pause time: from 0 to 1.5 seconds.
- Trigger sensitivity: a) by pressure, b) by the flow.
- Backup battery 2 hours of autonomy.

To meet portability guidelines, the equipment would require a height of 20 cm and a weight of 8kgs, a width of 24 cm, and a depth of 26 cm (estimated dimensions). Figure. 2 shows the distribution of the internal interfaces that make up the designed prototype.

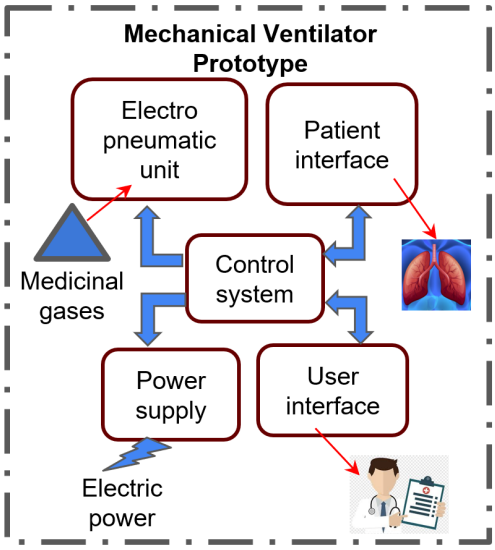



Fig. 1. Blocks diagram for the ventilator prototype. The Control system is charged using a power supply. When the medicinal gases are input into the mechanical ventilator, the control system takes the data from the user and patient interfaces. Then the electro-pneumatic controls the inspired and expired patient gas flow through respiratory.

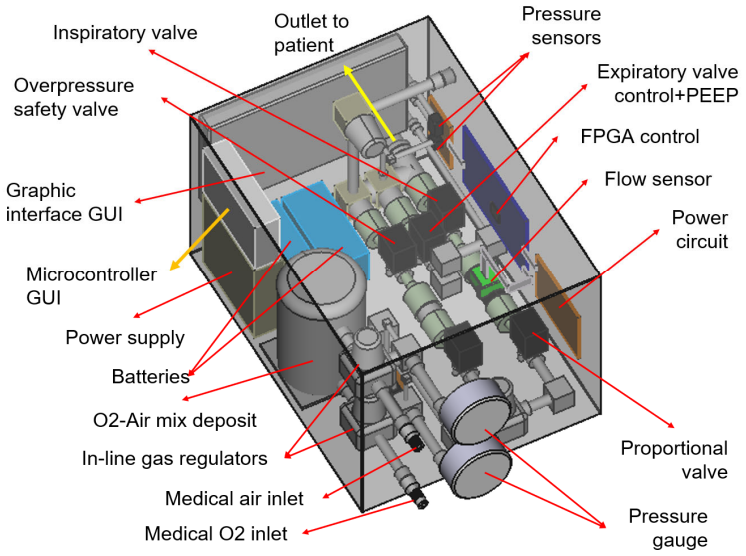



Fig. 2. Distribution of the internal interfaces of the mechanical ventilator

**Electro Pneumatic Unit**

The electro-pneumatic unit regulates the mixture of O2, compressed air (50 P.S.I.) and the inspired fraction of oxygen (FiO2). In this unit, the respiratory cycle is controlled with two proportional valves. The medical staff chooses the respiratory rate and the inspiratory pause arbitrarily. According to the preselected mix, the FiO2 provides the regulation signal to each valve proportionally. The outlet of both valves joins in a mixer and then to the tank to maintain enough mixed gas to supply the demand required by the ventilator. The tank outlet goes to the inspiratory circuit, from where a sample of the gas mixed with an oxygen cell is taken. The cell use is the Maxtec Max-7.

**Patient Interface**

The patient interface receives the signals from the flow, pressure, oxygen sensors, and the electro-pneumatic unit's activation signal. This is also shown in Figure 1. The Sensirion sensor SFM3200 was chosen for the inspiratory flow measurement for the mandatory standard and general modalities for support. According to the specifications of our design, the maximum flow to measure is 120 lt/min., the Sensirion sensor SDP600 has a flow range from -100 to +250 lt/min. and a full span of 5% in the required measurement range, which guarantees its compliance with ISO 80601-2-12-2020 standard (Sensirion, 2023) and fits the proposed design. A disposable differential pressure sensor brand Maxtec Spiroquant H flow is used, and it has a range of 0 to 100 splt/min., adjusted to our requirements. The SensirionSDP600 sensor was selected, which fulfills the function of a differential pressure transducer. It has a pressure range of +/- 5 mbar, an accuracy of 3% of the reading. It also has an Integrated CMOSsens technology with I2C output, guaranteeing minimum noise and compensation for temperature variations.

Considering that the maximum pressure in the airways of the prototype is 80 cmH20, an absolute pressure transducer MPX5010GP (range up to 10KPa or 101.97 cm H2O) was included, which receives and adjusts the reading from the Sensirion sensor.

**User Interface**

The user interface developed in Python allows the doctor and/or medical personnel to configure the ventilator parameters and obtain information about the patient's physical condition. Further, this device enables the integration of other communication protocols between the control circuit and the display panel. As shown in Figure 3, the interface allows the medical personnel to determine the ventilation mode according to the patient's condition and treatment goals. It graphically shows the patient's vitals and the alarm system and displays the gas supply exchange behavior between the design and the patient.

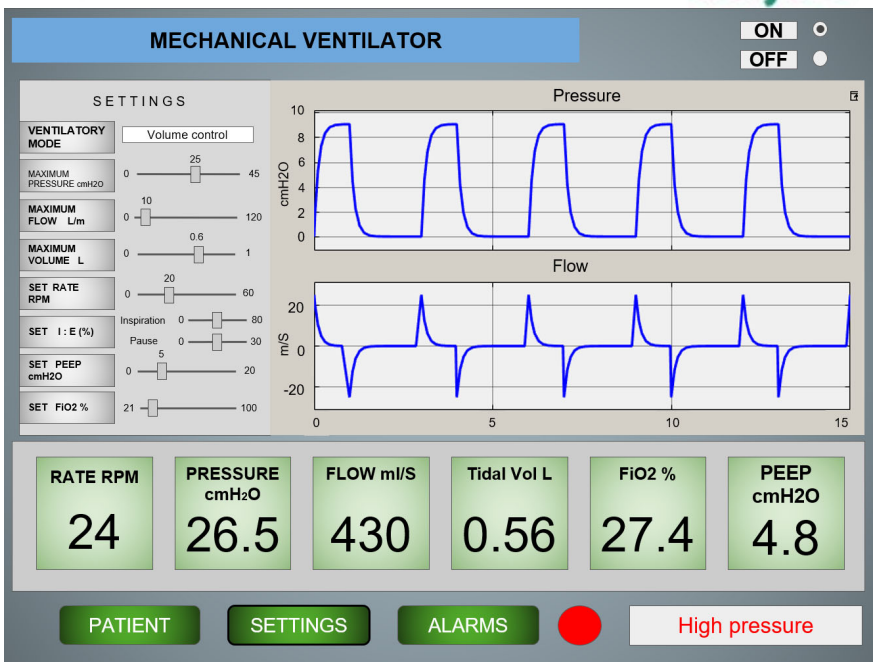



Fig. 3 The interface allows determine of the ventilation mode according to the patient's condition and treatment goals.

## Control System

To regulate the inspiratory flow, a proportional integral derivative (P.I.D.) strategy was used at the opening of an electro-pneumatic proportional valve, in volume control and pressure control modes (the characteristics of the P.I.D. controller are stated in the following section). The selected inspiratory proportional valve is the Camozzi AP7211.

This valve was chosen because it regulates 100 L/min with a maximum pressure of 10 bars and 2/2-way N.C. The prototype works with low flow and pressure ranges. For pressure regulation, the same flow control scheme is used. Nonetheless, the difference is found in the inspiratory pressure obtained from a sample in the circuit. This creates a feedback loop of the signal. This signal feedback is compared with the reference value calibrated/ tuned by the doctor or medical personnel when selecting the" Control pressure" mode.

To control the inspiration/expiration phases, the medical personnel can adjust the respiratory rate, the inspiratory time and the percentage of pause time in the prototype, which would determine the expiratory time.

To control the inspiration-expiration cycle, a disposable circuit with an exhalation valve, Hubson R.C.I. reference 1627 was used, adapting a Hubson RCI PEEP disposable mechanical valve reference 5385. For manual adjustment of positive pressure at the end of the expiration cycle from 2 to 20 cmH20, following the prototype's specifications.

The disposable H.M.E. filter shown in Fig. 4 is used as a heat exchanger and antibacterial filter for passive humidification of the airways. Many other commercial brands can be used as an alternative to the disposable HMEG filter. Digital control was performed on an entry-level Basys 3 FPGA board, designed for Vivado Design Suite, with Xilinx Artix-7 architecture. The general block diagram of Fig. 4 also shows the dependency of the interfaces with the control unit. The control circuit was implemented with the Verilog hardware description language, under a block diagram shown in Fig. 5.

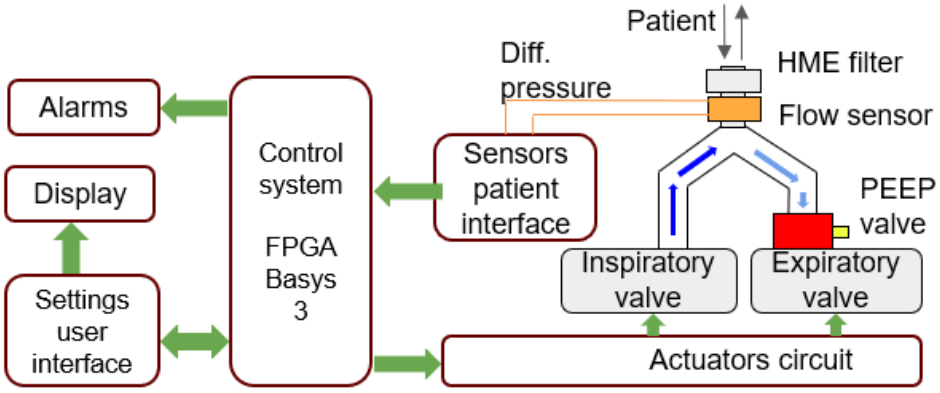



Fig. 4. Inspiration-Expiration cycle in the patient circuit. The general block diagram of the control System unit and its relationship with other interfaces.

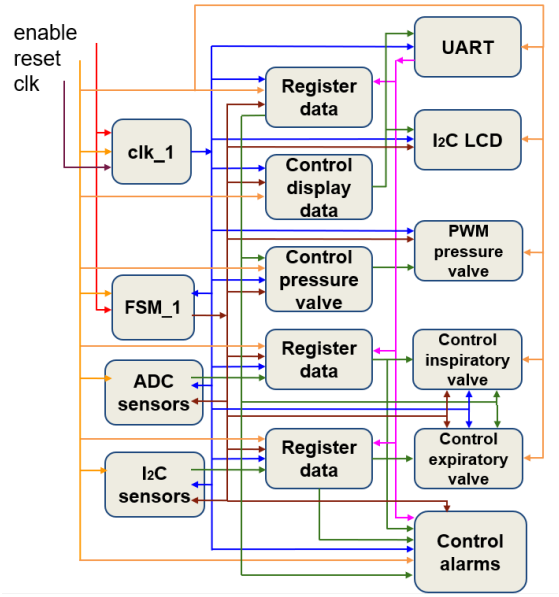



Fig. 5. The control circuit implemented with the Verilog hardware description language.

The implemented digital hardware control allows data acquisition processes, reading of sensors, while displaying results simultaneously during each patient's respiratory cycle. These outcomes are shown in real-time. Such processes would be carried out sequentially in other software-programmable digital circuits.

The principal advantage of using an FPGA for digital control is that the algorithm is personalized to the equipment. It is easy to update and adjust. In addition, it can be customized for different sizes to implement more efficient control strategies or incorporate other ventilation modes.

E. Power supply requires a connection to the 110V electrical network. Table I indicates the estimated power consumption, from which we determined that the prototype needs approximately. 1.3 amps of runtime per hour. The battery manufacturers for this type of equipment recommend that the minimum charge should be a maximum of 50%. According to the commercial specifications for mechanical ventilators, the overall energy autonomy is two (2) hours (Draeger, 2023; Getinge, 2023; Hamilton Medical, 2023). With these considerations, our prototype would use grade A lithium polymer battery cells model DL-PL2405 with a maximum current charge of five (5) amps to meet the two hours of autonomy (2.5 A) and the load at 50%.

Table 1. Prototype estimated power consumption.

| Interface | Voltage | Current (mA) |
|---|---|---|
| Pressure Valve | 24 | 271 |
| Inspiratory valve | 24 | 271 |
| Expiratory valve | 24 | 271 |
| Control Circuit | 3.3 | 130 |
| Power Circuit | 24 | 35 |
| Graphic Interface | 5 | 100 |
| Microcontroller | 5 | 160 |

**RESULTS**

In the project's first phase, the goal was to validate the correct operation of the electro-pneumatic unit. The circuit in Fig. 6 showed the relationship between proportional, inspiratory, and expiratory valves, along with the flow sensor and manual pressure regulator. Two indicated couplings were designed in 3D, to join the flow sensor with the corresponding valves.

To determine the correct control of cycle, flow and respiratory pressure, the parameters were measured with the Gas Flow Analyzer VT650 of the Fluke brand (figure 7-A). The ACCU Precision test lung from Fluke brand was used because of its 3 different compliances and resistances. Initially, small flow values were taken (Fig. 7-D) and pressure (Fig. 7-C) to examine the range of these parameters set for the prototype.

With those outcomes, it was determined that the system's response corresponds to that of a volume-controlled ventilator (fig. 7-B). Moreover, the valve's operation was demonstrated to conform to the respiratory cycle configured in the initial stage parameters.

Figure 8 shows the electro-pneumatic unit connected to the valve power control circuit, the gas flow analyzer, and the patient circuit with an artificial lung. The results confirmed that the unit correctly executes the three variables: the inspiration, expiration, and pause times. These respiratory cycle parameters were configured according to the product specifications using a graphical interface temporarily implemented on a Raspberry PI 4 microcomputer. To verify that the flow and pressure that reach the lungs, and meet the prototype' specifications, the pulse width modulation (P.W.M.) control was generated with the Raspberry to control the operation of the proportional valve.

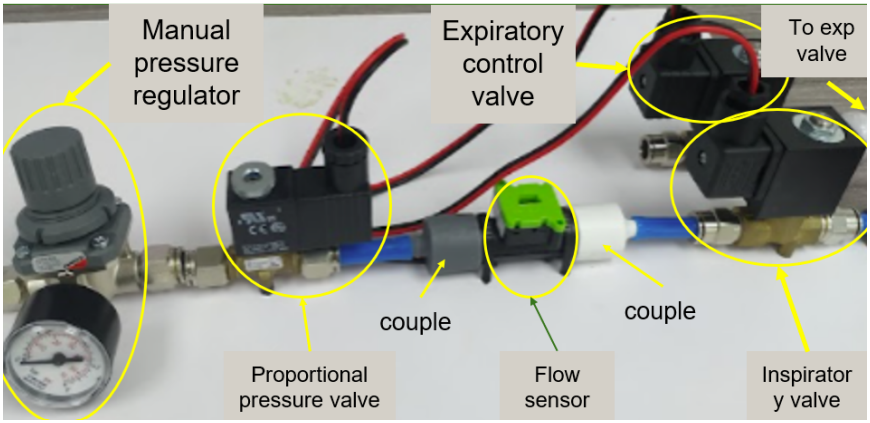



Fig. 6. Proportional, inspiration and expiration valve test circuit, includes the flow sensor with a manual pressure regulator.

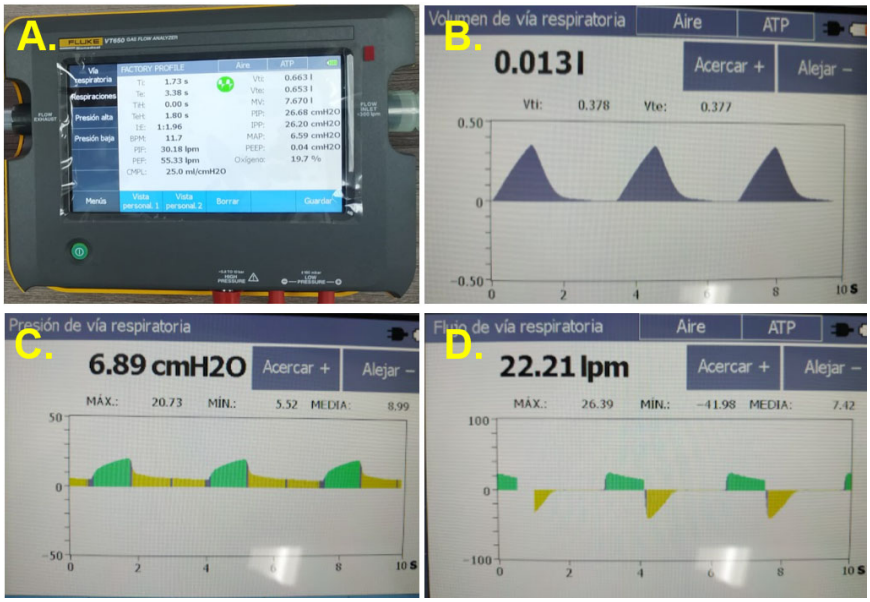



Fig. 7. Outcomes from controlling the respiratory cycle.(a) Gas Flow Analyzer Fluke, (b) Volume, (c) Pressure and (d) Flow.

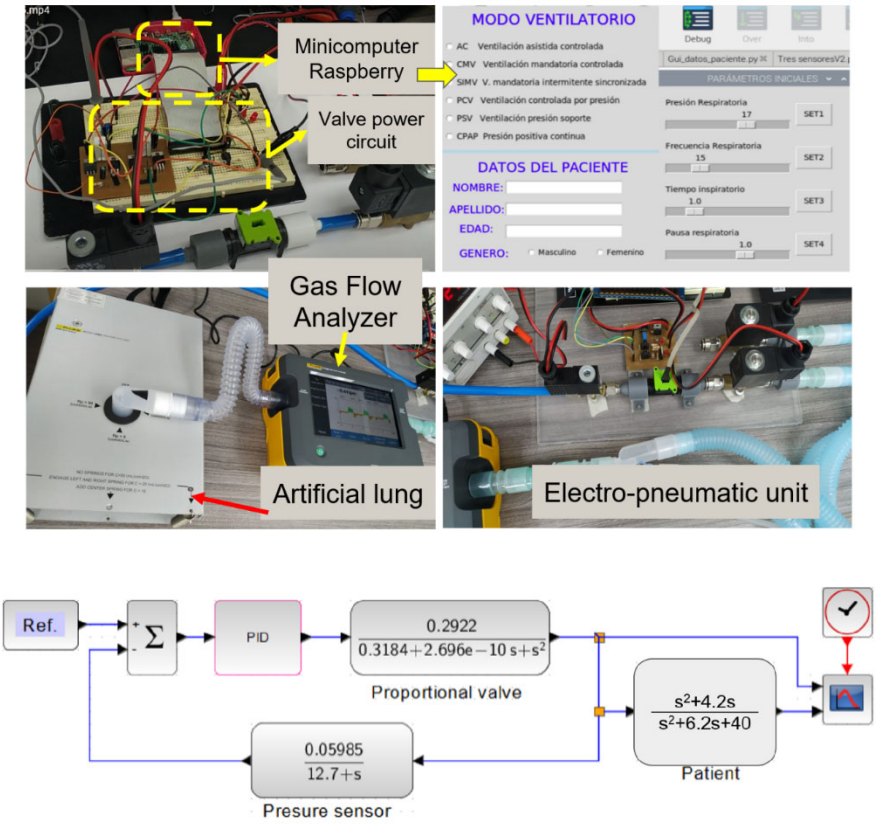



Fig 8. Electro-pneumatic unit connected to the power circuit, the gas flow analyzer and the patient circuit with an artificial lung and Block diagram of pressure regulation in pressure control mode.

The second phase was characterizing the proportional valve and the sensors to adjust the P.I.D. Figure. 8 shows the developed ventilator to control the solenoid valve in the volume control mode. The valve opens or closes according to the signal sent by the P.I.D. controller, thus allowing the flow of the gas mixture. The P.I.D. is executed only if there is a difference between the reference value (fixed by the doctor or medical team) and the signal captured by the inspiratory flow sensor from the patient. Equation 1 is the estimated transfer function for a proportional valve obtained from the characteristic curve provided by the manufacturer and modeled as a 2nd order system. Equations 2 and 3 indicate the estimated transfer functions of the pressure and flow sensors, respectively. They are modeled as first-order systems by a directly proportional relationship between the input and output signal.

$$TF_{valve} = \frac{0.2922}{s^2+2.69e^{-10}s+0.3184} \quad (1)$$

$$TF_{press} = \frac{0.05985}{s+12.7} \quad (2)$$

$$TF_{flow} = \frac{31.88}{s+31.65} \quad (3)$$

$$TF_{patient} = \frac{s^2+4.2s}{s^2+6.2s+40} \quad (4)$$

To verify that the P.I.D. design can control the flow at the valve exit with a "standard" error close to zero, it was implemented in XCos from the SciLab software. The patient transfer function (equation 4) was included as the load for P.I.D. control, and it was scaled by physiological compliance and resistance.

The curves of volume, flow and pressure obtained from the simulation are shown in Figures 9. Comparing the results with similar works (Frutos et al., 2003; Muñoz Bonet, 2003; Schönhofer & Sortor-Leger, 2002), it was possible to corroborate that the prototype operates adequately at the pressure and volume regulation modes.

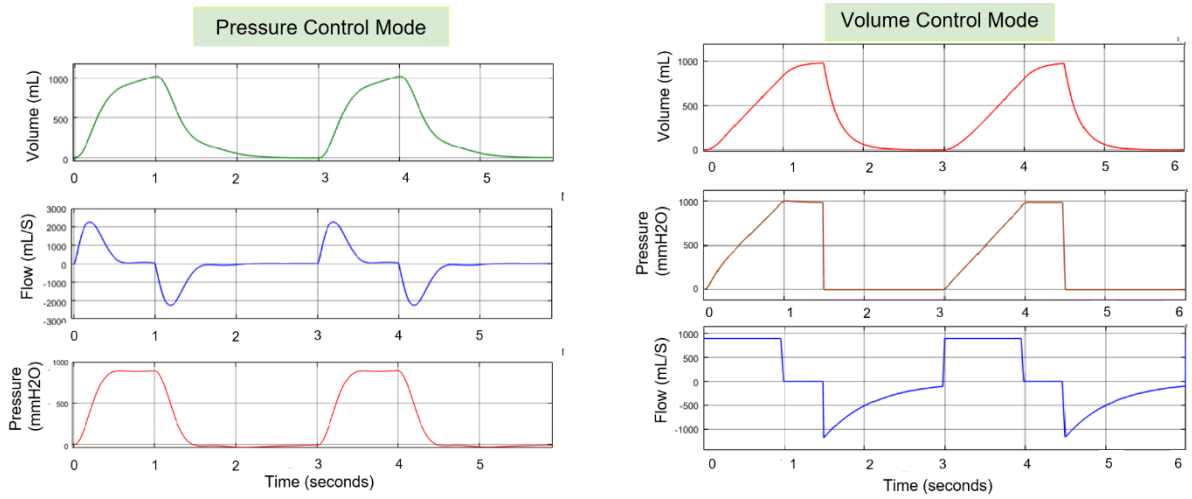



Fig. 9. Curves of volume, flow, and pressure obtained from the simulation in pressure control mode and in volume control mode.

For P.I.D.'s configuration in the volume control mode, the same pressure control was used from the scheme shown in Fig. 10. However, a change of variable from flow to volume must be made in the feedback loop before it is compared with the reference value. The P.I.D. tuning constants established for this system in the two control modes are shown in Table 2.

Table 2: PID Tuning Constants

| Constants | Pressure Control mode | Volume Control Mode |
|---|---|---|
| Proportional, Kp | 24 | 271 |
| Integral, ki | 24 | 271 |
| Derivative, Kd | 24 | 271 |

## DISCUSSION

The development of the low-cost mechanical ventilator prototype demonstrates significant potential in addressing the need for accessible ventilatory support, especially in low-resource settings. The design's adaptability across five ventilation modes—volume control, pressure control, pressure support, synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV), and continuous positive airway pressure (CPAP)—ensures versatility in treating various respiratory conditions. The use of proportional valves regulated by a PID control system allows precise management of inspiratory and expiratory phases, crucial for minimizing lung injury and maintaining stable gas exchange.

The integration of an FPGA-based control system provides real-time processing and easy updates, which is advantageous for adapting to different clinical requirements. The user interface, developed in Python, ensures intuitive operation, reducing the burden on healthcare providers in high-pressure environments. Initial validation using a Gas Flow Analyzer and artificial lung confirms the prototype's capability to maintain accurate tidal volumes and airway pressures, validating its functional design.

To enhance the prototype's applicability and ensure compliance with international biosafety standards, rigorous clinical validation is essential. Further development should prioritize refining the control algorithms to enhance stability and responsiveness under various patient conditions. Integrating advanced features, such as adaptive ventilation modes and machine learning algorithms for real-time adjustment of parameters, could significantly improve patient outcomes and operational efficiency. Additionally, the modular and open-source design offers a pathway for scalability and customization, facilitating local manufacturing and maintenance in low-resource settings. This approach not only addresses the immediate need for affordable ventilatory support but also fosters sustainable innovation and self-reliance in healthcare technology for underserved regions globally.

## CONCLUSIONS

In both stages, it was possible to demonstrate the correct/adequate physical operation of the electro-pneumatic unit and the efficient tuning of the P.I.D. controller for pressure and volume regulation. The next phase will be the implementation of the P.I.D. control system with the user and patient interface through an FPGA. Because it was a prototype, it is necessary to further conduct exhaustive operation tests for the electro-pneumatic unit, the control system, and the power unit to ensure its compliance with the biosafety standards for medical and life support equipment.

The future contribution of this project is the use of low-cost, compact equipment that can be easily scaled for its manufacture. Furthermore, due to its design, the patient circuit as well as the expiratory valve and the PEEP valve can be discarded after use, maintaining the device's biosafety. If the protocol for changing the

antibacterial filter at the inspiratory outlet remains, total asepsis of the equipment can be guaranteed for the next patient.

In future work, it will be suitable to implement additional ventilation modes algorithms so that the ventilator would become optimal for use in a wide range of different patient's conditions.

**ACKNOWLEDGMENT**

A special thanks to Prof. Gerwin Smit, from the Mechanical, Maritime and Materials Engineering, Medical Instruments & Bio-Inspired Technology Labs, Delft University of Technology.

**FUNDING**

This work was supported by the Department of European Integration by the Grant MINBUZA-2020.926889, The Kingdom of the Netherlands, for designing, implementing, and evaluating the mechanical ventilator.

**REFERENCES**

Akay, Metin., & IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. (1998). *Time frequency and wavelets in biomedical signal processing*. IEEE Press.

Al-Naggar, N. Q. (2015). Modelling and Simulation of Pressure Controlled Mechanical Ventilation System. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, *08*(10), 707–716. https://doi.org/10.4236/jbise.2015.810068

*Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020*. (n.d.).

Appelbaum, E., & Schmitt, J. (2009). Low-wage work in high-income countries: Labor-market institutions and business strategy in the US and Europe. In *Human Relations* (Vol. 62, Issue 12, pp. 1907–1934). https://doi.org/10.1177/0018726709349200

Arentz, M., Yim, E., Klaff, L., Lokhandwala, S., Riedo, F. X., Chong, M., & Lee, M. (2020). Characteristics and Outcomes of 21 Critically Ill Patients with COVID-19 in Washington State. In *JAMA - Journal of the American Medical Association* (Vol. 323, Issue 16, pp. 1612–1614). American Medical Association. https://doi.org/10.1001/jama.2020.4326

Camozzi. (2023). *Camozzi Products area - Catalogue. (s. f.).*

Chalkidou, K., Marquez, P., Dhillon, P. K., Teerawattananon, Y., Anothaisintawee, T., Gadelha, C. A. G., & Sullivan, R. (2014). Evidence-informed frameworks for cost-effective cancer care and prevention in low, middle, and high-income countries. In *The Lancet Oncology* (Vol. 15, Issue 3). https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70547-3

Chow, C. K., Ramasundarahettige, C., Hu, W., AlHabib, K. F., Avezum, A., Cheng, X., Chifamba, J., Dagenais, G., Dans, A., Egbujie, B. A., Gupta, R., Iqbal, R., Ismail, N., Keskinler, M. V., Khatib, R., Kruger, L., Kumar, R., Lanas, F., Lear, S., … Yusuf, S. (2018). Availability and affordability of essential medicines for diabetes across high-income, middle-income, and low-income countries: a prospective epidemiological study. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, *6*(10), 798–808. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(18)30233-X

Draeger. (2023). *Draeger*. https://www.draeger.com/Hospital/Ventilators

Farré, R., Gozal, D., Nguyen, V. N., Pearce, J. M., & Dinh-Xuan, A. T. (2022). Open-Source Hardware May Address the Shortage in Medical Devices for Patients with Low-Income and Chronic Respiratory Diseases in Low-Resource Countries. In *Journal of Personalized Medicine* (Vol. 12, Issue 9). MDPI. https://doi.org/10.3390/jpm12091498

Frutos, F., Alía, I., Lorenzo, M. R., García Pardo, O. J., Nolla, M., Ibáñez, J., Tirapu, J. P., Macías, S., Blanco, J., Benito, S., Anzueto, A., & Esteban, A. (2003). Utilización de la ventilación mecánica en 72 unidades de cuidados intensivos en España. *Medicina Intensiva*, *27*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/S0210-5691(03)79858-1

García Vicente, E., Sandoval Almengor, J. C., Díaz Caballero, L. A., & Salgado Campo, J. C. (2011). Ventilación mecánica invasiva en EPOC y asma. In *Medicina Intensiva* (Vol. 35, Issue 5, pp. 288–298). https://doi.org/10.1016/j.medin.2010.11.004

Getinge. (2023). *Mechanical Ventilation Products*. https://www.getinge.com/int/products

Hamilton Medical. (2023). *Mechanical ventilators for critical care — Hamilton Medical. (s. f.). Intelligente Beatmung*. https://www.hamilton-medical.com/en/

Hassani, H., Huang, X., & MacFeely, S. (2022). Impactful Digital Twin in the Healthcare Revolution. *Big Data and Cognitive Computing*, *6*(3). https://doi.org/10.3390/bdcc6030083

Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., … Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, *395*(10223), 497–506. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5

Maresova, P., Penhaker, M., Selamat, A., & Kuca, K. (2015). The potential of medical device industry in technological and economical context. In *Therapeutics and Clinical Risk Management* (Vol. 11, pp. 1505–1514). Dove Medical Press Ltd. https://doi.org/10.2147/TCRM.S88574

Muñoz Bonet, J. I. (2003). Definitions in mechanical ventilation. *Anales de Pediatria*, *59*(1), 60–66. https://doi.org/10.1016/s1695-4033(03)78150-8

Papanicolas, I., Woskie, L. R., & Jha, A. K. (2018). Health care spending in the United States and other high-income countries. In *JAMA - Journal of the American Medical Association* (Vol. 319, Issue 10, pp. 1024–1039). American Medical Association. https://doi.org/10.1001/jama.2018.1150

Parvinian, B., Scully, C., Wiyor, H., Kumar, A., & Weininger, S. (2018). Regulatory considerations for physiological closed-loop controlled medical devices used for automated critical care: Food and drug administration workshop discussion topics. *Anesthesia and Analgesia*, *126*(6), 1916–1925. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002329

Richardson, S., Hirsch, J. S., Narasimhan, M., Crawford, J. M., McGinn, T., Davidson, K. W., Barnaby, D. P., Becker, L. B., Chelico, J. D., Cohen, S. L., Cookingham, J., Coppa, K., Diefenbach, M. A., Dominello, A. J., Duer-Hefele, J., Falzon, L., Gitlin, J., Hajizadeh, N., Harvin, T. G., … Zanos, T. P. (2020). Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes among 5700 Patients Hospitalized with COVID-19 in the New York City Area. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, *323*(20), 2052–2059. https://doi.org/10.1001/jama.2020.6775

Salditt, P. (n.d.). *TRENDS IN MEDICAL DEVICE DESIGN AND MANUFACTURING*. www.fda.gov/cdrh/comp/designgd.html.

Schönhofer, B., & Sortor-Leger, S. (2002). Equipment needs for noninvasive mechanical ventilation. *European Respiratory Journal*, *20*(4), 1029–1036. https://doi.org/10.1183/09031936.02.00404202

Sensirion. (2023). *Gas flow sensors. (s. f.).* https://sensirion.com/products/catalog/

Staff, I. of Medicine., Grelijns, A. C., & Halm, E. A. (1900). *Changing Economics of Medical Technology.* National Academies Press.

Tomaskova, H., Maresova, P., Penhaker, M., Augustynek, M., Klimova, B., Fadeyi, O., & Kuca, K. (2019). The business process model and notation of open innovation: The process of developing medical instrument. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *5*(4). https://doi.org/10.3390/joitmc5040101

Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y., Li, Y., Wang, X., & Peng, Z. (2020). Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, *323*(11), 1061–1069. https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585

Yang, X., Yu, Y., Xu, J., Shu, H., Xia, J., Liu, H., Wu, Y., Zhang, L., Yu, Z., Fang, M., Yu, T., Wang, Y., Pan, S., Zou, X., Yuan, S., & Shang, Y. (2020). Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *The Lancet Respiratory Medicine*, *8*(5), 475–481. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30079-5

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN UTILIZANDO HERRAMIENTAS CAD-CAM PARA OBTENER TOCHOS POR CERA PERDIDA EN HORNO DE INDUCCIÓN AL VACÍO

**Leandro Ramírez Acosta[1], Abel Fumero Pérez[2], Andrés Parada Expósito[2]**

**[1]Empresa Emilio Bárcenas Pier**
**[2]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Cujae. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Ave 114 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba, CP 19390,**
[2]e-mail: afumero@mecanica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El taller de fundición a la cera perdida de la Empresa Emilio Bárcenas Pier, cuenta con un Horno de Inducción al Vacío de 100 kg y emplea un proceso de vertido que requiere elevada precisión, pues hay que alinear la copa de vertido del molde con el orificio de la bandeja de vertido que recibe el metal del crisol. Toda esta operación ocurre dentro de la cámara del horno.
Se propusó a la empresa un diseño de Sistema de Alimentación mediante una única colada que impedirá el movimiento del carro. Para optimizar el sistema de vertido, se diseñaron y simularon varios sistemas de alimentación a través de programas como "AUTODESK INVENTOR 2019" y "ALTAIR INSPIRE CAST 2021.1.
La simulación con estos programas permitió observar posibles defectos como la presencia de turbulencia, rechupe, porosidad, inclusiones no metálicas, tensiones internas y uniones frías, así como mejorar el rendimiento metálico. De todas las variantes simuladas, el diseño C, fue el de mejores resultados.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema de alimentación, cera perdida, simulación

## DESIGN AND SIMULATION OF A FEEDING SYSTEM USING CAD-CAM TOOLS TO OBTAIN LOST WAX BILLETS IN A VACUUM INDUCTION FURNACE

## ABSTRACT

The Emilio Bárcenas Pier industry investment casting factory has a 100 kg Vacuum Induction Furnace and uses a pouring process that requires high precision, since the pouring cup of the mold must be aligned with the hole in the pouring plate that receives the metal from the crucible. This entire operation occurs within the furnace chamber.
The company was proposed a Feeding System design using a single casting that will prevent the movement of the carriage. To optimize the pouring system, several feeding systems were designed and simulated through programs such as "AUTODESK INVENTOR 2019" and "ALTAIR INSPIRE CAST 2021.1.
The simulation with these programs allowed observing possible defects such as the presence of turbulence, shrinkage, porosity, non-metallic inclusions, internal stresses and cold joints, as well as improving metallic performance. Of all the simulated variants, design C was the one with the best results.

**KEY WORDS:** feeder, investment casting, simulation

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa militar Emilio Bárcenas Pier tiene instalado un horno de inducción al vacío modelo ZGJL–0.1–160–2.5, de 100 kg, único de su tipo en Cuba, que se encuentra en un período de puesta en marcha, cuya producción fundamental debe ser la obtención de piezas de acero inoxidable de bajo contenido de carbono.

La obtención de piezas mediante esta tecnología requiere de elevada precisión pues es una operación que se realiza dentro de la cámara del horno. Para entender su principio de funcionamiento es preciso conocer que cuenta con un crisol fijo, la bandeja de vertido, encargada de recibir el metal líquido proveniente del crisol, con un orificio de salida que debe coincidir con la copa de vertido de los moldes cerámicos.

Dichos moldes se fijan a una caja con arena que, a través de un carro, se ponen en movimiento en dirección a la cámara donde está la bandeja de vertido, para hacer coincidir la copa de vertido de uno de los moldes con el orificio de esta. Una vez que se llena el molde, se para el proceso de vertido del metal del crisol para mover el carro y colocar otro molde debajo del orificio de la bandeja y así hasta llenar todos los moldes.

Por cera perdida no es ideal fundir piezas de elevados espesores sino todo lo contrario, se obtienen piezas de espesores de pared finos. pequeñas y de elevada complejidad geométrica, no obstante, la obtención de semiproductos en forma de tochos es una solución viable a la problemática anterior, pues con estos, se pudieran obtener piezas por conformación, mejorando de esta manera sus propiedades mecánicas.

Un cliente potencial en el país que puede ser beneficiado con las producciones procedentes de esta tecnología, es el sector médico, necesitado de prótesis de caderas y de fijadores externos, por solo citar ejemplos.

El diseño de un sistema de alimentación incorrecto puede traer como resultado turbulencia, rechupe, porosidad, inclusiones no metálicas, tensiones internas y uniones frías, así como, la obtención de un rendimiento metálico bajo [1].

Los autores [2] muestran cómo las geometrías de base de bebedero modificadas influyen en la turbulencia. La corriente de fusión ascendente da como resultado un inicio más temprano del llenado de la primera entrada. Sin embargo, la energía de reflujo del metal fundido también influye en la fluctuación de la velocidad del flujo, cuando el metal fundido fluye a través de los alimentadores, esta fluctuación provoca turbulencias.

(Thammachot y otros [3] mencionan un grupo de criterios empleados para seleccionar el diseño óptimo, tras analizar varias propuestas de bebederos principales y su posición.

Realiza modificaciones en algunos componentes del sistema de alimentación como son la copa de vertido, el tragadero principal y la base del tragadero, en busca de un diseño óptimo que permita que el metal fundido fluya al mismo tiempo, hacia todas las cavidades del molde.

Entre otros criterios, plantea que una velocidad de flujo adecuada llenará completamente la cavidad del molde antes de que comience la solidificación; las grandes fluctuaciones generarán un flujo más turbulento y la velocidad de flujo ideal debe ser lo más suave posible con tiempos transitorios cortos y flujo estacionario durante la mayor parte del tiempo de llenado.

El objetivo del trabajo es Diseñar y simular un sistema de alimentación en cera perdida mediante metodologías de cálculo y herramientas "CAD" para la obtención de tochos vertidos en Horno de Inducción al Vacío libres de defectos y con el mayor rendimiento metálico posible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diagrama de flujo que se muestra en la figura 1 recoge los pasos fundamentales a realizar para la obtención de los semiproductos. A continuación, se muestran algunos criterios de ejecución, similar a lo propuesto por Harshwardhan y otros autores en su trabajo [4].

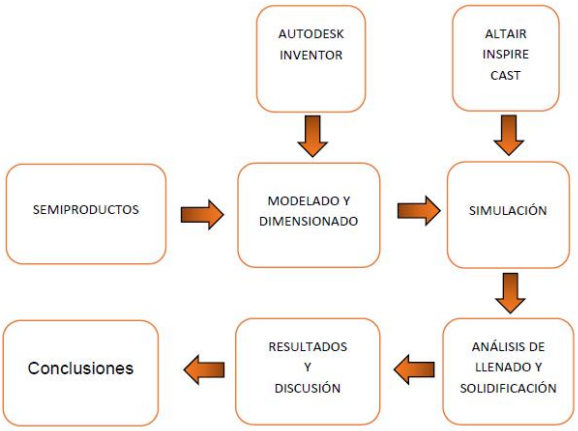



Figura 1. Metodología adoptada para el diseño del sistema de Alimentación

Para el diseño del tocho y mazarota se utilizó el software Autodesk Inventor 2019, donde se hizo un diseño acorde al método de los módulos [5]. Se diseñó un sistema con cuatro piezas, por tanto, la sumatoria del peso de cada pieza con su mazarota debe ser menor que 100 kg, dejando algunos para la copa de vertido, bebederos y conectores. Se diseñó también la mazarota con las menores dimensiones sin comprometer la relación volumétrica para de esa manera lograr el mayor rendimiento metálico.

En la simulación para la colocación de los diferentes parámetros y condiciones iniciales se usaron diversas opciones que brinda el programa Inspire Cast en su base de datos, entre las que se encuentra la selección del material, temperatura de vertido del metal, temperatura inicial del molde, espesor del molde.

**Dimensiones del semiproducto**

En la tabla 1 se recogen datos específicos de la pieza, donde, a una altura fija de 18 cm y diámetros variables se calcula el peso.

Tabla 1 Dimensiones del semiproducto o pieza

| $\frac{\pi}{4}$ | $D^2(cm^2)$ | H (cm) | ρ (gr) | Resultados | gr - kg | 4 Piezas (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.785 | 225 | 18 | 7.85 | 24957.1125 | 24.9 | 99.6 |
| 0.785 | 144 | 18 | 7.85 | 15972.552 | 15.97 | 63.88 |
| 0.785 | 100 | 18 | 7.85 | 11092.05 | 11.09 | 44.36 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.785 | 169 | 18 | 7.85 | 18745.5645 | 18.74 | 74.96 |
| 0.785 | 196 | 18 | 7.85 | 21740.418 | 21.74 | 86.96 |

Se selecciona la pieza de diámetro 10 cm ya que se debe tener en cuenta que la suma del peso de la pieza ($Gp$) con el peso de la mazarota ($G_m$), no puede sobrepasar los 25 Kg.

**Dimensiones de la mazarota más eficiente**

Sabiendo que la pieza tiene un peso de 11.09 kg, se tiene como tarea encontrar una mazarota eficiente para tener un resultado sin defectos y con un peso que no sobrepase a los 13.91 kg. En la tabla 2 se muestran los valores dados a los parámetros de una mazarota.

Tabla 2 Dimensiones de la mazarota más eficiente

| VALORES | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 |
|---|---|---|---|---|
| Diámetro del cuello de la mazarota | 95 mm | 90 mm | 85 mm | 80 mm |
| Diámetro de la mazarota | 116 mm | 111 mm | 107 mm | 101 mm |
| Altura de la mazarota | 116 mm | 111 | 107 mm | 101 mm |
| Ángulo de salida del cuello de la mazarota | 45° | 45° | 45° | 45° |
| Ángulo de salida del cuerpo de la mazarota | 5° | 5° | 5° | 5° |
| $\boldsymbol{G_m \leq 13\ kg}$ Peso de la mazarota | 12 kg | 11 kg | 10 kg | 8 kg |
| Resultados | Pieza Libre de poros | Pieza Libre de poros | Pieza Libre de poros | Pieza Con Defectos |

Como se observa en la tabla, de las variantes en que las piezas quedan libres de defectos, la variante 3 es la de menor peso y por tanto la más eficiente.

**Calculo del sistema de alimentación por el método de Ozann Dittert**

Se halla el área de control que sería la del conector por la fórmula siguiente:

$$A_{conector} = {}^{G}/_{\rho \times \tau \times \mu \sqrt{2 \times g \times h}} = 1.31\ cm^2 \qquad (1)$$

Donde:

$G$: masa total (kg o gr)
ρ: densidad de la masa fundida (g/cm$^3$)
t: tiempo óptimo de vaciado (s)
μ: coeficiente de resistencia
g: la aceleración de la gravedad (cm/s$^2$)
h: altura de la pieza junto a la mazarota

Con este valor se calcula el diámetro de entrada del conector que es 1.28 cm

**Área del bebedero**

Se propone un sistema de alimentación con presión. Este tipo de sistema garantiza un llenado completo del molde, lo que ayuda a evitar defectos como la porosidad y la falta de material en áreas críticas de la pieza fundida.

Se utiliza una relación de colada de (1,1.1,1.2). Se multiplica por 4 para garantizar un % mayor de caudal entrante a las 4 piezas, dicha multiplicación no afecta a la relación de colada, solo aumenta su valor y garantiza un mejor llenado hacia todas las áreas del sistema.

$$A_{bebedero} = 1.31 \times 4 \times 1.1 = 5.764\ cm^2 \quad (2)$$

Se estima una sección cuadrada de 2 cm de lado.

**Área de la copa de vertido**

$$A_{copa\ de\ vertido} = A_{bebedero} \times 1.2 = 6.91\ cm^2 \quad (3)$$

Con este valor se calcula el diámetro de entrada que es de 3 cm

**Distancia entre piezas**

$$\text{Distancia entre piezas} = {}^{p}/_{\text{cantidad de piezas}} = 7.85\ cm$$

Donde p es el perímetro de la pieza

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñaron y simularon tres Sistemas de Alimentación a la cera perdida. Se analizaron variables de salida como tiempo de llenado, análisis de flujo, porosidad y rendimiento metálico. En los experimentos se mantuvieron los siguientes parámetros constantes.

• Temperatura inicial de 1480°C (80° por encima de su temperatura de fusión).
• Temperatura inicial del molde 1000C°.
• Acero 316 L.
• fundición invertida a la hora de elegir método de fundición por gravedad.
• Se tuvieron en cuenta las medidas del interior de la cámara, con las de los sistemas de alimentación propuestos.
• Medidas del interior de la cámara (cm): (90,68, 69) – (largo, altura, ancho)

En la figura 2 se muestra la propuesta A

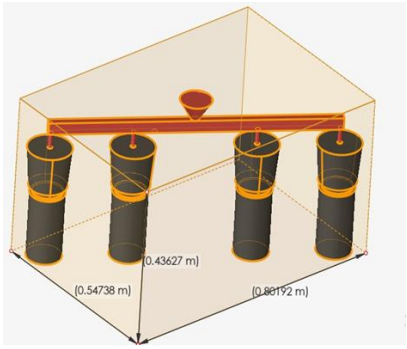



**Figura 2 Variante A**

**Tiempo de llenado**

En la figura 3 se observa que el llenado no fue parejo lo cual no es lo más adecuado

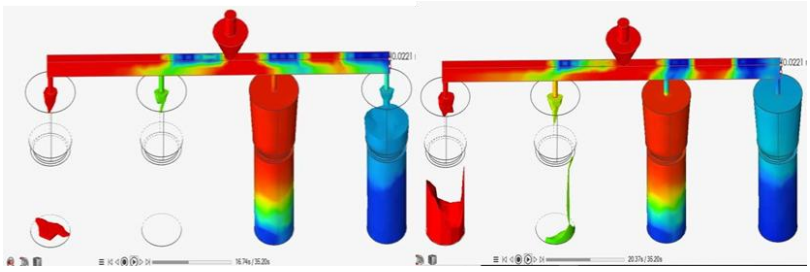


Figura 3 Llenado del sistema de alimentación

**Velocidad de flujo. Análisis de turbulencias**

En la figura 4 se muestra la evolución del flujo, hay tres llamadas de resultados, la de color verde indica el flujo máximo que está entrando al sistema, la de color azul indica el flujo que entra a la pieza controlado por el conector donde a los 15s aumenta causado por el llenado del área de este en la pieza lo cual trae aparejado una mayor turbulencia y por tanto posibles defectos.

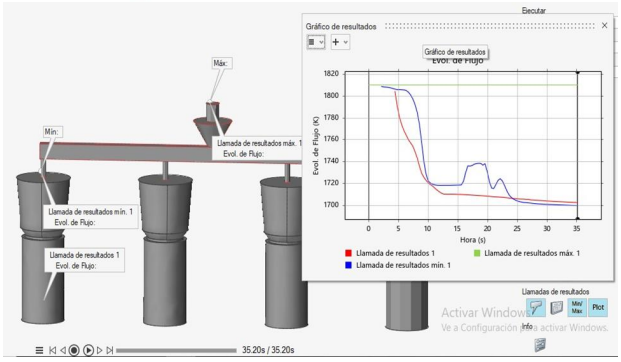



Figura 4 Análisis de flujo en el sistema de alimentación

**Porosidad**

En la figura 5 se observa que, a pesar del llenado irregular, la turbulencia en la entrada del flujo de metal solamente la pieza 1 queda con poros.

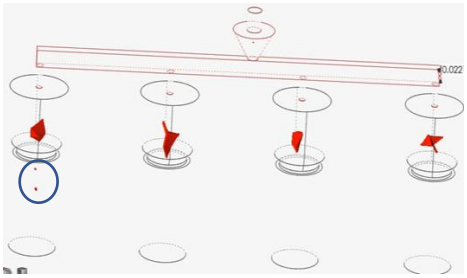


Figura 5 Análisis de poros en el sistema de alimentación

**Propuesta B**

En esta propuesta se optó por un sistema de alimentación que, comparado con la anterior, cuenta con un bebedero de menor longitud.

En la figura 6 se muestra el llenado de las piezas el cual no es homogéneo como la variante anterior

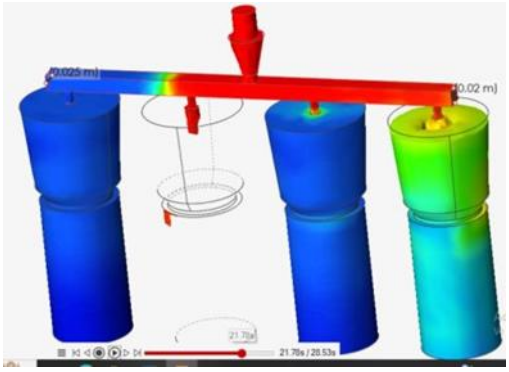


Figura 6 llenado de la variante B

**Velocidad de flujo. Análisis de turbulencia**

En la figura 7 se muestra el flujo que entra al sistema y se puede observar que hay una mayor entrada de flujo de metal lo cual es sinónimo de turbulencia y defectos, lo anterior pudo estar motivado por la menor longitud del bebedero.

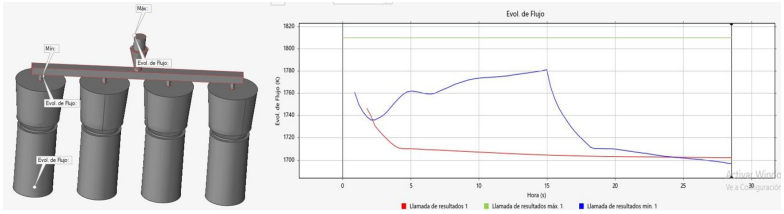



Figura 7 Análisis de turbulencia

**Porosidad**

En la figura 8 se obseva la presencia de poros en la pieza 1,2 y 4 debido a la turbulencia en el llenado

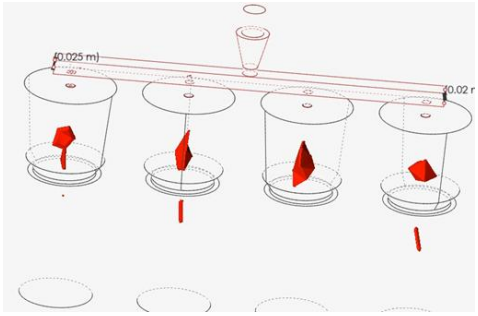



Figura 8 Porosidad en la variante B

**Propuesta C**

Para confeccionar esta propuesta se utilizó un diseño en forma de cruz, donde los bebederos se acoplan al bebedero central cuyo fondo está en forma de manzana (ver figura 9). Esto permite que el metal fundido fluya de manera más suave y controlada hacia las piezas a fundir. Al estar conectado al bebedero principal, se asegura una distribución uniforme del metal fundido en el conjunto de piezas del molde. (Thammachot et al, 2013).

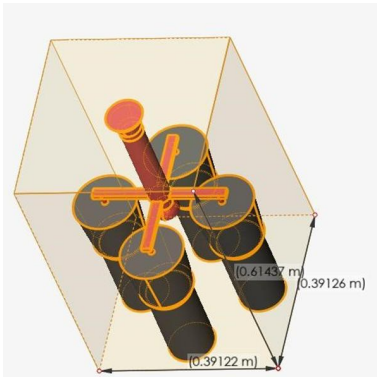



Figura 9 Diseño de propuesta C

En la figura 10 se muestra el llenado de las piezas. El llenado no fue homogéneo, sin embargo, no hubo grandes diferencias en el tiempo entre las cuatro piezas, pues, la última pieza se llenó en tan solo diez segundos. En las variantes anteriores el tiempo de llenado y la diferencia del llenado entre piezas fue mayor.

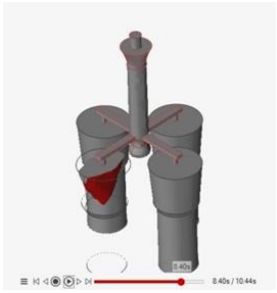


Figura 10 llenado en la variante C

**Velocidad de flujo. Análisis de turbulencia**

En la figura 11 se observa que la entrada de flujo controlada por el conector a la pieza se puede decir que es estable, sin aumentos bruscos como en los casos anteriores. Esto trae aparejado menor turbulencia y por tanto piezas libres de defectos.

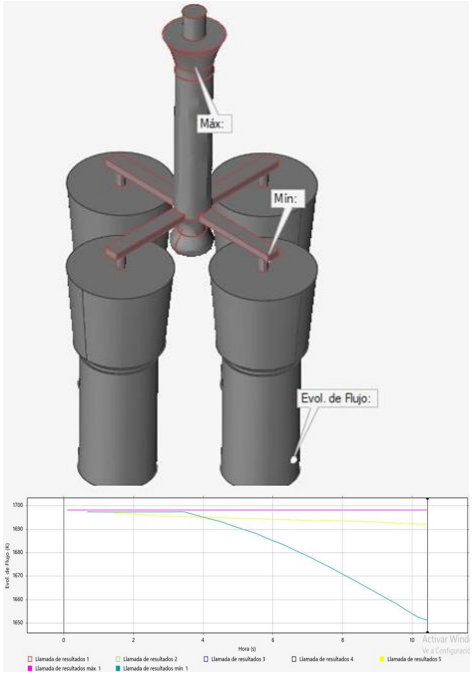


**Figura 11 Análisis de turbulencia**

**Porosidad**

En la figura 12 se observa la presencia de poros en una de las piezas muy parecido a lo que ocurre en la variante A pero en menor cuantía.

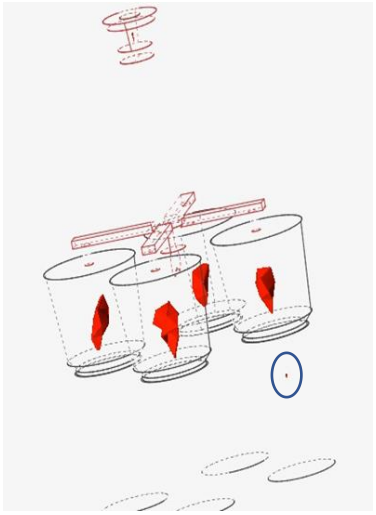


**Figura 12 Porosidad en la variante C**

**Rendimiento metálico**

En la tabla 3 se muestra el coeficiente de aprovechamiento metálico de las diferentes propuestas

Tabla 3 Rendimiento metálico de cada propuesta

| Propuestas | Peso de las 4 piezas sin mazarota ( kg) | Peso de las 4 mazarotas (kg) | Peso del sistema ( kg) | Peso total (kg) | Coeficiente de aprovechamiento % |
|---|---|---|---|---|---|
| Propuesta A | 44.36 | 40.96 | 6.9 | 92.22 | 48.10 |
| Propuesta B | 44.36 | 40.96 | 5.51 | 90.83 | 48.83 |
| Propuesta C | 44.36 | 40.96 | 6.34 | 91.66 | 48.39 |

## 4. CONCLUSIONES

De todas las variantes analizadas la C parece ser la más adecuada porque presenta un tiempo de llenado menor y más parejo entre las diferentes piezas, presenta menos turbulencia y menor presencia de defectos internos.

## REFERENCIA

1. Yang, L., Chai, L., Liang, Y., Zhang, Y., Bao, C., Liu, S., & Lin, J. Numerical simulation and experimental verification of gravity and centrifugal investment casting low pressure turbine blades for high Nb–TiAl alloy. Intermetallics, 2015, 66, 149-155.
2. Fischer-Bühner, J. Computer simulation of investment casting. Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2006.
3. Thammachot, N., Dulyapraphant, P., & Bohez, E. Optimal gating system design for investment casting of sterling silver by computer-assisted simulation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 67, 797-810.
4. Harshwardhan, L., Kaushik, R. C., Bheda, T., Somasundaram, M., & NarendraKumar, U. Simulation of Sand-Casting Process Using Altair Inspire Cast. In Recent Advances in Materials Technologies: Select Proceedings of ICEMT 2021 (pp. 447-456). 2022.
5. Chvorinov N (1940) Theory of solidification of castings. Giesserei 27:177–225.

## Sobre los autores

Leandro Ramírez Acosta, Ingeniero en Metalurgia y materiales en la empresa Emilio Bárcenas Pier.
Abel Fumero Pérez, Profesor Auxiliar y Doctor en Ciencia Técnicas de la Universidad Tecnológica de la Habana
Andrés Parada Expósito, Profesor Titular y Doctor en Ciencias Técnicas de la Universidad Tecnológica de la Habana

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PAUTAS PARA LA INSPECCIÓN Y EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS POTENCIALES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS DE RECUPERACIÓN DE AGUA FRÍA

**Ailyn Naranjo Navarro[1], Laura Fernández Cano[2], Glenda Gutiérrez García[3], Evelio Palomino Marín[4]**

[1]Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CEIM-Cujae. La Habana. Cuba, [2]Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CEIM-Cujae. La Habana. Cuba, [3]Centro de Inmunología Molecular, Calle 216 esquina 15. Atabey. Playa. La Habana. Cuba, [4]Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CEIM-Cujae. La Habana. Cuba.
[1]e-mail: anaranjo@mecanica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La investigación se centra en la definición de pautas para el monitorado de la condición de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría en una institución biotecnológica cubana, estableciendo los fundamentos necesarios para la medición y análisis de vibraciones e impulsos de choque en dichas bombas. El estudio prioriza el uso de cuatro bandas espectrales de alarma, orientadas a la detección de desbalances de masa, desgaste de impelentes, grietas en acoplamientos, desalineamientos y fallos en los bujes de goma de los acoplamientos. Asimismo, se examina el análisis de los impulsos de choque para el diagnóstico de fallos en los cojinetes de rodamientos, reconociendo la importancia de recopilar datos históricos y realizar análisis de tendencias debido a la variabilidad en las condiciones operativas y de instalación. Se sugiere una frecuencia inicial de mediciones semanales durante los dos primeros meses, con un posterior análisis de estabilidad que permita ajustar los intervalos de monitorado según sea necesario. Este enfoque asegura la obtención de información suficiente para llevar a cabo diagnósticos precisos y fundamentar las decisiones de mantenimiento de las bombas.

**PALABRAS CLAVES:** monitorado de condición, inspección y diagnóstico, bombas centrífugas, medición y análisis de vibraciones, impulsos de choque.

## GUIDELINES FOR THE INSPECTION AND DIAGNOSTIC OF POTENTIAL FAILURES IN COLD WATER RECOVERY CENTRIFUGAL PUMPS

## ABSTRACT

This research focuses on establishing guidelines for monitoring the condition of centrifugal pumps in the secondary cold-water recovery loop of a Cuban biotechnological institution, laying the groundwork for vibration and shock pulse measurement and analysis. The study prioritizes the use of four spectral alarm bands aimed at detecting mass imbalances, impeller wear, cracked couplings, misalignments, and failures in the rubber bushings of the couplings. Additionally, shock pulse analysis is addressed for diagnosing bearing faults, emphasizing the need for historical data collection and trend analysis due to the variability in operational and installation conditions. An initial measurement frequency of weekly intervals over the first two months is proposed, followed by a stability analysis to adjust the monitoring intervals as needed. This approach ensures the capture of sufficient data to conduct accurate diagnostics and make informed maintenance decisions for the pumps.

**KEY WORDS:** condition monitoring, inspection and diagnostic, centrifugal pumps, vibration measurement and analysis, shock pulses.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial moderno, la ingeniería de mantenimiento se ha consolidado como un pilar fundamental para la eficiencia operativa y la sostenibilidad de las empresas. El mantenimiento no solo se enfoca en la reparación de equipos averiados, sino que también abarca la prevención de fallos y el incremento del rendimiento de los activos. Entre las diversas estrategias para mantenimiento, el monitorado de condición se destaca por su capacidad para anticipar fallos mediante el análisis de parámetros críticos, permitiendo la planificación de intervenciones correctivas antes de que ocurra un fallo catastrófico.

El monitorado de condición se basa en la medición y análisis de diversos parámetros de los equipos, como las vibraciones, la temperatura, el estado del lubricante y otros indicadores de desempeño. Este enfoque permite detectar anomalías en etapas tempranas, facilitando la implementación de acciones correctivas que minimizan el tiempo de inactividad y los costos asociados con reparaciones mayores. En particular, la medición y análisis de vibraciones ha demostrado ser una técnica eficaz para el diagnóstico de fallos en máquinas rotatorias, como bombas centrífugas, motores y turbinas [1].

La presente investigación se desarrolla para las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría en una institución biotecnológica cubana, las cuales desempeñan un papel decisivo en el proceso productivo de la entidad.

El lazo secundario de recuperación de agua fría juega un papel fundamental en la regulación de la temperatura de los procesos de cultivo celular, esenciales para la fabricación de medicamentos. Este sistema, compuesto por cuatro bombas centrífugas, presenta un historial de fallos mecánicos que provocan interrupciones en la producción, lo cual afecta la disponibilidad de medicamentos y genera un impacto negativo desde todo punto de vista.

El mantenimiento actual se basa en un enfoque reactivo, donde las intervenciones solo se realizan después de que las bombas han presentado alguna falla, lo cual implica paradas no programadas, altos costos de reparación, riesgos para la seguridad y afectaciones a la vida útil de las bombas por lo que, la implementación de una estrategia de mantenimiento basada en la condición, que permita identificar y predecir follas potenciales en las bombas centrífugas, se torna imperativa para garantizar la operatividad del sistema de recuperación de agua fría y mitigar los riesgos y costos asociados a los fallos.

## 2. EL OBJETO DE TRABAJO

### Las bombas

Las bombas objeto de trabajo de esta investigación son cuatro, de las cuales una se encuentra fuera de servicio (BOGRUN 01). De las tres restantes, la segunda (BOGRUN 02) es de la serie NK 100-250/242 EUPA2F2AE-SBAQE de Grundfos y la tercera y cuarta (BOGRUN 03 y BOGRUN 04) son de la serie NK 100-315/334 A2-F-A-E-BAQE también de Grundfos. Las bombas BOGRUN 02 y BOGRUN 04 operan 24 horas. Aunque la bomba BOGRUN 03 también opera 24 horas, debido a que dispone de un motor eléctrico de mayor capacidad, se le ha instalado un variador de frecuencia fijado en 30 Hz. Todas las bombas son centrífugas de una sola etapa, no autocebantes, diseñadas según la norma ISO 5199 con dimensiones y rendimiento de acuerdo a el estándar EN 733.

### Fallos en las bombas centrífugas

A través de indagaciones realizadas con especialistas de la entidad, se obtuvieron datos sobre los fallos en estas bombas los cuales se resumen en la Tabla 1.

Atendiendo a lo contemplado en la propia Tabla 1, se puede afirmar sin duda alguna que la tecnología apropiada para monitorar la condición de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría es la Medición y Análisis de Vibraciones por cuanto estos fallos, provocados por causas de

naturaleza mecánica, todos sin excepción pueden ser identificados a través de la medición y el análisis de vibraciones en banda estrecha (análisis espectral).

Tabla 1. Principales fallos en las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría.

| FALLO | CAUSA |
|---|---|
| Ruido anormal | Acoplamiento agrietado |
| | Mal estado de los bujes de goma del acoplamiento |
| | Rodamientos en mal estado |
| Bomba trancada | Rodamientos colapsados |
| Insuficiente presión de descarga | Desgaste excesivo del impelente |
| Ausencia de flujo de salida | Impelente fracturado |

## 3. El MÉTODO

Para el desarrollo de la presente investigación se ha utilizado un instrumento Colector Analizador de Vibraciones VIBSCANNER de la compañía alemana PRÜFTECHNIK AG, con capacidad para efectuar mediciones tanto en banda ancha como en banda estrecha. Observe la Figura 1.



Figura 1. VIBSCANNER. Fuente: Hyatt Industries Ltd.

Tomando en cuenta todo lo investigado en torno a las bombas centrífugas de marras, el monitorado de condición de estas se sustentará en la medición y el análisis de vibraciones orientado a:

a. Medición y análisis de vibraciones en banda ancha.
b. Medición y análisis de vibraciones a través de bandas espectrales de alarma.
c. Medición y análisis de impulsos de choque.

**Medición y análisis de vibraciones en banda ancha**

Como es conocido y tal y como se aprecia en la Figura 2, las vibraciones constituyen la manifestación de las fuerzas dinámicas provocadas por los defectos, condicionadas por la dinámica del sistema, entiéndase por esto la Función Transferencia en el caso del dominio de Laplace (tiempo) y la Función Respuesta de Frecuencias en el dominio de Fourier. Este último dominio es el que se está representando en la Figura 2 [2; 3].

A los efectos del monitorado de condición de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría, se propone para la medición y análisis de vibraciones en banda ancha el monitorado de:

**Valor Pico**

Con el objetivo de disponer de este parámetro para el cálculo del Factor de Cresta.

**Valor RMS**

Con el objetivo de disponer de este parámetro para el cálculo del Factor de Cresta.

**Factor de cresta**

Con el objetivo de disponer de alertas tempranas sobre patrones de impacto cuyo origen de manera general radica en fallos potenciales en cojinetes de rodamiento en su etapa inicial. El Factor de Cresta es el cociente entre el Valor Pico y el Valor RMS y se le deberá dar seguimiento de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3.

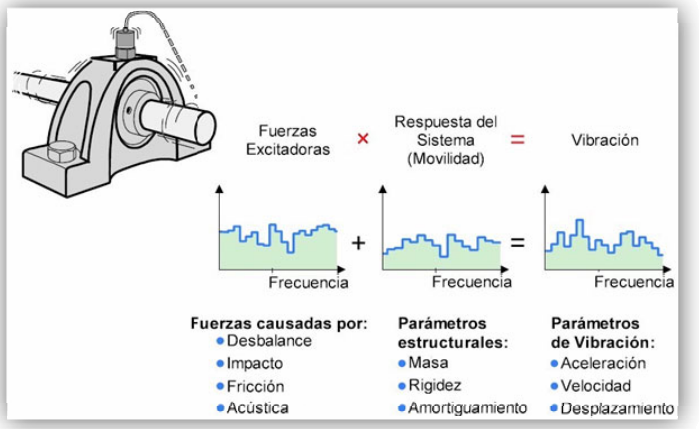



Figura 2. Relación fuerza - vibraciones. Fuente: Brüel & Kjær Sound and Vibration

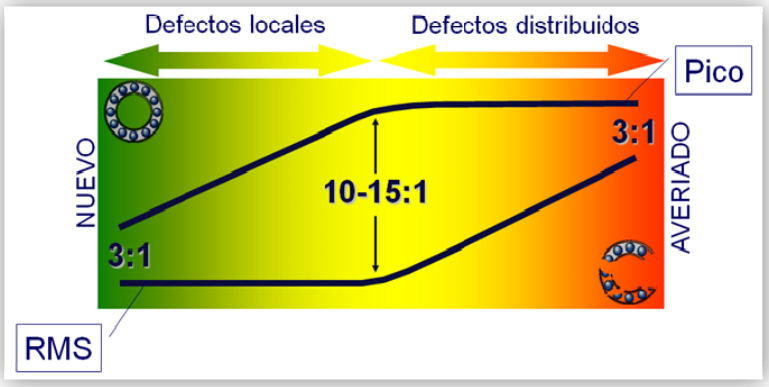



Figura 3. Comportamiento del Factor de Cresta de acuerdo al estado del cojinete de rodamiento. Fuente: cursos impartidos por el Dr.C. Evelio Palomino Marín

Sin embargo, debido a factores tales como el tipo de máquina específico, su construcción, su instalación y sus condiciones de operación, será necesario definir límites a partir de la historia vibroacústica de cada máquina (que aún no existe para las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría), a través de la cual se puedan estimar valores medios o lo que es lo mismo, introducir el tratamiento estadístico en el procesamiento. En otras palabras, el análisis estadístico se introduce como un método para cuantificar y caracterizar la historia. Claro está, no se debe perder de vista que los niveles de vibraciones difieren en virtud de la posición y orientación del transductor, razón por la cual los límites estadísticos deberán ser calculados para cada posición y para cada orientación del transductor.

El concepto estadístico para este tipo de análisis es relativamente simple. Cinco o seis mediciones registradas en un mismo punto y en una misma orientación bastarán para obtener una media estadística que represente el valor normal más la desviación estándar que a su vez represente la variación respecto al valor normal [4; 5].

La teoría estadística establece que el 68.3% del total de las mediciones estará contenida en una banda de $\pm\sigma$, que el 95.5% lo estará en una banda de $\pm 2\sigma$ y que el 99.7% estará contenido en una banda de $\pm 3\sigma$.
La experiencia ha demostrado que se puede establecer como nivel de alerta aproximadamente $2.5\sigma$, lo cual proporciona alta sensibilidad a los cambios en el comportamiento de las mediciones con gran inmunidad a las falsas alarmas. No obstante, si $2.5\sigma$ produjese muchas falsas alarmas, entonces la alerta se podrá reajustar a $2.8\sigma$ ó $3\sigma$ [4; 5].

Sin dudas, el tratamiento estadístico de esta información posee la gran ventaja de que está basado en las condiciones reales de la máquina en cuestión, que contempla variaciones normales pero que además, es sensible a los cambios y todo ello a diferencia de los límites absolutos que pueden admitir cambios excesivos sin que se emitan señales de alerta. El tratamiento estadístico asegura el anuncio de comportamientos anormales.

**Medición y análisis de vibraciones a través de bandas espectrales de alarma**

El análisis en banda ancha es más sensible a los defectos que se manifiestan a la frecuencia fundamental o a bajas frecuencias en general. Sin embargo, aquellos defectos que se manifiestan a frecuencias medias o altas, no son portadores de suficiente energía como para influir en el nivel total de las vibraciones y por ello, modifican los resultados de las mediciones en banda ancha cuando están próximos a convertirse en fallos [6].

Es por ello, que aunque se reconoce la necesidad de medir y analizar vibraciones en banda ancha, es imprescindible el análisis espectral para identificar defectos en sus etapas tempranas. Se sabe que la evaluación a nivel de defecto se puede realizar atendiendo a tres tecnologías a saber, Bandas espectrales de alarma, Envolvente espectral de banda estrecha y Espectro de referencia [6].

No hay dudas de que cada una de ellas resulta de mucha utilidad, pero a los efectos del monitorado de condición de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría, la tecnología de análisis por bandas espectrales de alarma resulta apropiada para este tipo de máquina además de ser una tecnología de demostrada efectividad. Tales bandas espectrales de alarma serán configuradas para identificar oportunamente la presencia de las causas de los fallos recogidos en la Tabla 1 de acuerdo a los síntomas vibroacústicos recogidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación causa - síntoma vibroacústico.

| CAUSA | SÍNTOMA VIBROACÚSTICO |
|---|---|
| Acoplamiento agrietado | Desbalance |
| Desgaste excesivo del impelente | Desbalance, BPF |
| Mal estado de los bujes de goma del acoplamiento | Desbalance y Solturas, RBPF |
| Rodamientos en mal estado | Impulsos de choque (Relación dBm/dBc) |
| Rodamientos colapsados | Impulsos de choque (Relación dBm/dBc) |

**Impulsos de Choque (SPM)**

En el mercado actual de instrumentos para la medición y el análisis de vibraciones, existen instrumentos o bien dedicados exclusivamente a cojinetes de rodamientos o bien con funciones para la evaluación de la condición de este tipo de elemento de máquina, realizando la medición en bandas de frecuencias ultrasónicas. Tal es el caso por ejemplo, de los Impulsos de Choque registrados y procesados por el VIBSCANNER (Figura 1). Sin embargo, es imprescindible tener presente que las mediciones ultrasónicas deberán ser tenidas en cuenta como un indicador y no como el indicador del estado del rodamiento. De

hecho, el análisis de estos niveles conjuntamente con las mediciones de vibraciones en la banda de audio, permite precisar mucho más la condición mecánica del cojinete de rodamiento [7].

En los rodamientos de una máquina pueden aparecer problemas en las pistas, en los elementos rodantes y en la jaula, pudiendo presentarse también cualquier combinación de estos. Dichos defectos, generan un solo tipo de señal, atendiendo al tipo de rodamiento que se esté estudiando, de acuerdo con su diseño, las cargas actuantes y las holguras en éste. Es necesario señalar también que las frecuencias que se generan en cojinetes de rodamientos defectuosos pueden sumarse o restarse de forma tal que en los espectros no aparezcan estas frecuencias, todo lo cual complica sobre manera el análisis de los espectros [8].

Tomando en cuenta que hasta el momento de redactar este artículo no había sido posible encontrar la codificación de los rodamientos instalados en las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría y que en la entidad donde se ha desarrollado la presente investigación se dispone de un VIBSCANNER (observe la Figura 1), se aplicará la tecnología de Impulsos de Choque (SPM) para el monitorado de la condición de los cojinetes de rodamientos de las mencionadas bombas.

La Tecnología SPM también conocida como dBm/dBc, parte del método original del impulso de choque (SPM) y se utiliza para obtener un diagnóstico relativamente rápido y confiable del estado de funcionamiento de los cojinetes de rodamiento [7].

A lo largo de su vida útil, los cojinetes de rodamiento generan choques en el vínculo entre el elemento rodante cargado y la pista de rodadura. Cuando estos choques "resuenan" en el transductor de impulso de choque, se generan pulsos eléctricos proporcionales a la magnitud del choque. A diferencia de los transductores de vibración, el transductor de impulso de choque responde a su frecuencia de resonancia de alrededor de 32 kHz, lo cual permite una medición calibrada de las amplitudes del impulso de choque [7].

Los impulsos de choque del cojinete se propagan a través del material y son captados por el transductor. Este convierte los choques en señales eléctricas, que son procesadas para proporcionar un valor de umbral (dBc) y un valor máximo (dBm). El medidor de impulsos de choque cuenta la tasa de ocurrencia (impulsos de choque entrantes por segundo) y varía el umbral de medición hasta que se determinan estos dos niveles de amplitud:

La amplitud del impulso de choque depende de tres factores básicos:

a. El tamaño del rodamiento y sus rpm.
b. El grosor de la película de lubricante (distancia entre las superficies metálicas en la interface de rodadura). El grosor de la película de aceite depende del suministro de lubricante, así como de la alineación y la carga.
c. El estado mecánico de las superficies del cojinete (rugosidad, tensiones, daño, partículas de metal sueltas).

El efecto de la velocidad de rodadura en la señal se neutraliza al introducir la velocidad de rotación en *rpm* y el diámetro del eje en *mm* como datos de entrada. Esto establece un valor inicial (dBi) que es el punto de partida de la escala "normalizada" para evaluar la condición.

Una vez que tales valores se le introducen al VIBSCANNER, el instrumento ajusta automáticamente los parámetros dBc y dBm. Luego de realizada la medición del Impulso de Choque dBsv, el instrumento determinará el dBN, restando del valor medido dBsv el dBi. De manera que, será el dBN el valor que la instrumentación pondrá a disposición del especialista para su seguimiento, atendiendo de modo general a las recomendaciones de la Figura 4.

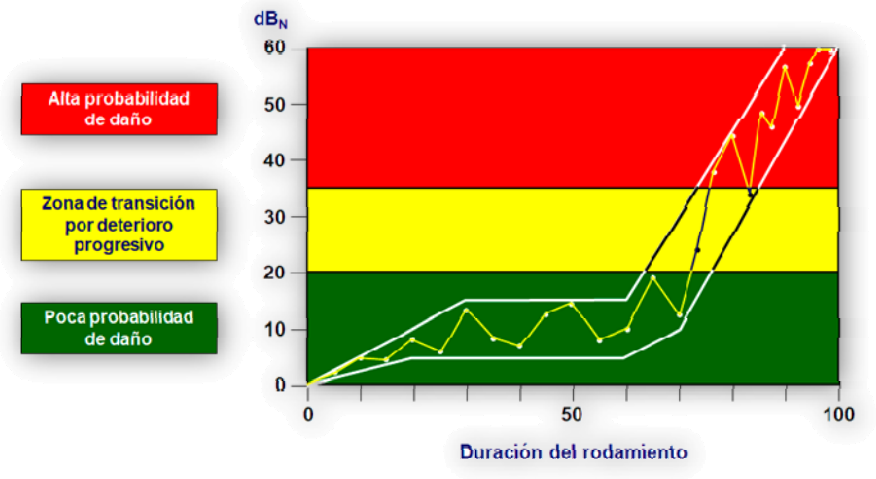



Figura 4. Monitorado de condición de cojinetes de rodamiento a través de los Impulsos de Choque. Fuente: PRÜFTECHNIK AG.

## 4. LAS PAUTAS

En la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5, se muestran las frecuencias de diagnóstico calculadas para cada bomba y de acuerdo a las causas de fallos recogidos en la Tabla 2.

Tabla 3. Frecuencias de diagnóstico de la bomba BOGRUN 02.

| CAUSA | EXPRESIÓN DE CÁLCULO | FRECUENCIA DE DIAGNÓSTICO [Hz] |
|---|---|---|
| Acoplamiento agrietado | $f_o$ | 29.17 |
| Desgaste excesivo del impelente | $f_o$ | 29.17 |
| | $f_o$ x No. de álabes | 175.00 |
| Mal estado de los bujes de goma del acoplamiento | $f_o$ | 29.17 |
| | $f_o$ x No. de bujes | 175.00 |

Tabla 4. Frecuencias de diagnóstico de la bomba BOGRUN 03 (variador de frecuencia en 30 Hz).

| CAUSA | EXPRESIÓN DE CÁLCULO | FRECUENCIA DE DIAGNÓSTICO [Hz] |
|---|---|---|
| Acoplamiento agrietado | $f_o$ | 14.67 |
| Desgaste excesivo del impelente | $f_o$ | 14.67 |
| | $f_o$ x No. de álabes | 88.00 |
| Mal estado de los bujes de goma del acoplamiento | $f_o$ | 14.67 |
| | $f_o$ x No. de bujes | 88.00 |

Tabla 5. Frecuencias de diagnóstico de la bomba BOGRUN 04.

| CAUSA | EXPRESIÓN DE CÁLCULO | FRECUENCIA DE DIAGNÓSTICO [Hz] |
|---|---|---|
| Acoplamiento agrietado | $f_o$ | 29.33 |
| Desgaste excesivo del impelente | $f_o$ | 29.33 |
| | $f_o$ x No. de álabes | 176.00 |
| Mal estado de los bujes de goma del acoplamiento | $f_o$ | 29.33 |
| | $f_o$ x No. de bujes | 176.00 |

**Configuración de las bandas espectrales de alarma**

Para configurar las Bandas Espectrales de Alarma se trabajó sobre la base de las frecuencias de diagnóstico calculadas y mostradas en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5.

Ahora bien, la literatura consultada [4; 5] propone el uso de 6 bandas espectrales de alarma para máquinas centrífugas con número de álabes conocido, lo cual corresponde con las bombas del lazo secundario de recuperación de agua fría. De manera que, conociendo el número de álabes del impelente, se podrán definir bandas espectrales independientes para efectuar el seguimiento del comportamiento de la componente a la frecuencia de paso de álabes (BPF) y de las frecuencias de diagnóstico de los cojinetes de rodamientos.

Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, no fue posible encontrar los códigos de los rodamientos instalados en las bombas. Esto hizo entonces que fuera necesario optar por otra tecnología que, aunque basada en medición y análisis de vibraciones, no resulte imprescindible el conocimiento del código del rodamiento para calcular las frecuencias de diagnóstico de este, tal es el caso de los Impulso de Choque.

De manera que, para el monitorado de la condición de estas bombas del lazo secundario de recuperación de agua fría a través de bandas espectrales de alarma se trabajó sólo con 4 bandas espectrales. Para la bomba BOGRUN 02, fijando una frecuencia máxima de 200 Hz y aplicando las recomendaciones de la bibliografía [4; 5] se obtuvo la Tabla 6, contentiva de la configuración de las bandas espectrales de alarma para esta bomba.

Tabla 6. Configuración de las bandas espectrales de alarma para la bomba BOGRUN 02.

| BANDA No. | FRECUENCIA INFERIOR [HZ] | FRECUENCIA SUPERIOR [HZ] | ALARMA ESPECTRAL [mm/s] |
|---|---|---|---|
| 1 | 2.00 | 35.00 | 4.59 |
| 2 | 35.00 | 64.17 | 2.04 |
| 3 | 64.17 | 140.00 | 1.79 |
| 4 | 140.00 | 200.00 | 3.06 |

Así mismo, para la bomba BOGRUN 03, fijando una frecuencia máxima de 100 Hz y aplicando las recomendaciones de la bibliografía [4; 5] se obtuvo la Tabla 7, contentiva de la configuración de las bandas espectrales de alarma para esta bomba, las cuales han sido calculadas para la velocidad de operación actual de 880 r.p.m., toda vez que esta máquina tiene instalado un variador de frecuencias configurado a 30 Hz.

Tabla 7. Configuración de las bandas espectrales de alarma para la bomba BOGRUN 03.

| BANDA No. | FRECUENCIA INFERIOR | FRECUENCIA SUPERIOR | ALARMA ESPECTRAL [mm/s] |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | 17.60 | 4.59 |
| 2 | 17.60 | 32.27 | 2.04 |
| 3 | 32.27 | 70.40 | 1.79 |
| 4 | 70.40 | 100.00 | 3.06 |

Finalmente, para la bomba BOGRUN 04, fijando una frecuencia máxima de 200 Hz y aplicando las recomendaciones de la bibliografía [4; 5] se obtuvo la Tabla 8, contentiva de la configuración de las bandas espectrales de alarma para esta bomba.

Tabla 8. Configuración de las bandas espectrales de alarma para la bomba BOGRUN 04.

| BANDA No. | FRECUENCIA INFERIOR | FRECUENCIA SUPERIOR | ALARMA ESPECTRAL |
|---|---|---|---|
| 1 | 2.00 | 35.20 | 4.59 |
| 2 | 35.2 | 64.53 | 2.04 |
| 3 | 64.53 | 140.80 | 1.79 |
| 4 | 140.80 | 200.0 | 3.06 |

**La medición de vibraciones**

Las vibraciones en las tres bombas es decir, BOGRUN 02, BOGRUN 03 y BOGRUN 04 deberán ser medidas siempre que sea posible, en las direcciones Radial Vertical, Radial Horizontal y Axial. Desde luego, en los puntos 3 y 4 (observe la Figura 5) resulta imposible realizar mediciones axiales y en el punto 5 basta con realizar la medición radial horizontal.

Claro está, es menester señalar que aunque esta investigación centra su atención en las bombas y no en los motores eléctricos, la necesidad de identificar oportunamente problemas de desalineamiento y la imposibilidad de medir axialmente en el punto 3, conducen a la necesidad de medir axialmente en el punto 2 tanto en el eje horizontal como en el vertical de la cara frontal del motor eléctrico, tal y como se muestra en la Figura 5.

Se medirá Velocidad Pico y Velocidad RMS en milímetros por segundo en banda ancha y para el caso de las mediciones en banda estrecha se medirá Velocidad Pico en milímetros por segundo, con 400 líneas espectrales, hasta una Frecuencia máxima de 200 Hz para las bombas BOGRUN 02 y BOGRUN 04 así como 100 Hz para la bomba BOGRUN 03, aplicando ventana de ponderación Hanning y trabajando con 4 promedios espectrales.

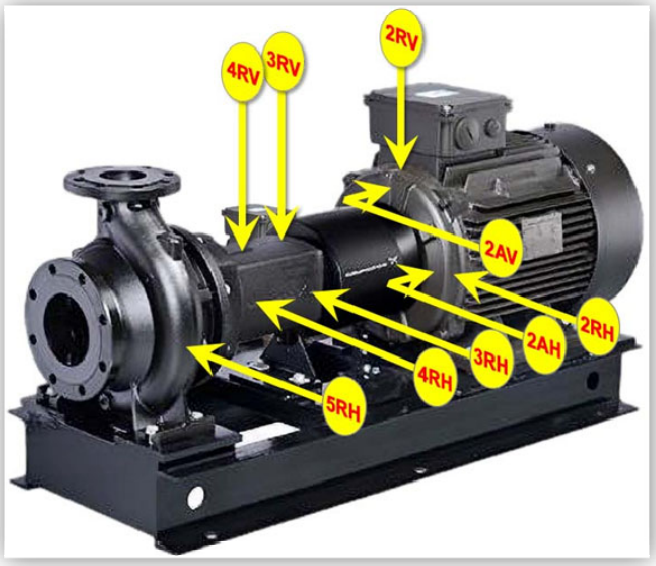



Figura 5. Puntos recomendados para realizar las mediciones de vibraciones.

Se utilizará el Acelerómetro piezoeléctrico VIB 6.142R que acompaña al VIBSCANNER que ofrece una Sensibilidad de 1.0 μA/m/s$^2$ y posee una Frecuencia de resonancia de 36 kHz. El acelerómetro se "fijará" utilizando para ello su soporte magnético y se propone efectuar mediciones semanales durante los

primeros dos meses para luego realizar un análisis y de ser necesario efectuar correcciones en el ancho de las bandas y los niveles de alarma por banda [9].

**La medición de los Impulsos de Choque**

Para la tecnología SPM, el VIBSCANNER se hace acompañar del acelerómetro VIB 6.142R cuyas características de sensibilidad y respuesta de frecuencias se mencionaron anteriormente. El acelerómetro de "fijará" a través de su soporte magnético y se medirán los Impulsos de Choque semanalmente, durante los primeros dos meses para luego realizar un análisis de estabilidad de las mediciones y de ser necesario incrementar o reducir los intervalos de medición.

## 5. CONCLUSIONES

El monitorado periódico de las vibraciones y los impulsos de choque con instrumento portátil, constituye la estrategia viable para el diagnóstico detallado y el posterior pronóstico de fallo de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría.

El monitorado de condición de las bombas centrífugas del lazo secundario de recuperación de agua fría, basado en la medición y el análisis de sus vibraciones a través de cuatro bandas espectrales de alarma, permite el monitorado del desbalance de masa producido por el desgaste excesivo de los impelentes y los acoplamientos agrietados, así como el posible desalineamiento y el mal estado de los bujes de goma del acoplamiento.

El acopio y seguimiento histórico de los resultados de la aplicación de la tecnología de medición de impulsos de choque, permitirá el monitorado de condición de los cojinetes de rodamientos aún desconociendo los códigos que los identifican.

## RECONOCIMIENTOS

Resulta imprescindible reconocer la colaboración de la Ingeniera Glenda Gutiérrez García que aunque es coautora del trabajo, desde su posición en el Departamento de Organización y Control del Mantenimiento de la institución biotecnológica propietaria de las bombas objeto de trabajo ha desarrollado una labor muy meritoria, permitiendo que este trabajo haya llegado a feliz término.

## REFERENCIAS

1. TIAN, J.; MORILLO, C., et al. "Motor bearing fault detection using spectral kurtosis-based feature extraction coupled with K-nearest neighbor distance analysis". IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2015, vol. 63, nº 3, p. 1793-1803. ISSN 0278-0046.
2. LIU, X.; MOU, J., et al. "A review of pump cavitation fault detection methods based on different signals". Processes. 2023, vol. 11, nº 7, p. 2007. ISSN 2227-9717.
3. DUTTA, N., KALIANNAN, P., PARAMASIVAM, S. "A comprehensive review on fault detection and analysis in the pumping system". International Journal of Ambient Energy. 2022, vol. 43, nº 1, p. 6878-6898. ISSN 0143-0750.
4. PALOMINO, E. MONITORADO Y PREDICCIÓN. Actualidad Industrial. Editado por: Ceim. 1 ed. La Habana: Cujae, 2003, ISBN 978-959-261-407-9.
5. BERRY, J. E. Proven Method for Specifying Both Six Spectral Alarm Bands as well as Narrowband Alarm Envelopes using today's Predictive Maintenance Software Systems Editado por: Charlotte, T. a. O. 4th ed. Technical Associates of Charlotte Inc., 2006
6. TIBONI, M.; REMINO, C., et al. "A review on vibration-based condition monitoring of rotating machinery". Applied Sciences. 2022, vol. 12, nº 3, p. 972. ISSN 2076-3417.
7. SPM, I. Shock Pulse Meter Technology. www.spminstrument.com: SPM Instrument, 2020, Disponible en: (https://www.spminstrument.com/measuring-techniques/shock-pulse-monitoring/dbm-dbc/).

8. DUTTA, N., KALIANNAN, P., PARAMASIVAM, S. "A comprehensive review on fault detection and analysis in the pumping system". International Journal of Ambient Energy. 2022, vol. 43, nº 1, p. 6878-6898. ISSN 0143-0750.
9. WU, T.; YOU, D., et al. "Research status and development trend of piezoelectric accelerometer". Crystals. 2023, vol. 13, nº 9, p. 1363. ISSN 2073-4352.

**sobre los autores**

**Ailyn Naranjo Navarro**

Graduada de Ingeniería Mecánica en 2022. Se desempeña en el Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento como Profesora Instructora en las asignaturas Sistemas de Mediciones Industriales y Mantenimiento Proactivo. Además, forma parte del equipo de investigadores del Proyecto “Tecnologías para el Mantenimiento” del Grupo de Ingeniería de Mantenimiento del CEIM. Actualmente desarrolla su Maestría en Ingeniería Mecánica en el tema de “Monitorado de condición de bombas centrífugas”.

**Laura Fernández Cano**

Graduada de Ingeniera Mecánica en 2024. Labora actualmente en la Empresa ESINES perteneciente a la OSDE BioCubaFarma.

**Glenda Gutiérrez García**

Graduada de Ingeniería Mecánica en 2015, desde el año 2020 se desempeña como Especialista A en Gestión del Mantenimiento en el Departamento de Organización y Control del Mantenimiento de una institución biotecnológica cubana. Actualmente desarrolla su Maestría en Ingeniería de Mantenimiento en el tema de “Monitorado de condición de bombas centrífugas”.

**Evelio Palomino Marín**

Graduado de Ingeniería Mecánica en 1981. Es Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, fundador del Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento y actualmente ejerce cátedra universitaria en diferentes asignaturas relativas a la Ingeniería de Mantenimiento, liderando además el Proyecto “Tecnologías para el Mantenimiento” del Grupo de Ingeniería de Mantenimiento del CEIM.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# GESTIÓN DE LA LUBRICACIÓN Y LOS LUBRICANTES EN LA INDUSTRIA

**Alejandra Elena García Toll[1], Laksmi Penabad Sanz[1], Carlos Deus Aguilera[1], Carlos Barrera Rodríguez[1], Francisco Martínez Pérez[1], Francisco de la Torre Silva[1]**

[1]CEIM, Facultad de Ingeniería Mecánica, CUJAE. Calle 114 e/Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana.
[2]Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica, CUJAE. Calle 114 e/Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana. [4]Trasporte, MININT.
[1]e-mail: alejandga@mecanica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Una apropiada gestión de lubricación industrial garantiza el correcto funcionamiento de las máquinas, la calidad de los productos terminados, la seguridad, la preservación del medio ambiente y eficiencia energética. Contar con una guía para garantizar una correcta gestión es indispensable. El objetivo de este trabajo es proponer un modelo que permita la gestión de la lubricación y los lubricantes. El modelo propuesto se concibió como un sistema de ciclo cerrado enfocado en los procesos y la calidad. Tomó como base el Ciclo PHVA de Deming (planificar, hacer, verificar y actuar), que aparece en la ISO 9001:2015 “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”, a cada fase incluye un conjunto de etapas y de cada etapa presenta cinco aspectos: información de entrada, actividades, revisión, información de salida y métrica.

**PALABRAS CLAVES:** gestión de lubricación, gestión de lubricantes, modelo de gestión.

## LUBRICATION AND LUBRICANT MANAGEMENT IN INDUSTRY

## ABSTRACT

Appropriate industrial lubrication management guarantees the quality of finished products, safety, environmental preservation and energy efficiency. Having a guide to guarantee correct management is essential. The objective of this work is to propose a model that allows the management of lubrication and lubricants. The proposed model was conceived as a closed-loop system focused on processes and quality. It was based on Deming's PHVA Cycle (plan, do, check and act), which appears in ISO 9001:2015 “Quality management systems. Requirements”, each phase includes a set of stages and each stage presents five aspects: input information, activities, review, output information and metrics.

**KEY WORDS:** lubrication management, lubricant management, management model.

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de mantenimiento, incluye a la gestión de la lubricación como uno de los aspectos claves para garantizar las funciones de los activos [1] La lubricación protege las superficies, permite controlar la fricción, el desgaste y la temperatura de las superficies en movimiento relativo, también puede emplearse para el diagnóstico de los equipos industriales. El Ministerio de Industrias en Cuba es el encargado de regir el mantenimiento industrial en el país, su Resolución 66 de 2021, Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento Industrial, es la plataforma donde se combina el talento humano con las estrategias organizativas, las operaciones de mantenimiento de una instalación, optimizando el rendimiento de los activos físicos y procesos, ordenados por un sistema informativo que garantiza seguridad para las personas y evita o minimiza las pérdidas por paradas de la producción. [2] La Resolución 66 incluye la lubricación como uno de los aspectos fundamentales para la preservación de los sistemas tecnológicos. En el Capítulo VII de dicha resolución, desde el artículo 36 al 41, se orientan las acciones generales para el manejo de los lubricantes, su uso, control y almacenamiento, esto se hace con el propósito de lograr una correcta disciplina en la gestión de la lubricación [2]

Una apropiada gestión de la lubricación permite emplear lubricantes eficientes y limpios, contar con lubricantes sin degradación y posibilita el uso del análisis de aceite para el diagnóstico de los activos. Además, una buena gestión de la lubricación contribuye a disminución de la contaminación ambiental y el aumento de la disponibilidad, la calidad, la eficiencia y la seguridad.

Para diseñar un modelo de gestión es necesario además de conocer a profundidad las actividades de lubricación, investigar modelos de gestión exitosos conocidos en el ámbito de la gestión empresarial y de mantenimiento. Se estableció como objetivo de la investigación diseñar un modelo para la gestión de la lubricación y los lubricantes en el sector industrial.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para el desarrollo de la investigación además de la revisión de artículos científicos para la identificación de las buenas prácticas de la lubricación y el análisis de los modelos, se realizó la observación participativa de las acciones de lubricación en diferentes entidades del sector industrial.

Entre los artículos científicos estudiados se encuentra el de Crespo A, et al, 2009 [3], desarrollan un modelo de gestión de mantenimiento con el objetivo de orientar las actividades a realizar. El modelo consta de 8 fases enmarcadas en cuatro bloques, eficacia, eficiencia, evaluación y mejora. Esto permite detallar las fases y agruparlas declarando su objetivo dentro del proceso de gestión. Sin embargo, Viveros P, Crespo A, et al [4], proponen en 2013, un modelo también de gestión de mantenimiento de 7 etapas, que promueve la mejora continua, integra varias herramientas de gestión de mantenimiento aportando una un esquema que armoniza los objetivos de la organización y los de mantenimiento. Después de estudiar ambos trabajos, se considera que se proponen modelos que por su complejidad dificultan la adaptabilidad a las organizaciones a las que se dirige este trabajo.

En el artículo “Modelo de la gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y la optimización de la energía eléctrica”, Mercado V, Peña JB, 2016 [5], se muestra un modelo que considera algunos elementos de la norma ISO 9001, “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”, en su versión del 2000. Está compuesto de 6 bloques, un primer bloque para la planificación y programación, un segundo bloque dedicado al soporte, el tercero a la instrumentación, el cuarto para la información a partir de los instrumentos de gestión concebidos, el quinto para el control y el sexto para la retroalimentación. Aunque toma como base el modelo de Deming (planificar, hacer, controlar, actuar), no se restringe a este y propone 6 etapas. Este modelo funciona de forma similar a un sistema de control automático y se basa fundamentalmente en los resultados obtenidos con la instrumentación.

El modelo de gestión de mantenimiento creado por Marrero RA, Vilalta JA, Martínez E, 2019 [6], da una especial relevancia a los aspectos de diagnóstico, planificación y control, de la actividad, se centra en la mejora continua para facilitar la toma de decisiones. Se indica la elaboración de un plan de perfeccionamiento, que permite solucionar las deficiencias encontradas y mantener el ciclo de mejora con la retroalimentación del proceso. Es una buena referencia para gestionar la lubricación dentro del mantenimiento, puede guiar la concepción de un modelo como el que se concibe en esta investigación.

Huertas TE, et al, 2020 [7], realizan la revisión de los modelos de gestión y los elementos de aplicabilidad, su relación con la misión, la cultura, la complejidad del entorno y el estado de la tecnología. Se considera un estudio abarcador que orienta cómo determinar la configuración del modelo y los elementos que permiten implementarlo, controlarlo y evaluarlo. Para la presente investigación este análisis es de utilidad como base para el diseño del modelo.

Entre los documentos estudiados no se ha podido encontrar un modelo detallado que permita la gestión de la lubricación y los lubricantes. En el caso de un modelo para la industria, si se consideran las características de los trabajadores a los que va dirigido el modelo de gestión de lubricación, se requiere que este sea simple y estén explicados todos sus elementos. Se empleó, además, como referencia la

encuesta realizada a especialistas, que permitió conocer los aspectos fundamentales a considerar para realizar la lubricación, la preservación de los lubricantes y la evaluación de la gestión de lubricación [1].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para el diseño del modelo se tomó como base, la norma ISO 9001:2015 "Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos". [8] Esta norma mantiene la aplicación del Ciclo PHVA de Deming, que incluye 4 fases: planificar, ejecutar, controlar y actuar, para gestionar procesos. Este esquema está caracterizado por su sencillez, adaptabilidad, aplicabilidad a diferentes organizaciones para la mejora continua, lo que contribuye a la obtención de una calidad superior en los productos.

El modelo de la gestión de la lubricación, los lubricantes y los recursos humanos que se propone, se concibió como un proceso cuyas fases están integradas, como se muestra en la figura 1, consta de cuatro fases, estas son: planificar, hacer, verificar y actuar. Estas fases se interrelacionan y retroalimentan, cada una se formó con varias etapas; todos estos elementos coexisten y contribuyen a cumplir el objetivo de maximizar la calidad, la seguridad, el cuidado medioambiental, la eficiencia energética y la económica, en un contexto operacional dado.




**Fig. 1.** Esquema general de análisis de la gestión de la lubricación y los lubricantes. [9]

En la figura 2, se relacionan las etapas que comprenden las cuatro fases antes mencionadas. La fase Planificar posee cuatro etapas, diagnóstico, concertación, diseño y programación. La fase Hacer tiene cuatro etapas, recepción, almacenamiento, ejecución y disposición final. La fase Controlar tiene una sola etapa, evaluación y la fase Actuar, análisis y propuesta de medidas, como única etapa.

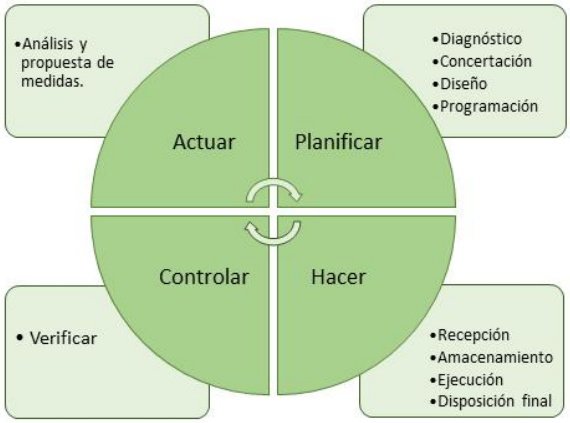



**Fig. 2.** Propuesta de modelo para la gestión de la lubricación y los lubricantes. [9]

El modelo de gestión de la lubricación fue enfocado en los tres aspectos más significativos de toda organización: los procesos, el recurso humano y la tecnología. Por tanto, es importante que la configuración del modelo incluya todos los aspectos adecuados al entorno de la organización y deben ser seleccionados los indicadores adecuados para evidenciar el alcance de buenos resultados empresariales, tal como fue recomendado en las referencias [5 y 6].

A continuación, se expone el objetivo de cada etapa que componen el modelo, ordenadas por fases.

Fase 1: Planificar
Etapa 1: Diagnóstico de la actividad de lubricación
• Objetivo: Evaluar el estado de la gestión de lubricación referido a cómo se planifica, ejecuta, controla y actúa, en el proceso de lubricación.
Etapa 2: Concertación
• Objetivo: Socializar la información recopilada en el diagnóstico para la concepción del plan de medidas y responsables de estas.

Etapa 3: Diseño
• Objetivo: Diseñar las acciones de recepción, almacenamiento, ejecución y control del proceso de lubricación, tomando como base las mejores prácticas de lubricación.
Etapa 4: Programación
• Objetivo: Proyectar las actividades de lubricación que permita definir en qué momento y con qué recursos materiales y humanos, se ejecutarán las acciones de lubricación.

Fase 2: Hacer.
Etapa 1: Recepción.
• Objetivo: Lograr que los productos y materiales que se reciban cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la etapa de diseño, y garantizar la integridad de los lubricantes, la preservación del medio ambiente, la seguridad y la salud del personal.
Etapa 2: Almacenamiento.
• Objetivo: Garantizar que la manipulación de los productos se realice de forma que cumpla con las orientaciones y reglamentaciones definidas en la etapa de diseño, con un nivel mínimo de productos en existencia, así como una fácil identificación de los mismos, para el logro de materiales libres de contaminación y degradación.

Etapa 3: Ejecución.
• Objetivo: Efectuar las acciones concebidas en la fase de planificación para lubricación de los activos y la capacitación de los recursos humanos, que permitan el uso y manejo correcto de los lubricantes sin que ocurra contaminación ni degradación.

Etapa 4: Disposición final de los lubricantes usados.
• Objetivo: Colectar los lubricantes usados y materiales contaminados, para que se garantice el cumplimiento de las normas establecidas, con el fin de que no se produzcan riesgos medioambientales y de seguridad.

Fase 3: Controlar.
Etapa 1: Verificar.
• Objetivo: Verificar que lo planificado se corresponda con lo ejecutado. (Se confrontan los indicadores establecidos haciendo especial énfasis en los resultados de los programas de inspección y diagnóstico).

Fase 4: Actuar.
Etapa 1: Análisis y propuesta de medidas.
• Objetivo: Proponer la solución de los problemas a partir de la identificación de las causas de las desviaciones detectadas en la fase anterior.

A continuación, se describen las actividades que se realizar en la gestión de la lubricación y los lubricantes.

Fase 1: Planificar.

Etapa 1.1: Diagnóstico.

Permite evaluar la actividad de gestión de lubricación, gestión de lubricantes y la gestión de recursos humanos, en la organización para conocer el estado de esta y las deficiencias fundamentales. Se puede ejecutar siempre que se quiera conocer el estado de la gestión en un instante determinado como herramienta de autoevaluación. Para ello se debe diagnosticar el proceso de gestión de la lubricación, los lubricantes y los recursos humanos. Esta actividad se realiza empleando un documento para la evaluación o autoevaluación, diseñado o adaptado a las características de la organización que se va a valorar, que permita un análisis objetivo del desempeño de esta. Ese documento de evaluación se puede elaborar o actualizar en la etapa de diseño de la presente fase. El diagnóstico permite la identificación de las buenas prácticas empleadas, las deficiencias, así como las áreas de mayores posibilidades de mejora.

El informe de evaluación se realiza con el objetivo de identificar los aspectos positivos y los negativos que permitan la concepción de medidas de mejora, o rediseñar el proceso, en caso de ser necesario. El informe de evaluación expondrá los resultados, la calificación de cada aspecto de la evaluación, considerando el cumplimiento de las metas, y contiene la firma de conformidad del responsable. Se recomienda agrupar los aspectos a evaluar de forma que se puedan identificar las áreas de mejores resultados y las que requieren trasformaciones.

Etapa 1.2: Concertación.

Permite analizar con los implicados los resultados del diagnóstico, concebir las soluciones y definir un plan de medidas. Se exponen las buenas prácticas empleadas, las deficiencias, así como las áreas de mayores posibilidades de mejora. Es importante mostrar el impacto económico de las malas prácticas, así como los impactos ambientales, social y funcional de las formas incorrectas de ejecutar la lubricación. Se conciben y formalizan las medidas necesarias para lograr el perfeccionamiento de las actividades de lubricación. Como resultado de esta actividad se obtiene un plan de medidas que contiene las actividades a realizar en función de las prioridades y posibilidades reales de la organización. No debe faltar la definición de los responsables y la fecha de cumplimiento. Al concluir la actividad de concertación, se elabora un acta de la reunión que contiene los acuerdos, con la definición de las actividades a realizar, responsable y fecha de cumplimiento, aprobado por el nivel correspondiente, el acta incluye el plan de medidas.

Etapa 1.3: Diseño.

En esta etapa se crea o actualiza la política de lubricación, de inspección, diagnóstico y capacitación, además se conciben los requerimientos del personal involucrado con la actividad de lubricación. La etapa de diseño se encarga de la proyección de la actividad de la lubricación, considerando la propuesta del plan de mejora derivado de la reunión de concertación o de los informes técnicos con propuestas de medidas concebidas en la fase 4.

Se definen las especificaciones técnicas de los lubricantes tomando como base el estudio de lubricación, para el par o los pares tribológicos que se estudian, contando con el manual del fabricante del equipo, el estudio de compatibilidad de los lubricantes, los requisitos del lubricante y las características del par tribológico a lubricar, además debe incluirse la frecuencia de lubricación y cambio de lubricante, así como la cantidad de lubricante a emplear en cada acción. De forma similar se conciben las especificaciones técnicas de los materiales y los instrumentos a emplear tanto para lubricar como para evaluar los resultados del proceso de lubricación, por ejemplo, los instrumentos para realizar las acciones de inspección y diagnóstico. Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los lubricantes a emplear en los activos, y las necesidades de cada par tribológico en un contexto operacional dado se actualiza el estudio de lubricación. El estudio de lubricación debe contener: partes a lubricar, número de puntos, el lubricante a emplear, el tipo de aplicación (manual, por alcuza, espátula, por bomba, circulación etc.), la frecuencia, la capacidad, la norma (cantidad a suministrar), el total de lubricante a emplear y se incluyen los detalles a conocer sobre cada parte a lubricar. También se realiza la elaboración o actualización del plan de inspección y diagnóstico.

Para realizar las acciones de diagnóstico, se analiza de forma conjunta el manual del fabricante del activo, las condiciones operacionales, el procedimiento para el mantenimiento y el comportamiento del activo. En el plan se reflejarán aspectos como: las variables a medir, las variables límites, las alertas y las alarmas, las tecnologías a usar, la frecuencia de actividades de diagnóstico, los recursos humanos a emplear, los procedimientos a seguir y las especificaciones técnicas de los materiales y los instrumentos.

Se deben definir o actualizar las orientaciones para la recepción y almacenamiento de lubricantes nuevos, materiales y equipos, manejo de aceites usados y las indicaciones de seguridad. Estas orientaciones toman como base las mejores prácticas de lubricación y es un documento de constante actualización. Se considera para su elaboración o actualización el sistema regulatorio de organismos rectores y las medidas de seguridad.

Es imprescindible la renovación y actualización de los procedimientos de mantenimiento. Los procedimientos deben contener las modificaciones que se han realizado a los estudios de lubricación, a las acciones de mantenimiento y a las tareas de inspección y diagnóstico.

También se definen o actualizan las competencias de los trabajadores relacionados con la lubricación y las cualidades para la selección del recurso humano, se deben detallar también las actitudes, habilidades y conocimientos que se requieren para el desempeño del puesto de trabajo. Se diseña el plan de capacitación para el personal relacionado con la lubricación, que incluye las acciones necesarias (por ejemplo: cursos, conferencias, talleres, seminarios, entrenamientos en el puesto de trabajo) concebidas a partir del diagnóstico de necesidades de capacitación (que se diseña considerando la brecha entre las actitudes, habilidades y conocimientos del recurso humano y las competencias requeridas).

Se actualiza o elabora la guía de evaluación para el diagnóstico de la gestión de la lubricación, los lubricantes y los recursos humanos, esta acción es sistemática ya dicha guía se debe corresponder con las necesidades del entorno donde se aplica en cada momento.

Etapa 1.4: Programación.

Se establece un programa que permite definir en qué momento se ejecutarán las acciones de lubricación y con qué recursos. Para ello se elabora el programa de las tareas de lubricación a realizar basado en el estudio de lubricación, este debe contener para cada activo las acciones a ejecutar, el personal asignado, los recursos y la fecha, además de la cantidad de acciones del programa y el consumo estimado de lubricantes en unidades físicas y en valor por tipos, también el nombre y firma del responsable.
También se elabora el programa de acciones de inspección y diagnóstico, a partir del plan de inspección y diagnóstico, este debe contener de cada activo la cantidad de tareas del programa, la mano de obra en horas y calificación, el consumo estimado de insumos para cumplir el programa, en unidades físicas y en valor por tipos, y la fecha también el nombre y firma del responsable.

Se impone elaborar el programa de capacitación, que se deriva del diagnóstico de las necesidades de capacitación del personal involucrado en la lubricación. El programa de capacitación debe contener para cada acción, el personal asignado, los recursos y la fecha, reflejando la cantidad de acciones del programa, también el nombre y firma del responsable.

Por último, como parte de esta fase se consolidan las necesidades materiales y de recursos humanos. Para ello se confecciona el documento donde se refleje el presupuesto de gastos para realizar los programas elaborados o actualizados anteriormente, este documento debe contener los recursos y el valor de estos para la ejecución de los programas con el nombre y firma del responsable.

Fase 2: Hacer.

Etapa 2.1: Recepción.

Se ejecutan las acciones tomando como referencia principal las orientaciones definidas en la fase 1. Se comprueba que se reciba el lubricante y cantidad solicitada e información sobre el lote del producto, sin deterioro de los recipientes: se debe examinar que se reciban los tipos de lubricantes y cantidad solicitada, así como controlar la calidad de los mismos y asegurar que se reciba la información sobre el lote de los productos, para esto es preciso poseer la factura donde se incluyen los datos de cantidad de lubricante y lote por tipo, así como conocer las especificaciones técnicas de los lubricantes que se reciben, los certificados de concordancia y las orientaciones para realizar las operaciones de recepción. Se verifica de manera visual que no exista deterioro de los depósitos. Es necesario comprobar que los lubricantes posean los requerimientos pactados que aparecen en las especificaciones técnicas a través de los certificados de concordancia por cada lote. En esta acción se debe realizar, el análisis de aceite nuevo, para comprobar sus propiedades, si es factible según el contexto operacional y la criticidad del componente que lo consume.

Se deben descargar los materiales, equipos en cantidad y calidad pactada, como establecen las orientaciones. Desembarcar los productos siguiendo las normas de las orientaciones para la admisión de lubricantes equipos y materiales, para esto es necesario, por ejemplo: contar con los medios de recepción adecuados equipos especializados, montacargas, parles u otros diseñados para garantizar la descarga segura de los depósitos de los lubricantes.

Después de la recepción de los lubricantes y otros materiales, instrumentos y equipos, se debe elaborar el documento de conformidad este contiene la siguiente información: cumplimiento de las especificaciones técnicas de los lubricantes, materiales e instrumentos y otros aspectos referidos a la recepción como, por ejemplo, el estado exterior de los depósitos, cantidad o tipo de lubricante recibido, cantidad de rechazo entre otros aspectos de interés.

En esta etapa se seleccionan los recursos humanos. Los recursos humanos admitidos deben poseer las competencias definidas para el proceso de selección en la etapa 1 de la fase 2. Para los nuevos trabajadores que no cumplan con todos los requisitos se les concebe un plan de capacitación priorizando eliminar las carencias identificadas.

Etapa 2.2: Almacenamiento.

Para la ejecución de estas actividades se deben poseer las orientaciones provenientes de la etapa de diseño, para guiar el almacenamiento, manipulación y despacho de los lubricantes y materiales, además del manejo de aceites usados. Otra actividad importante es actualizar la tarjeta de estiba esta acción consiste en registrar, cada vez que se realice una entrada o salida de un lubricante o material del almacén, las tarjetas de estiba lo que permite el control de los lubricantes, y materiales.

Etapa 2.3: Ejecución.

Se realizan las acciones planificadas en la fase 1. Comenzando por abrir la Orden de Trabajo, tanto para realizar las acciones correspondientes según los programas de la etapa de programación y otras que incluyen acciones derivadas del diagnóstico técnico. Las órdenes de trabajo deben contener el responsable, operaciones, recursos, valor de recursos, ejecutor, datos del activo, identificación, las horas de trabajo y otros aspectos que se consideren de interés. Una vez ejecutadas las acciones de la orden, estas actividades se registran y cierra el documento. Ejemplo de estas acciones pueden ser: lubricar los activos, revisar el estado de los puntos o sistemas de lubricación, limpiar los sistemas, realizar el cambio de filtros y revisar los niveles de aceite para ello siempre se deben considerar el diseño de las tareas.

En las órdenes de trabajo se puede orientar emplear las tecnologías de inspección y diagnóstico para analizar en el activo la eficacia de la lubricación. Para ello se registran los valores de las variables, así como se identifican anomalías, mal funcionamiento, fallos, defectos o roturas apoyándose en el programa de acciones de inspección y diagnóstico, de la etapa de programación. También pueden incluir acciones en que se emplean los órganos de los sentidos para detectar las anomalías, así como interactuar con el personal de operación.

Luego de ejecutar las acciones que corresponden a la orden de trabajo se realizan las siguientes tareas: cerrar la orden de trabajo, para ello debe ser firmada por el ejecutor y responsable de su supervisión, donde se registren aspectos como las labores realizadas, valores de variables y otros datos obtenidos, el consumo de materiales unidades físicas y monetarias, las horas trabajadas, calificación del recurso humano empleado y los gastos totales.

Para elevar los conocimientos de los trabajadores se realizan las acciones de capacitación y certificación programadas la fase planificación, a través de cursos, talleres, etc... Todo debe quedar reflejado en el registro de acciones de capacitación en el cual se recogerán las evidencias de las acciones realizadas a través del registro de culminación del curso y/o diploma con resultados de la evaluación, objetivos, horas, entidad que certifica, evaluación, firma, fecha y otros datos que se consideren de interés.

Etapa 2.4: Disposición Final.

Se ejecutan las acciones para el retiro de los lubricantes y materiales de desecho según las orientaciones definidas en la fase 1 para esta etapa. Es necesario identificar, etiquetar y aforar los contenedores de los aceites usados. Es importante marcar los contenedores de los aceites usados para impedir que se emplee un lubricante usado por lubricante nuevo. Se debe verificar que los recipientes se encuentren en buen estado que no presenten abolladuras, ni agujeros y que tengan elementos anti fugas. Para almacenar los lubricantes usados se siguen las orientaciones para el manejo de aceites usados. Es indispensable registrar las entradas y salidas de los aceites usados y de productos de desecho almacenados. Por último, despachar los aceites usados y registrar su destino, con firma del responsable y fecha.

Fase 3: Controlar.

Etapa 3.1: Verificar.

Se realiza la comparación de lo planificado con lo ejecutado, se confrontan los indicadores establecidos haciendo especial énfasis en los resultados de los programas de inspección y diagnóstico. Se evalúa el comportamiento de indicadores que se establezcan (como confiabilidad, disponibilidad u otros). Para ello se debe contar con los programas de las acciones de lubricación, de inspección y diagnóstico y de capacitación, así como con el registro de acciones de capacitación, las órdenes de trabajo detalladas y las métricas de las fases anteriores.

Se determinan las desviaciones de las variables para el diagnóstico medidas, se elabora un resumen donde estén todos los indicadores calculados y los análisis preliminares de los resultados. Se elabora el informe de la etapa de evaluación, que incluya los resultados y destaque los incumplimientos. El mismo constituye la base para realizar los análisis y proponer las medidas pertinentes en cada caso como parte de la fase 4.

Fase 4: Actuar.

Etapa 4.1: Análisis y propuesta de medidas.

Esta fase se dedica a estudiar las causas de las desviaciones detectadas en la fase anterior y proponer acciones a ejecutar en la fase 1 según corresponda. Se determinan las causas de las desviaciones a partir del informe de resultados de la etapa de verificación, que contiene el cumplimiento de las acciones, identificación de las desviaciones, obtenido en la fase 3, aplicando las herramientas de análisis adaptadas al mantenimiento.

Por último, se elaboran los informes técnicos de la etapa de análisis que incluyan las propuestas de medidas, para la mejora. Los informes técnicos deben contener los análisis que se obtienen del estudio de las mediciones comparadas con las alarmas y las alertas, así como variables de proceso, anomalías, mal funcionamiento, fallos, defectos o roturas. También el registro de indicadores como confiabilidad, disponibilidad y otros que se establezcan. El informe tiene la propuesta de las acciones a realizar con responsable y fecha de cumplimiento.

Como se ha podido evidenciar el modelo que se propuso, al igual que el modelo para la gestión integral del mantenimiento de Viveros 2013 [4], se retroalimenta y considera la mejora continua en el tiempo. El de Viveros es más complejo comprende 7 etapas, incluye estrategias y responsabilidades, la jerarquización de equipos, que de forma implícita diferencian ambos modelos, pero en general tienen como similitudes las etapas de planificación, ejecución y control, además la de mejora antes mencionada. El modelo que se concibió se asemeja al de Mercado 2016 [5], en que ambos se sustentan en el ciclo de Deming y la norma 9001, pero este último tiene dos bloques adicionales que lo diferencian del modelo sugerido en esta investigación.

El modelo propuesto por Marrero 2019 [6], plantea aplicar auditorías internas según la norma ISO 19011:2018 “Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión”, para tener un seguimiento de las deficiencias detectadas en la realización del diagnóstico de la entidad en función de la gestión del mantenimiento. Las auditorías se indicaron con una frecuencia anual, teniendo en cuenta que el resultado del diagnóstico tiene como salida un plan de mejora adaptada a las necesidades de la actividad de mantenimiento en la entidad. De forma similar debe procederse en el modelo de lubricación que se propuso en esta investigación en la fase de Planificación en la etapa de diagnóstico.

## 4. CONCLUSIONES.

Se obtuvo un modelo sencillo que explica cómo gestionar la lubricación. El modelo es capaz de ajustarse a la organización a la cual va dirigida porque incluye un diagnóstico inicial y acciones de control que posibilitan dicha adaptación. Fue concebido, en correspondencia con la tendencia de los modelos desarrollados en los últimos años, como un sistema de ciclo cerrado enfocado en los procesos y la calidad. El modelo de gestión de lubricación se estableció a partir del Ciclo PHVA de Deming, que aparece en la ISO 9001:2015. Al modelo en cada fase se le definieron etapas, se muestran los objetivos de estas y se explica de forma detallada su implementación.

## REFERENCIAS

1. García A, Muñoz M, Díaz A, Penabad L, et al., "Evaluación de la gestión de la lubricación y los lubricantes". Ingeniería Mecánica. 2019;22(3):121-126.
2. MINDUS. Resolución 66 de 2021 de Ministerio de Industrias. Gaceta Oficial No. 86 Ordinaria de 2021; 2021.
3. Crespo A, Oreu de León P, Gómez F, Parra C, López M. The manintenance management framework: a practical view to manintenance management. Journal Quality In Manintenance Engineering. 2009;15(2):167-178 http://dx.doi.org/10.1108/13552510910961110
4. Viveros P, Stegmaier R, Kristjanpoller F, Barber L, Crespo A. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería. 2013;21(1):125-138. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011
5. Mercado V, Peña JB. Modelo de la gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y la optimización de la energía eléctrica Revista Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. 2016;28(1):99-105.
6. Marrero RA, Vilalta JA, Martínez E. Modelo de diagnóstico-planificación y control del mantenimiento. Ingeniería Industrial. 2019; XL(2):148-160.
7. Huertas TE, Suárez E, Salgado M, Jadán LR, Jiménez B. Diseño de un modelo de gestión. Base científica y práctica para su elaboración. Revista Universidad y Sociedad. 2020; 12(1):165-177.
8. ISO 90ISO Quality management systems — Requirements Systèm de management de la quality — Exigences. ISO 9001. Ginebra. 2015.
9. García A, Penabad L, Deus A, Barrera C, Guillén J. "Modelo para la gestión de la lubricación y los lubricantes en la industria". Ingeniería Mecánica. 2023;26(3):682-670.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# RENOVACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS EN LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

**Joel Guillen-Garcia[1], Francisco Martinez-Pérez[2], Leisis Villar-Ledo[3], Armando Díaz-Concepción[2], Alexander Alfonso-Álvarez[4]**

[1]Universidad técnica de Manabí, Puertoviejo. Ecuador. [2]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM. La Habana, Cuba. [3]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana. Cuba. [4]Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. La Serena, Chile.
[1]e-mail: joel.guillen@utm.edu.ec

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo proponer cambios en asignaturas que perfeccionen el conocimiento general de ingeniería y gerencia del mantenimiento en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Manabí. Se diseñaron dos encuestas para conocer cómo los egresados reflejaban sus conocimientos en el área del conocimiento de la ingeniería y gerencia del mantenimiento, así como los requerimientos que se esperaba tuvieran para el sector industrial de la provincia de Manabí fundamentalmente, así como se validaron estas herramientas a través del método de Kuder-Richard. Fueron implementadas matrices de relación para saber si las asignaturas actuales, del plan de estudio del ingeniero mecánico cumplían con los requerimientos solicitados por el sector industrial. Los principales resultados obtenidos demostraron que no se cumplía con lo solicitado por lo que se propusieron dos nuevas asignaturas y sus objetivos que darán solución a las deficiencias detectadas.

**PALABRAS CLAVES:** planes de estudio mantenimiento, gerencia de mantenimiento, método de Kuder-Richard

## RENOVATION OF THE PLAN OF STUDIES IN THE CAREER OF MECHANICAL ENGINEERING OF THE TECHNICAL UNIVERSITY DE MANABÍ

**ABSTRACT**

The objective was to propose changes in subjects to improve the general knowledge of engineering and maintenance management in the Mechanical Engineering career of the Technical University of Manabi. Two surveys were designed to know how the graduates reflected their knowledge in the area of maintenance engineering and management knowledge as well as the requirements they were expected to have for the industrial sector of the province of Manabí, fundamentally as well as validating these tools through the Kuder-Richard method. Relationship matrices were implemented to know if the current subjects of the mechanical engineer's study plan complied with the requirements requested by the industrial sector. The main results obtained showed that they did not meet the requirements, so two new subjects and their objectives were proposed to solve the deficiencies detected.

**KEY WORDS:** maintenance study plans, maintenance management, Kuder-Richard method

## 1. INTRODUCCIÓN

En el nuevo contexto del desarrollo del mantenimiento surge la necesidad de capacitar y adiestrar al hombre, para mantener en el nivel máximo de eficiencia las máquinas, lo cual hace surgir la ingeniería y gerencia del mantenimiento, la cual se desarrolla con el propósito de garantizar el buen funcionamiento de las máquinas y la previsión de fallas en los equipos, aspectos, que de no garantizarse, conllevan a pérdidas económicas de la empresa, condiciones de trabajo inadecuadas, baja seguridad de los equipos y

del personal. La Universidad Técnica de Manabí (UTM) se encuentra en un proceso de rediseño curricular de las carreras. Para desarrollar este rediseño la universidad, es imprescindible analizar las

necesidades y exigencias profesionales y sociales de la profesión; como parte del proceso de valoración de la pertinencia de la oferta formativa, que se brinda a través de la gestión curricular de las carreras. La universidad y en específico la UTM debe garantizar que sus estudiantes desarrollen las competencias necesarias para aprovechar eficazmente los recursos informativos, no sólo para su formación profesional, sino para favorecer un aprendizaje permanente a lo largo de toda su vida acorde para que así brinde su aporte al desarrollo local permitiéndose permanecer incluidos socialmente como lo plantea [1] en su investigación.

En el ámbito local la construcción de una petroquímica y el desarrollo de otras industrias de producción de bienes y servicios hace necesario disponer de profesionales en diferentes ámbitos de la mecánica, entre las cuales el mantenimiento debe tener un papel protagónico, la UTM y su escuela de ingeniería mecánica a pesar de formar profesionales en esta ingeniería y aparecer en su formación materias relacionadas con el mantenimiento, no satisface las características imprescindibles, hoy en día, en los profesionales, para brindar una respuesta adecuada en esta temática.

Las competencias son capacidades complejas que poseen distintos grados de integración y se manifiestan en una gran variedad de situaciones en los diversos ámbitos de la vida humana personal y social. Son expresiones de los diferentes grados de desarrollo personal y de participación activa en los procesos sociales [2]. Agrega la autora que toda competencia es una síntesis de las experiencias que el sujeto ha logrado construir en el marco de su entorno vital amplio, pasado y presente, las competencias constituyen no sólo el punto de partida de todo proceso de enseñanza y aprendizaje, sino que además, imprimen una dirección a todo el desarrollo curricular [3, 4]en esta investigación más que a las competencias los análisis se realizarán sobre los conocimientos y habilidades del graduado de ingeniero mecánica en la UTM respecto al área de la ingeniería y gerencia del mantenimiento.

En la investigación de [5] se propone fortalecer la competencia profesional en ingeniería de mantenimiento en la formación del ingeniero eléctrico del Instituto Tecnológico de Santo Domingo sobre la base de proponer cambios para fortalecer las competencias diseñar, crear y optimizar programas de mantenimiento, pero direccionada esta competencia al ingeniero eléctrico y por tanto queda sesgada su empleo para el ingeniero mecánico.

Por lo que la investigación tuvo como objetivo proponer cambios en asignaturas que perfeccionen el conocimiento general de ingeniería y gerencia del mantenimiento en la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Manabí. Para cumplir con el mismo se utilizaron métodos de expertos, diseño de encuestas, matrices de relación. Como principal resultado obtenido estuvo que las asignaturas actuales no cumplían con los requerimientos planteados en el plan de estudio y con lo que solicitaba el sector industrial. Como principal conclusión se llegó a la propuesta de dos asignaturas, que van a dar respuesta a los objetivos del plan de estudio de la carrera del ingeniero mecánico de la UTM y que en su implementación contribuyen al fortalecimiento en la formación de estos egresados en el área de la ingeniería y gerencia del mantenimiento.

## 2. METODOLOGÍA

Para la toma de decisiones en la investigación se seleccionaron un grupo de especialistas (profesores y administrativos docentes) de al UTM y se aplicó el método de cálculo de coeficiente de expertos para determinar si los mismos podían ser tomados para conformar el grupo de trabajo encargado de tomar decisiones y para apoyar en la investigación en los diferentes planteamientos que se hicieron [6, 7].

El documento rector, disponible en https://www.utm.edu.ec/fcm/ correspondiente a la carrera de Ingeniería Mecánica, es el plan de estudio, en el mismo el objetivo general declarado es:

Formar profesionales con pensamiento crítico-propositivo, ético y ambientalista, con espíritu humanista y solidario, altamente capacitado para analizar, planificar, diseñar, construir, operar y gerencial sistemas y componentes en procesos térmicos y mecánicos de la industria, comprometidos a la solución de los problemas del país, generando y aplicando conocimientos científicos y tecnológicos, capaces de utilizar los recursos disponibles para elevar la eficiencia de los diferentes procesos de producción y de servicio.

Dentro de los objetivos específicos relacionados a la pertinencia se pueden relacionar, tomando como base los específicos relacionados con el mantenimiento:

1. Gestionar los procesos de transformación de energía, mantenimiento y diseño, aplicando los fundamentos científicos y técnicos con responsabilidad y ética profesional.
2. Formar profesionales que sean capaces de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Mecánica, en cuanto a mantenimiento.

Para estimar el nivel de conocimiento sobre la ingeniería de mantenimiento de los egresados, así como las necesidades del sector empresarial se diseñaron 2 encuestas, ambas fueron del tipo dicotómicas [8, 9] y para estimar su confiabilidad se optó por el método de Kuder-Richard (KR-20) [10, 11] las variables a medir fueron:

- El primer instrumento fue para conocer el nivel de conocimientos sobre la ingeniería y gerencia del mantenimiento en los egresados.
- Necesidades del sector empresarial en cuanto a los conocimientos de los egresados.

Se empleó la herramienta de matriz de correlación [12, 13] para conocer el estudio de relación entre variables a estudiar declaradas en los planes de estudios, para cumplir con este acápite se realizaron dos matrices, ellas fueron:

- Análisis de los objetivos declarados en el plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica de la UTM con los objetivos declarados en las asignaturas.
- Comparación de los objetivos declarados en el plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica de UTM con los requerimientos planteados por el sector industrial.

## 3. RESULTADOS

Se seleccionaron un total de 10 especialistas (profesores y administrativos docentes) todos pertenecientes a la facultad de Ingeniería Mecánica de la UTM y dos doctores que asesoraron la investigación, se aplicó el método de cálculo de coeficiente de expertos para determinar si los mismos podían ser utilizados para apoyar en la investigación. Una vez aplicado lo descrito por [6] quedó conformado el equipo de trabajo por los expertos que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Conformación del grupo de trabajo. Fuente: autores

| No. | Actividad: cantidad | Especialidad | Experiencia profesional | Coeficiente de competencia K |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Especialista en mantenimiento: 3 | Ingeniero mecánico | 28 años | 0,83 |
| | | | 15 años | 0,80 |
| | | Ingeniero mecánico | 10 años | 0,91 |
| 2 | Director general: 1 | Ingeniero mecánico | 12 años | 0,94 |
| 3 | Profesores: 4 | Ingenieros mecánicos, doctores en ciencia | 38 años | 0,88 |
| | | | 26 años | 0,88 |
| | | Ingeniero electro mecánico | 12 años | 0,85 |
| | | Ingeniero mecánico, Master en ingeniería | 11 años | 0,79 |
| 4 | Supervisor de carrera | Ingeniero mecánico | 9 años | 0,89 |
| 5 | Profesor consultante | Ingeniero mecánico | 38 años | 1,00 |

De los resultados del coeficiente de competencias expuestos en la tabla 1 son mayores de 0.8 según se asume que todos los especialistas fueron tomados como expertos y formaron parte del grupo de trabajo, el grupo de expertos seleccionó al autor de la investigación como líder o facilitador del grupo.

**Diseño de la encuesta para estimar el nivel de conocimientos de los egresados**

- Variable de Salida o Rendimiento: conocimientos sobre la ingeniería y gerencia del mantenimiento en los egresados.
  - Indicadores
    a) Durante la carrera
    b) Después de graduado
  - Ítems: 13

La muestra [14] fue dirigida, aleatoriamente y se seleccionaron egresados de los últimos 3 años de graduación, la forma de efectuar el llenado fue bajo una explicación directa del moderador, autor de la investigación, y fueron satisfechas las dudas en el momento de repartir el cuestionario. La muestra tomada y las reales ejecutadas se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Muestra de egresados. Fuente: autores

| Año de graduación | Entregados | Recibidos |
|---|---|---|
| 2017 | 25 | 20 |
| 2018 | 22 | 21 |
| 2019 | 28 | 25 |
| Total | 75 | 66 |

Una vez aplicada la encuesta a la muestra, en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en este instrumento.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos encuesta egresados. Fuente: autores

| No. | **Instrucciones**. Marque con una X la respuesta que Ud. considere pertinente. | Si | No |
|---|---|---|---|
| 1 | ¿Ha desarrollado su profesión en el mantenimiento? | 60 | 6 |
| 2 | ¿En su formación recibió materias de gerencia del mantenimiento? | 41 | 25 |
| 3 | ¿En su formación recibió materias de ingeniería del mantenimiento? | 60 | 6 |
| 4 | ¿Desearía realizar una maestría en ingeniería y gestión del mantenimiento? | 63 | 3 |
| 5 | ¿Ha recibido reconocimientos por su desempeño laboral? | 34 | 32 |
| 6 | ¿Considera usted que la malla curricular cubre las necesidades del ingeniero mecánico en cuanto al conocimiento sobre mantenimiento? | 18 | 48 |
| 7 | ¿Cree que se encuentra capacitado para laborar en el área de producción y servicios planeación y programación del mantenimiento? | 12 | 54 |
| 8 | ¿Opina que se encuentra capacitado para laborar en el área de organización del trabajo (métodos, tiempos y procesos)? | 20 | 46 |
| 9 | ¿Entiende que se encuentra capacitado para laborar en el área gestión del mantenimiento? | 17 | 49 |
| 10 | ¿Cree que se encuentra capacitado para laborar en el área de Ingeniería del mantenimiento? | 18 | 48 |
| 11 | ¿Estima que se encuentra capacitado para laborar en el área de inspección y diagnóstico del mantenimiento? | 17 | 49 |
| 12 | ¿Opina que se encuentra capacitado para laborar en el área, gestión de la lubricación? | 14 | 52 |
| 13 | ¿Considera que se encuentra capacitado para laborar en el área de control del mantenimiento? | 17 | 49 |

En la tabla 3 se observa que el total de respuestas **Si** fueron de 391 donde la mayor cantidad de respuestas positivas las obtuvieron los ítems del 1 al 4, esto dice que los encuestados si habían recibido materias dirigidas a la ingeniería y gestión del mantenimiento. El ítem de mayor puntuación fue el 4, indica que los mismos desean una educación posgraduada o de IV Nivel. Un análisis de los elementos constitutivos del instrumento se presenta en la tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados de los elementos del diseño. Fuente: autores

| **Indicador** | **Ítems que lo evalúa** | **Nivel de respuestas** | |
|---|---|---|---|
| | | **Si** | **No** |
| Durante la carrera | 1 - 3 | 161,00 | 37,00 |
| Valor medio (66 encuestados) | | 2,44 | 0,56 |
| Después de graduado | 4 - 13 | 234,00 | 430,00 |
| Valor medio (66 encuestados) | | 3,54 | 6,51 |
| Conocimientos sobre la gerencia e ingeniería del mantenimiento en los egresados. | | 391,00 | 467,00 |
| Valor medio (66 encuestados) | | 5,92 | 7,08 |

Del análisis de las tablas 3 y 4 se pudo inferir que los egresados recibieron asignaturas con materias específicas a la gestión del mantenimiento pero que las mismas no completaban el nivel de conocimientos necesarios para su posterior desarrollo en las empresas de producción y de servicio. Se obtuvo afinidad en la respuesta del Ítem 4, pero la variable B (conocimientos de postgrado) muestra una prevalencia de los **No** con un promedio de 6,51 en este renglón afirmando su no preparación en estos conocimientos.

**Análisis de la confiabilidad de la encuesta a egresados**

Partiendo de que la encuesta es dicotómica, donde solo se aceptó Si o No, dos valores 1 y 0 sustituyendo las variables cualitativas en cuantitativas se optó por el método de Kuder-Richard (KR-20), en la tabla 5 se muestra un resumen.

**Tabla 5.** Análisis de confiabilidad del instrumento egresados. Fuente: autores

| **Pregunta** | **Si** | **No** | **Σ p*q** | **VT** | **K-R20** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 - 13 | 391 | 467 | 2,19 | 13,79 | 0,84; 84 % |

Sobre la base de la metodología de Kuder-Richard y los niveles propuestos para especificar el nivel de confiabilidad de la encuesta, se puede afirmar que, dado que, si alcanzó un valor de 84 %, se cataloga como excelente y por tanto los datos obtenidos de este análisis pueden ser tomados para posteriores investigaciones.

| **No.** | **Instrucciones**. Marque con una X la respuesta que Ud. considere pertinente. | **Si** | **No** |
|---|---|---|---|
| 1 | ¿Su empresa tiene un plan de mantenimiento? | 70 | 3 |
| 2 | ¿Cuenta su Empresa / Mecánica / Taller con personal calificado para realizar la función de mantenimiento? | 24 | 49 |
| 3 | ¿Dispone su Empresa / Mecánica / Taller con profesionales? | 72 | 1 |
| 4 | ¿Considera la gestión de mantenimiento como un proceso que agrega valor a los resultados obtenidos en la producción? | 70 | 3 |
| 5 | ¿Cuenta su empresa con técnicos con el conocimiento necesario de la gestión de mantenimiento? | 12 | 61 |
| 6 | ¿Posee su empresa un departamento o área de mantenimiento establecido en su organigrama? | 72 | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | ¿Existen técnicos para elaborar las tareas de mantenimiento de los equipos? | 58 | 15 |
| 8 | ¿El encargado de liderar el área de mantenimiento, tiene título o está reconocido en mantenimiento? | 25 | 48 |
| 9 | ¿El personal relacionado con el mantenimiento conoce los diferentes tipos que existen? | 16 | 57 |
| 10 | ¿Alguna vez ha realizado auditorías de mantenimiento? | 9 | 64 |
| 11 | ¿Los técnicos que realizan el mantenimiento tienen los conocimientos para realizar auditorías del mantenimiento? | 3 | 70 |
| 12 | ¿Tiene dentro de su entidad una base de datos o sistema que permita almacenar información acerca del mantenimiento de sus equipos? | 68 | 5 |
| 13 | ¿Cuenta usted con personal capacitado para desempeñar estas funciones? | 4 | 69 |
| 14 | ¿Considera usted que es importante realizar análisis de criticidad de sus equipos para determinar qué posición toma cada uno dentro de sus operaciones? | 71 | 2 |
| 15 | ¿Cuenta usted con personal con el conocimiento que puedan realizar análisis de criticidad de sus equipos en su Empresa / Mecánica / Taller? | 6 | 67 |
| 16 | ¿Tiene en cuenta las fallas registradas? | 71 | 2 |
| 17 | ¿Tiene en cuenta las condiciones de operación? | 71 | 2 |
| 18 | ¿Posee su Empresa / Mecánica / Taller personal con el conocimiento necesario para realizar análisis de fallas de sus equipos. | 6 | 67 |
| 19 | ¿En su empresa realizan planeación de mantenimiento? | 68 | 5 |
| 20 | ¿Planean el mantenimiento de cada equipo de la empresa? | 68 | 5 |
| 21 | ¿Se hace la planeación la planificación de los recursos necesariospara las actividades de mantenimiento? | 67 | 6 |
| 22 | ¿Cuenta usted con personal con el conocimiento que puedan realizar planeación del mantenimiento de sus equipos en su Empresa / Mecánica / Taller? | 5 | 68 |
| 23 | ¿Dentro de su empresa cuenta con un grupo de operarios dedicado a las tareas de mantenimiento de sus equipos? | 68 | 5 |
| 24 | ¿Usted selecciona el personal teniendo en cuenta alguna habilidad o capacidad específica para las tareas o los entrena para estas tareas? | 68 | 5 |
| 25 | Al ser contratados los operarios, ¿se les comunican sus responsabilidades en cuanto a la limpieza y mantenimiento de sus equipos? | 69 | 4 |
| 26 | Cuando se planea alguna actividad de mantenimiento, ¿se realiza teniendo en cuenta qué operario la va a realizar para poder comunicárselo? | 69 | 4 |
| 27 | Cuando algún operario realiza alguna actividad de mantenimiento, ¿alguien lo supervisa o revisa el trabajo para poder darle retroalimentación? | 68 | 5 |
| 28 | ¿Acceden los técnicos de mantenimiento, los especialistas o personal directivo a cursos de superación? | 1 | 72 |
| 29 | ¿Opina usted que es necesario estos cursos? | 73 | 0 |
| 30 | ¿Opina usted que en la actualidad existen opciones para enviar a sus especialistas, operadores, o personal directivo a cursos de superación | 1 | 72 |
| 31 | ¿Opina usted que sería necesario contar con opciones de superación para sus especialistas, operadores, o personal directivo? | 72 | 1 |
| 32 | ¿Valora usted como válido el conocimiento de los egresados de la universidad en la gestión del mantenimiento? | 15 | 58 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3<br>3 | ¿Valora usted como válido el conocimiento de los egresados de la universidad en la ingeniería del mantenimiento? | 15 | 58 |

**Instrumento para conocer las necesidades de las empresas de los conocimientos de los egresados sobre ingeniería de mantenimiento**

- Variable de Salida o Rendimiento: requerimientos sobre conocimientos de la gerencia e ingeniería del mantenimiento en las empresas.

  A. Indicadores

  B. Condiciones actuales de la empresa

  C. Recursos humanos
- Ítems: 33

La muestra se eligió aleatoriamente y se seleccionaron las empresas. de la provincia de Manabí en los cantones de Portoviejo, Manta, Chone, Jipijapa, Calceta. La forma de efectuar el llenado de la encuesta fue explicada por el moderador, se aclararon las dudas presentadas en el momento de aplicar el cuestionario. También se les permitió la posibilidad de entregar las mismas mediante correo personal. Por este medio se recogieron 25 encuestas, las otras fueron obtenidas en el sitio de aplicación de forma directa, la muestra final y los reales se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Muestra de empresas por cantones. Fuente: autores

| Cantones | Entregados | Recibidos |
|---|---|---|
| Manta | 38 | 34 |
| Portoviejo | 26 | 22 |
| Chone | 9 | 7 |
| Jipijapa | 8 | 6 |
| Calceta | 7 | 4 |
| **Total** | **88** | **73** |

Una vez presentados el diseño y la muestra, así como la explicación en el procedimiento de recolección de los datos en la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos con este instrumento.

**Tabla 7.** Resultados obtenidos encuesta empresas. Fuente: autores

En la tabla 8 se muestran de forma compilada un análisis de los elementos constitutivos del instrumento.

**Tabla 8.** Resultados de los elementos del diseño. Fuente: autores

| Indicador | Ítems que lo evalúa | Nivel de respuestas | |
|---|---|---|---|
| | | Si | No |
| Condiciones actuales de la empresa | 1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 21,<br>23, 24, 25, 26, 27, 29, 31 | 1337,00 | 123,00 |
| Valor medio (73 encuestados) | | 18,31 | 1,68 |
| Recursos humanos | 5, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 22, 28, 30, 32,<br>33 | 118,00 | 831,00 |
| Valor medio (73 encuestados) | | 1,62 | 11,38 |
| Requerimientos sobre la ingeniería y gerencia del mantenimiento en las empresas. | | 1455,00 | 954,00 |
| Valor medio (73 encuestados) | | 19,93 | 13,10 |

Realizado los análisis de las tablas 7 y 8 se obtuvo que el total de respuestas **Si** fue de 1455 donde la mayor cantidad de respuestas positivas las obtuvieron los ítems que evaluaban el indicador A, correspondientes a condiciones actuales de la empresa, con un total 1337 para un promedio de 18,31. Los ítems que evaluaban el indicador B obtuvieron un valor de SI de 118 para un 1,62.

Al igual que en la anterior encuesta se empleó el método de Kuder-Richard (KR-20), en la tabla 9 se muestra un resumen.

**Tabla 9.** Análisis de confiabilidad del instrumento empresas. Fuente: autores

| Pregunta o Ítems | Si | No | Σ p*q | VT | K-R20 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 - 33 | 1455 | 954 | 2,30 | 18,56 | 0,90; 90 % |

Al igual que en el instrumento anterior como el valor de confiabilidad alcanzo un valor de 90 % se asumen como confiables los resultados alcanzados.

De un análisis integral de ambos instrumentos se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los estudiantes de la carrera de ingeniería Mecánica de UTM reciben asignaturas relacionadas con la gestión e ingeniería de mantenimiento.
2. Esas asignaturas, actualmente, no tienen los contenidos que les permita obtener los conocimientos necesarios para su posterior desempeño en el sector industrial o de servicios.
3. Las empresas de Manabí cuentan con personal graduado de ingeniería mecánica, los conocimientos necesarios en la gerencia e ingeniería de mantenimiento son insuficientes.
4. El sector industrial reconoce la necesidad de implementar mejores estrategias que las actuales en cuanto a mantenimiento, pero para esto no cuenta con profesionales con los conocimientos necesarios.
5. En la encuesta a los egresados se manifiesta la necesidad de cursos de maestría o de IV nivel de enseñanza. En la encuesta realizada a las empresas se manifiesta la necesidad de estos cursos, pero también manifiestan las pocas opciones con que se dispone en la actualidad, quedando validada la necesidad de implementar cursos de posgrado referentes al tema de la gerencia y la ingeniería de mantenimiento en Manabí.
6. De los resultados globales de las dos encuestas, se pudo concluir que aunque en la UTM y en específico en la carrera de Ingeniería Mecánica se imparten temas referidos al mantenimiento, los mismos no cumplen con las expectativas y necesidades de los egresados ni en lo que necesita el sector industrial y de servicios por lo que se puede inferir la necesidad de proponer cambios en la forma en que se imparten ambos conocimientos.
7. Análisis de los objetivos declarados en el plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica de con los objetivos declarados en las asignaturas

Para este análisis se utilizó la herramienta de matriz de relación, donde en una columna se establecieron los objetivos planteados en las asignaturas que tributan directamente al área del conocimiento del mantenimiento y en la fila inicial los objetivos que se platean en el plan de estudios.

Las dos asignaturas que tributan directamente al área del mantenimiento son:

1. Ensayos no destructivos, la cual se imparte en el IV semestre de la carrera con una duración total de 80 horas, de ellas, 32 horas presenciales y las 48 horas restantes, en prácticas estudiantiles y trabajo autónomo, ejemplos: consultas, ejercicios individuales o en grupos de trabajo, seminarios, etc.
2. Mantenimiento Industrial, se imparte en el semestre X y tiene una distribución de 160 horas lectivas, 64 presenciales y en trabajos autónomo 96 horas.

Los objetivos de la carrera relacionados con el mantenimiento son:

- Gestionar la implementación, operación y mantenimiento de estos sistemas de ingeniería.
- Planear, desarrollar y controlar programas de mantenimiento de plantas industriales y de servicios.
- Controlar el servicio de mantenimiento y reparación de máquinas y equipos.
- Participar en grupos interdisciplinarios para la elaboración de proyectos que abarcan más allá de su área.

- Hacer uso de las TIC para investigar y formular modelos matemáticos, que optimicen o simulen procesos y prototipos incluyendo los de mantenimiento.

En la tabla 10 se muestran los objetivos que se precisan en cada una de las asignaturas antes mencionadas.

**Tabla 10.** Objetivos declarados en las asignaturas. Fuente: autores

| Asignaturas | Objetivo |
|---|---|
| Ensayos no destructivos | 1. Apreciar la calidad y propiedades de los materiales usados en la industria |
| | 2. Identificar los métodos de inspección de materiales |
| | 3. Mostrar la defectología de materiales y componentes |
| | 4. Demostrar el uso de los equipos empleados en las inspecciones |
| | 5. Ejecutar los procedimientos establecidos en las normas y códigos |
| Mantenimiento Industrial | 1. Analiza, describe y tiene la visión empresarial |
| | 2. Maneja criterios y conceptos de máquinas y equipos. |
| | 3. Analiza y establece diferencias sobre el mantenimiento. |
| | 4. Maneja criterios y conceptos de la gestión del mantenimiento |
| | 5. Conoce y analiza fallas y fugas en sistemas hidráulicos. |

Tomando como base lo planteado anteriormente en cuanto a los objetivos planteados en el plan de estudios de la carrera y los objetivos planteados en la tabla 10 se realizó una matriz de correlación para establecer las posibles relaciones entre los mismos, en la tabla 11 se muestra esta matriz.

**Tabla 11**. Matriz de relación objetivo plan de estudio y asignaturas. Fuente: autores

| Asignaturas | Objetivo | Objetivos plan de estudio | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V | ∑ |
| Ensayos no destructivos | 1 | | 3 | 1 | | | 4 |
| | 2 | 1 | | 3 | | | 4 |
| | 3 | | | 3 | | | 3 |
| | 4 | | | 3 | | | 3 |
| | 5 | | 3 | 9 | | | 12 |
| Mantenimiento Industrial | 1 | | 3 | 1 | | | 4 |
| | 2 | | 3 | 9 | | | 12 |
| | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | | 8 |
| | 4 | 9 | 9 | 9 | 3 | 3 | 33 |
| | 5 | | 1 | 3 | | | 4 |
| | | 11 | 25 | 44 | 4 | 3 | 87 |

Para el análisis de la matriz, tabla 11, se tomó como base la suma en la horizontal, para de este modo, establecer como se relacionan cada objetivo de las asignaturas (las que tienen impacto directo en el área del mantenimiento) con los objetivos del plan de estudio dirigidos al mantenimiento y en la vertical con cada objetivo del plan de estudio se puede dar cumplimiento a los objetivos de la asignatura, obteniéndose lo siguientes resultados:

- En un análisis horizontal se muestra que los objetivos de las asignaturas no dan solución, de forma general, a los objetivos declarados en el plan de estudio.
- El objetivo 4 de la asignatura Mantenimiento industrial tiene una fuerte relación con los objetivos del plan de estudios.
- El objetivo 5 de la asignatura Ensayos no Destructivos y el 2 de la asignatura Mantenimiento industrial tienen un ligero impacto con los objetivos del plan de estudio pero aún esta relación es baja ya que no llega ni al valor promedio de 15 que sería una relación media.
- El objetivo 5 de la asignatura Ensayos no Destructivos y el 2 de la asignatura Mantenimiento industrial tienen una relación baja con los del plan de estudio, ya que no llegan ni al valor promedio de 15 que sería una relación media.
- El resto de los objetivos de las asignaturas tiene un vínculo muy bajo, incluyendo varios donde

solo tiene relación media o baja con algún objetivo del plan de estudio.

- En un análisis en la vertical se obtuvieron resultados similares, están relacionados de forma baja entre sí los objetivos del plan de estudio con los objetivos de las asignaturas, esto significa que las asignaturas no dan respuesta a los objetivos planteados en el plan de estudio.
- Solo el objetivo 3: controlar el servicio de mantenimiento y reparación de máquinas y equipos, está relacionado con los objetivos de las asignaturas con un valor de relación de 44, superior a 30 que fue el valor menor de una relación media.
- El resto de los objetivos del plan de estudios presentan una relación baja con los objetivos de las asignaturas.

En un análisis conjunto entre los resultados de la matriz de la Tabla 11 y los obtenidos en la encuesta a los egresados se demostró que los objetivos planteados, en ambas asignaturas, no cumplen con las necesidades o expectativas de estos egresados en cuanto a sus conocimientos en el área del mantenimiento en su forma general y por tanto se valida la necesidad de realizar un cambio en la forma en que se imparten los conocimientos del mantenimiento en la carrera.

**Comparación de los objetivos declarados en el plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica con los requerimientos planteados por el sector industrial**

Utilizando como herramienta la matriz de relación, al igual que en el epígrafe anterior, se determinaron los conocimientos que el sector industrial reclama de los egresados en esta área. Estos requerimientos quedaron relacionados de la siguiente manera:

1. Organización del mantenimiento
2. Planificación del mantenimiento
3. Ingeniería del mantenimiento
4. Control del mantenimiento

En la tabla 12 se muestra la matriz de relación, tomando como base que en la vertical se situaron los objetivos declarados en el plan de estudio y en la horizontal, se expusieron los requerimientos o saberes que espera el sector industrial que tengan los egresados en el área del mantenimiento.

**Tabla 12.** Matriz de relación entre objetivos declarados en el plan de estudios y los requerimientos del sector industrial. Fuente: autores

| **Objetivos de carrera** | **Requerimiento de saberes de la industria** | | | | ∑ |
|---|---|---|---|---|---|
| | **A** | **B** | **C** | **D** | |
| I | 9 | 9 | 9 | 9 | 36 |
| II | 3 | 9 | 9 | 9 | 30 |
| III | 3 | | 9 | 9 | 21 |
| IV | 9 | 9 | 9 | 9 | 36 |
| V | 9 | 9 | 9 | 9 | 36 |
| ∑ | 33 | 36 | 45 | 45 | 159 |

Del análisis de la matriz de relación tabla 12, se pudo llegar a las siguientes conclusiones, tomando como base para este análisis, el mismo procedimiento descrito anteriormente:

- Los objetivos de la carrera, en un análisis horizontal, tienen una fuerte relación con los requerimientos que necesita el sector industrial que tengan estos egresados, tres de ellos, obtuvieron los mayores valores de relación posible, 36 y solo el objetivo 3, Controla el servicio de mantenimiento y reparación de máquinas y equipos, obtuvo un valor menor al resto, pero superior al valor promedio, que, en este caso, es 12.

- De los requerimientos del sector industrial, según el análisis en la vertical, los requerimientos III y IV obtuvieron el máximo posible de relación, 45.

- Los requerimientos I y II, aunque no obtuvieron la misma puntuación si obtuvieron un valor por encima de un valor promedio de relación mínimo que fue de 15.

Del análisis general se pudo concluir que los objetivos planteados en el plan de estudio están en consonancia con lo que solicita el sector industrial en cuanto a conocimientos de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTM, relacionados con el mantenimiento.

Analizando de forma conjunta los resultados de ambas matrices, tabla 11 y tabla 12 se pudo concluir sobre la necesidad de implementar cambios en las asignaturas del plan de estudios de la carrera. Esto es debido a que si bien los objetivos del plan de estudios están en consonancia con los requerimientos que plantean el sector industrial los mismos no se resuelven con los objetivos de las asignaturas, que se imparten en la actualidad, referente a los conocimientos del mantenimiento.

**Propuesta de reforma curricular en la componente de ingeniería y gerencia de mantenimiento en la formación de pregrado del Ingeniero Mecánico de la UTM**

Partiendo de lo planteado como conclusión general en el epígrafe anterior, donde se demostraba que las asignaturas que en la actualidad se imparten y que tiene relación directa con los conocimientos en el área del mantenimiento, no guardan una relación con los objetivos planteados en el plan de estudio así como tampoco dan respuestas a los requerimientos planteados por el sector industrial y de servicios referidos a los conocimientos y habilidades que deben tener estos egresados en cuanto al mantenimiento, y donde si se establecía que el plan de estudio si está en consonancia con los requerimientos del sector industrial se plantea como forma de dar solución a esta problemática existente, cambiar o reformar el currículo de las asignaturas que impactan de forma directa con la enseñanza de la ingeniería y gerencia del mantenimiento en las materias de ensayos no destructivos y mantenimiento industrial.

La propuesta de cambio de estas asignaturas se realizará sobre la base de no afectar la cantidad de horas que tienen las anteriores en el pensum de la carrera, así como su posición en el semestre de enseñanza, estos requerimientos se proponen para no realizar cambios significativos que conlleven afectaciones al plan de estudio vigente. Solo se propondrán cambios internos, considerar que, en las propuestas, deben modificarse los nombres de las dos asignaturas que existen.

La primera debe titularse, Gestión del Mantenimiento, y dentro de sus objetivos se propone incluir: Saber las características de la gerencia del mantenimiento y el argumento de organización, planificación, ejecución y control, tabla 13. Total, de horas 80, 32 horas presenciales y 48 de prácticas estudiantiles y trabajo autónomo, 2 h, objetivos propuestos:

**Propuesta de contenidos de la asignatura Gestión de Mantenimiento**

1. Analizar la evolución conceptual de la actividad del mantenimiento.
2. Determinar la importancia de las estrategias, las políticas de mantenimiento.
3. Analizar los sistemas de gestión de la información, GMAC, las Órdenes de Trabajo. La gestión de indicadores técnico económicos en el mantenimiento.
4. Saber el concepto de gestión de mantenimiento y sus elementos integrantes.
5. Saber que es la planificación y programación en el mantenimiento, la tercerización.
6. Determinar aspectos básicos de la inspección y diagnóstico en el mantenimiento.
7. Determinar de forma general como evaluar la función mantenimiento.
8. Analizar los principios básicos de la calidad y el empleo de herramientas básicas, la seguridad y la eficiencia energética en el mantenimiento.
9. Estudiar aspectos generales de la lubricación.
10. Estudiar aspectos generales de la gestión de flotas del transporte.

**Propuesta de objetivos y horas de la asignatura Tecnologías de inspección y diagnóstico**
**Objetivos:**

1. Analizar los aspectos básicos relativos a la gestión de procesos de inspección y diagnóstico

industrial de equipos estáticos y máquinas rotatorias.

2. Determinar las técnicas de análisis de riesgo industrial y la inspección basada en riesgo en equipos estáticos.
3. Analizar las técnicas de ensayos no destructivos como herramientas de la inspección y diagnóstico de equipos estáticos.
4. Estudiar la técnica de termografía infrarroja y su aplicación para la detección de fallos en equipos estáticos y máquinas rotatorias.
5. Analizar los elementos básicos de la medición y el análisis de vibraciones como parámetro síntoma fundamental en el diagnóstico de equipos rotatorios. Conocer la evaluación del comportamiento mecánico de máquinas rotatorias.
6. Analizar el fundamento del control estadístico multivariable de proceso y la aplicación de la técnica de componentes principales.

Horas:
Total, de horas 160 de ellas 64 horas presenciales, y 96 de prácticas estudiantiles y trabajo autónomo, 4 h por semana. Semestre X.

**Análisis de los objetivos declarados en el plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica de la UTM con los objetivos declarados en las asignaturas propuestas**

Para este análisis se realizó el mismo proceso que en los epígrafes anteriores. La diferencia radica que en este caso, se analizó si los objetivos que plantea el plan de estudio eran cubiertos con los objetivos planteados en las asignaturas propuestas. En la tabla 13 se muestra la matriz de relación.

**Tabla 13.** Matriz de relación de los objetivos de las asignaturas propuestas vs objetivos plan de estudios. Fuente: autores

| Asignaturas propuestas | Objetivos | Objetivos del plan de estudio | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V | ∑ |
| Gestión del mantenimiento | 1 | 9 | 3 | 3 | 3 | 3 | 21 |
| | 2 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 39 |
| | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 45 |
| | 4 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 39 |
| | 5 | 9 | 9 | 3 | 9 | 9 | 39 |
| | 6 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 39 |
| | 7 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 27 |
| | 8 | 9 | 9 | 3 | 9 | 9 | 39 |
| | 9 | 3 | 9 | 9 | 9 | 3 | 33 |
| | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 39 |
| Tecnologías de inspección y diagnóstico. | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 39 |
| | 2 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 39 |
| | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 39 |
| | 4 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 39 |
| | 56 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 39 |
| | | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 39 |
| | | 102 | 138 | 120 | 138 | 96 | 594 |

Del análisis de la matriz, en cuanto a la relación entre los nuevos objetivos de las asignaturas propuestas y los objetivos del plan de estudio del ingeniero Mecánico de la UTM, expuestos en la Tabal 15 se pudo llegar a las siguientes conclusiones, tomando como base la misma metodología que en los epígrafes anteriores, donde en la horizontal se estableció la relación entre objetivos de las asignaturas propuestas con los objetivos del plan de estudio.

- Que los objetivos de las asignaturas, Gestión del mantenimiento y en específico los objetivos 1 y 7 son los de menores valores de relación obtenidos, no obstante, se pudo afirmar que los mismos tienen un grado de relación superior al valor promedio, 15.
- Que el resto de los objetivos tienen valor de relación altos, destacándose los de la asignatura

- Tecnologías de inspección y diagnóstico, que presentan alto grado de relación.
- En cuanto a un análisis en la vertical se obtiene que el objetivo del plan de estudio, en cuanto a "hacer uso de las TIC para investigar y formular modelos matemáticos, que optimicen o simulen procesos y prototipos incluyendo los de mantenimiento, es el de menor grado de relación. No obstante, el mismo alcanza un valor de 96 puntos superior al valor promedio a alcanzar que es de 48.
- Se debe destacar que los objetivos 2 y 4 del plan de estudios, alcanzan valores de 138 donde el valor máximo posible a alcanzar es de 148.

Como conclusión de este análisis se pudo argumentar que:

- Las asignaturas propuestas cumplen con los objetivos planteados en el plan de estudio de la carrera del Ingeniero Mecánico de la UTM.
- Que, por correspondencia con estos objetivos planteados en el plan de estudio, se demostró en la tabla 13, que tienen correspondencia con los requerimientos del sector industrial, atendiendo a los conocimientos que ellos esperan que tengan los ingenieros mecánicos egresados de la UTM.
- Estos objetivos también dan solución a esto requerimientos.

Por todo lo antes planteado y tomando como base que esta nueva propuesta se fundamentó, de forma general, en solo cambiar asignaturas, donde el plan de estudio no va confrontar problemas de alteraciones en sus horarios ya que las asignaturas propuestas se introducirán en las ya existentes se puede afirmar que de aceptarse estos cambios por el concejo universitario. Se contribuirá a mejorar los conocimientos de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTM en el área del conocimiento del mantenimiento y así cumplir con lo planteado en el plan de estudio y con los requerimientos que solicitan el sector industrial de la provincia Manabí.

## 4. CONCLUSIONES

De la aplicación de una encuesta se obtuvo que los egresados de la carrera de ingeniería mecánica de la UTM, no poseen las competencias en el área de la ingeniería y gerencia del mantenimiento que necesita el sector industrial de la provincia de Manabí.
Se propusieron dos asignaturas, que van a dar respuesta a los objetivos del plan de estudio de la carrera del ingeniero mecánico de la UTM y que en su implementación contribuyen al fortalecimiento en la formación de estos egresados en el área de la ingeniería y gerencia del mantenimiento

## REFERENCIAS

1. Pirela Morillo J, Cortés Vera JJ. The development informational competencies in university students: Experience and perspectives of two Latin-American universities. Investigación bibliotecológica. 2014;28(64):145-172. DOI: 10.1016/S0187- 358X(14)70913-X
2. Domínguez Serrano M, Blancas Peral FJ. Evaluando competencias en la asignatura Análisis Multivariante de Indicadores en Criminología. International Journal of Educational Research and Innovation (IJERI). 2016; 5:14-27.
3. Salgado F. Diseño de programas de asignaturas basados en competencias y su aplicación en la Universidad del Bío-Bío, Revista Ingeniare. 2012;20(2):267-278. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052012000200013
4. Zúñiga Meléndez AR, Leiton JA, Rodríguez N. Del sistema educativo tradicional hacia la formación por competencias: Una mirada a los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias en la educación secundaria de Mendoza Argentina y San José de Costa Rica Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 2014;11(2):145-159. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.20 14.v11.i2.03
5. Aybar Mejía M, Castillo Serpa A. Evaluación de los contenidos de Ingeniería de Mantenimiento en la formación del Ingeniero Eléctrico en el Instituto Tecnológico de Santo Domingo International

6. Journal of Educational Research and Innovation (IJERI). 2018; 10:108-125.
7. Cabero Almenara J, Barroso Osuna J, Palacios Rodríguez A, Llorente Cejudo C. Marcos de Competencias Digitales para docentes universitarios: su evaluación a través del coeficiente competencia experta. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado. 2020;23(3):17-34.
8. Becker J, Becker A, Sałabun W. Construction and Use of the ANP Decision Model Taking into Account the Experts Competence. In: International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Marseille, France; 2017.
9. García Aracil A, Palomares Montero, D. Indicadores para la evaluación de las instituciones universitarias: validación a través del método Delphi, Revista Española de Documentación Científica. 2012;35(1):119-144.
10. Osadebe P. Construction of Valid and Reliable Test for Assessment of Students, Journal of Education and Practice. 2015;6(1):95-106.
11. Contreras Espinoza S, Novoa Muñoz F. Ventajas del alfa ordinal respecto al alfa de Cronbach ilustradas con la encuesta AUDIT- OMS. Rev Panam Salud Pública. 2018;42: e65. https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.65
12. Parthiban S, Rodrigues P. Kuder-Richardson Reputation Coefficient based Reputation Mechanism for Isolating Root Node Attack in MANETs. Indian Journal of Science and Technology. 2015;8(15):2-9. DOI:10.17485/IJST/2015/V8I15/53211
13. Manzano Soto N, Martín Cuadrado A, Sánchez García, Marifé Rísquez A, Suárez Ortega M. El rol del mentor en un proceso de mentoría universitaria, Educación XX1. 2012;15(2):93-118.
14. Muñoz González JM, Hinojosa Pareja EF, Vega Gea E. Opiniones de estudiantes universitarios acerca de la utilización de mapas mentales en dinámicas de aprendizaje cooperativo. Revista Perfiles Educativos. 2016;136(153):136-151.
15. Otzen T, Manterola C. Sampling techniques on a population study. International Journal of Morphology. 2017;35(1):227-232 http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037.

**Sobre los autores**

MSc. Joel Guillen[1], Master en Ingeniería y Gerencia de Mantenimiento. Profesor de la Universidad Técnica de Manabí.
Dr. Ing Francisco Martínez Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, desempeña profesor del Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento.
MsC. Ing. Leisis Villar Ledo[3], Máster en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, desempeña el rol de Vicedecana Docente de la Facultad de Ingeniería Industrial
Dr. Ing. Armando Díaz Concepción[4], Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, desempeña el rol de Director del Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento.
Dr. Ing. Alexander Alfonso-Álvarez5, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL DESALINEAMIENTO EN LOS PARÁMETROS DINÁMICO FUNCIONALES DE UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA DE 250 kW

**Evelio Palomino Marín[1], Fausto Taveras Lay[2], Armando Díaz Concepción[1], Jesús Cabrera Gómez[1]**

[1]Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CEIM-Cujae. La Habana. Cuba, [2]TLAY SRL. Santo Domingo, República Dominicana
[1]e-mail: e.palomino@mecanica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Se realizó una investigación experimental para la determinación de la influencia del desalineamiento en los parámetros dinámicos funcionales de un motor de corriente continua de 250 kW en una planta siderúrgica. El objetivo fue la determinación de los parámetros síntomas registrados en línea más sensibles a la condición de alineamiento del motor GH280 PK DC de 250 kW de un Laminador, para lo cual fue necesario obtener un modelo matemático que describiera el comportamiento de ciertos parámetros dinámico funcionales en función del desalineamiento del motor. Se provocó desalineamiento paralelo horizontal en un motor y se midió temperatura, vibraciones y consumo de corriente. Mediante el análisis estadístico se encontró una correlación moderadamente fuerte entre el desalineamiento y el consumo de corriente. Se obtuvo un modelo lineal que relaciona ambas variables, el cual fue validado satisfactoriamente. El resultado obtenido fue que, aunque el desalineamiento residual fuera tolerable, este provocó cambios significativos en el consumo energético, lo cual se traduce en reducciones de hasta 13 % de consumo energético realineando periódicamente el motor en función del consumo de corriente. El modelo obtenido permitió estimar el desalineamiento midiendo la corriente, siendo útil, aún sin exceder los límites tolerables, para la planificación de acciones correctivas optimizando así el consumo energético.

**PALABRAS CLAVES:** desalineamiento de ejes, motores de corriente continua, consumo de corriente, análisis estadístico, parámetros dinámico funcionales, laminador de acero.

## INFLUENCE OF MISALIGNMENT ON FUNCTIONAL DYNAMIC PARAMETERS OF A 250 kW DIRECT CURRENT MOTOR

## ABSTRACT

An experimental investigation was carried out to determine the influence of misalignment on the functional dynamic parameters of a 250 kW DC motor in a steel plant. The objective was to determine the most sensitive online symptom parameters to the alignment condition of the 250 kW GH280 PK DC motor of a steel plant. To do this, it was necessary to obtain a mathematical model that described the behavior of certain functional dynamic parameters based on the motor misalignment. Parallel horizontal misalignment was caused in a motor and temperature, vibrations, and current consumption were measured. Through statistical analysis, a moderately strong correlation was found between misalignment and current consumption. A linear model relating both variables was obtained, which was satisfactorily validated. The most relevant result was that although the residual misalignment was tolerable, it caused significant changes in energy consumption, which translates into reductions of up to 13 % in energy consumption by periodically realigning the motor based on current consumption. The research concluded that the model obtained allowed estimating misalignment by measuring the current, being useful, even without exceeding tolerable limits, for planning corrective actions thus optimizing energy consumption.

**KEY WORDS:** shaft misalignment, direct current motors, current consumption, statistical analysis, dynamic functional parameters, steel rolling mill.

## 1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la relación existente entre el desalineamiento de ejes en máquinas rotatorias y el comportamiento vibroacústico de esta, la temperatura y el consumo energético de los accionamientos, no se ha encontrado suficiente evidencia sobre los cambios en dichos parámetros ante desalineamientos residuales que aún estén contemplados dentro de límites tolerables en máquinas reales operando en línea.
En las últimas décadas ha habido gran interés en la comunidad científica por estudiar los efectos del desalineamiento en máquinas rotatorias. Los aspectos más importantes se resumirán a continuación.

En 1994, Xu M. y Marangoni RD [1, 2], desarrollaron un modelo teórico de un sistema completo motor-acoplamiento flexible-rotor capaz de describir las vibraciones mecánicas resultantes del desalineamiento y el desbalance, obteniendo ecuaciones generalizadas del movimiento para un sistema desalineado y desbalanceado.

Los autores presentan los resultados de estudios experimentales realizados sobre un banco para pruebas dinámicas controladas, con la finalidad de validar su modelo teórico de desalineamiento y desbalance, pero no aborda la problemática de las máquinas reales en el proceso productivo.

Por su parte, Sekhar AA y Prabhu BS [3], modelaron un sistema rotor-cojinete utilizando elementos finitos de orden superior, demostrando que el aumento de las componentes armónicas debido al desalineamiento puede modelarse a través de este método.

La investigación está encaminada a demostrar la validez del método de los elementos finitos para modelar el comportamiento de las componentes armónicas generadas por el desalineamiento. Es un trabajo puramente teórico.

Así mismo, Obaid RR, et al [4], analizaron el efecto de variar la frecuencia de entrada al motor de inducción en la detección del desbalance y el desalineamiento, demostrando que el efecto de estos defectos se evidencia en el espectro de corriente del estator aún a baja velocidad.

En este caso, se realiza un estudio de la influencia de la frecuencia fundamental en la apariencia del espectro de corriente registrado en un accionamiento eléctrico, todo ello en un banco de ensayos, no abordando la realidad de las máquinas inmersas en procesos productivos.

En 2004 Saavedra PN y Ramirez DE [5, 6], publicaron los resultados del desarrollo de un modelo teórico de elementos finitos de un sistema de dos rotores acoplados a través de un acoplamiento flexible para describir las vibraciones mecánicas resultantes del desalineamiento. Los cálculos mostraron que la variación periódica de la rigidez del acoplamiento con la rotación, fue la causa del comportamiento vibratorio. Los resultados teóricos se validaron experimentalmente, mostrando buena correspondencia entre el modelo teórico y el experimental.

Nuevamente, se trata del empleo de un banco de ensayo para validar los resultados de la modelación por el método de los elementos finitos, de dos rotores acoplados a través de un elemento flexible, lo cual resulta muy importante dada la creencia de que no es necesario alinear los acoplamientos flexibles.
En fechas más recientes, Sawalhi N, et al, [7] publicaron los principales resultados de una investigación en la que desarrollaron un modelo detallado de elementos finitos de un banco de pruebas para vibraciones. El modelo contempló matrices masa, rigidez y amortiguamiento, incorporando modelos no lineales de rodamientos, desalineamiento y desbalance. Los autores compararon resultados experimentales y simulados, mostrando un aumento de las componentes armónicas de la vibración, sobre todo de órdenes superiores. Los resultados validaron el modelo e indudablemente, ofrecieron un avance en la modelación de las vibraciones debidas al desalineamiento.

Novedoso resulta en esta investigación, el uso de modelos no lineales de rodamientos, desalineamiento y desbalance de un banco de pruebas para estudios experimentales de vibraciones.

Por otra parte, Arun KJ, et al, [8], publicaron una revisión de técnicas para el diagnóstico y pronóstico de sistemas de rotores desalineados, sustentada por modelos basados en elementos finitos, de sistemas desalineados rotor-cojinete-acoplamiento. Los autores utilizaron metodologías para el procesamiento y análisis de vibraciones para la detección de desalineamientos y contemplaron, además, técnicas no basadas en análisis de vibraciones como el análisis de emisiones acústicas, el análisis de corriente del accionamiento eléctrico y la termografía infrarroja, evidenciando los efectos dañinos del desalineamiento y la importancia del diagnóstico precoz.

Resulta novedoso el análisis de emisiones acústicas, el análisis de corriente del accionamiento eléctrico y la termografía infrarroja, todo ello sobre un banco de pruebas.

La eficiencia de los accionamientos eléctricos constituye un aspecto muy sensible al desalineamiento, lo cual Verucchi CJ, et al, [9], analizaron experimentalmente, estudiando casos de desalineamiento radial y angular superiores a los límites recomendados por los fabricantes. Como resultado de los experimentos sobre un banco de ensayos, se registraron aumentos de temperatura en los acoplamientos y reducciones de eficiencia de hasta un 2% para desalineamientos excesivos, mayores en el caso radial.

De especial importancia resulta esta investigación realizada sobre un banco de ensayos, toda vez que se estudió el comportamiento de la temperatura y la eficiencia del accionamiento, ante valores de desalineamiento superiores a los límites recomendados por los fabricantes de los acoplamientos.

Albdery MH y Szabo I [10], presentaron un estudio experimental sobre el efecto del desalineamiento en cojinetes de rodamientos empleando para ello un banco de pruebas con un accionamiento eléctrico acoplado a una carga, provocando desalineamientos radiales por encima de los límites recomendados. Registraron la temperatura en rodamientos con cámara termográfica, obteniendo aumentos de temperatura de hasta 20 °C proporcionales al desalineamiento, lo cual los autores atribuyeron al incremento de las fuerzas de fricción.

En este caso, sobre un banco de ensayos se estudia la influencia de desalineamientos superiores a los límites recomendados, en la temperatura de los cojinetes, pero no se realizan pruebas en máquinas reales en plena producción.

Un estudio experimental sobre el consumo energético en máquinas rotatorias con desalineamiento en ejes fue realizado por Abouelanouar B, et al [11]. Para ello emplearon un banco de pruebas con accionamiento eléctrico y un dispositivo para provocar desalineamiento controlado angular y paralelo en el acoplamiento. Registraron vibraciones y potencia eléctrica, observando incrementos en los niveles de vibraciones, de potencia activa, reactiva y aparente proporcionales a los desalineamientos provocados.
En este caso se estudió la influencia controlada del desalineamiento en los niveles de vibraciones y de potencia a nivel de banco de ensayos.

De la revisión bibliográfica realizada, se observa la necesidad de estudiar el comportamiento de parámetros dinámico-funcionales en máquinas acopladas operando dentro del proceso productivo, toda vez que aunque los valores de desalineamiento residual estén contemplados dentro de límites tolerables, estos influyen en tales parámetros. No se puede perder de vista, que la tolerabilidad del desalineamiento residual está encaminado a proteger solamente la integridad del acoplamiento.

De acuerdo a los resultados de esta revisión bibliográfica, se realizó una investigación experimental donde se determinó la influencia del desalineamiento en parámetros dinámico-funcionales de un motor de corriente continua (DC, Direct Current) de 250 kW en un laminador de acero, con el objetivo de determinar los parámetros síntomas registrados en línea, que resultaran más sensibles a la condición de alineación del mencionado motor.

## 2. MÉTODOS

El motor GH280 PK DC 250 kW instalado en las parejas de desbaste e intermedio del laminador, cuenta con las características eléctricas descritas a continuación:

- Voltaje de armadura: 600 VDC
- Voltaje de campo: 220 VDC
- Corriente máxima de armadura: 455 A
- Velocidad: 1050/2000 rpm
- Potencia: 250 kW

En la práctica, la velocidad óptima de trabajo está entre 1300 rpm y 1800 rpm, tomando en cuenta la temperatura, el consumo de escobillas, la condición del colector y demás variables comprendidas en este equipo.

El acoplamiento del motor a la máquina conducida es de la marca MAINA modelo GO-6A y está conformado por dos cubos con dentado exterior que engranan con los dientes del engranaje interior tallado en la tapa del acoplamiento según se observa en la Figura 1. Está construido para altas potencias y velocidades. Las tapas se montan axialmente para asegurar un área de contacto permanente para la transmisión y están provistas de retenedores para evitar la filtración de polvo y fugas de lubricante.

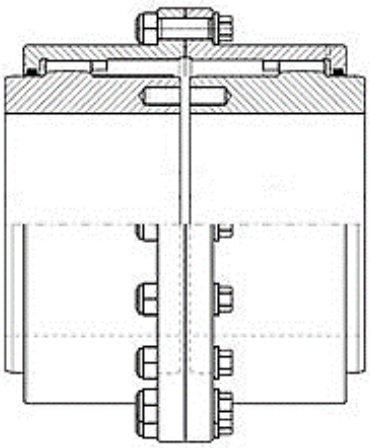


Figura 1. Representación esquemática del tipo de acoplamiento motor-máquina conducida. Fuente: MAINA Gear Couplings, Model GO-6A,
URL: https://utsllcws.com/wp-content/uploads/2017/07/MAINA-Gear-Couplings.pdf

**Ejercicios experimentales**

En la instalación experimental se provocó cierta cantidad de desalineamiento y por supuesto, la elección de los factores dependió de las tolerancias permitidas por el acople y del tipo de desalineamiento, sin que el proceso de cambio de nivel afecte otras variables del equipo o introduzca resultados no esperados en el proceso productivo. Se usó como instalación experimental 2 máquinas acopladas trabajando en el proceso productivo, por lo que no hubo alteraciones provocadas por el experimento.

En la investigación, se provocó desalineamiento paralelo (OFFSET) en el plano horizontal. Las razones que condujeron a esta decisión fueron las siguientes:

1. Provocar desalineamiento en un solo plano equivale a un menor tiempo de indisponibilidad de la máquina.

2. Provocar desalineamiento en el plano horizontal equivale a un menor tiempo de indisponibilidad comparado con el necesario para provocar desalineamiento vertical.
3. Resulta mucho más complejo provocar desviaciones angulares (GAP) que paralelas (GAP) y por supuesto, el experimento conduciría a un mayor tiempo de indisponibilidad de la máquina en caso de provocar desalineamiento combinado.

Por requisitos de operaciones, el motor que se está investigando operó a 2100 rpm, por lo cual se fijaron 3 niveles de desviaciones a saber, 0,17 mm, 0,10 mm y 0,05 mm respectivamente, para los cuales se realizaron las mediciones de los parámetros dinámico funcionales o variables de respuesta.

De acuerdo con estudios realizados con anterioridad, existe una relación entre el desalineamiento y el consumo energético [9, 11], así como también con la temperatura en los alojamientos de los cojinetes de rodamiento de una máquina [8-10] y las vibraciones registradas en estos [5-7].

Estos parámetros, cambiantes y bajo la influencia del ritmo de producción, tipo de producto, condiciones ambientales, condición de la máquina entre otros, se identifican como parámetros dinámicos funcionales y son los que aparecen a continuación.

- Temperatura, expresada en grados Celsius (ºC)
- Consumo de corriente, expresado en Ampere (A)
- Vibraciones, expresada en milímetros por segundo (mm/s)

Para la ejecución de los ejercicios experimentales fue imprescindible garantizar que todos sin excepción se realicen bajo las mismas condiciones operacionales, con la finalidad de obtener una homogeneidad en las variables propias de la función del activo que puedan influir en los parámetros dinámicos funcionales del mismo.

Estas condiciones son:

- Producto: varilla corrugada de 9,5 mm (3/8”) x 6 metros (20’)
- Velocidad lineal del tren laminador: 13,1 m/s
- Revoluciones por minuto de la pasada número 10: 1540 +/- 20 rpm
- Temperatura promedio de material: 1100 ºC +/- 40 ºC
- Todos los parámetros dinámico funcionales fueron tomados en dos horarios, 10:00 a.m. y 3:00 p.m. con el objetivo de tener influencias similares del medio ambiente.

El procedimiento de alineación se ejecutó con un instrumento de alineación por rayo láser SHAFTALIGN de la compañía alemana PRÜFTECHNIK AG con una resolución de 1 µm lineal y 10 µRad angular, todo con una precisión promedio mayor que el 98 %. En cada caso y para cada uno de los niveles de alineación residual (0,17 mm, 0,10 mm y 0,05 mm), se verificaron estos valores en cada movimiento horizontal de la máquina, cuidando rigurosamente que el desalineamiento continuara siendo paralelo y que se mantuviera en todos los casos el mismo desalineamiento residual vertical.

Para la medición de la temperatura en los rodamientos del motor GH280 PK DC 250 kW se utilizó un pirómetro marca FLUKE modelo 62, con distancia del punto focal de entre 50 mm y 1500 mm, rango de temperatura de entre -30 ºC y 500 ºC y una precisión de +/-1,5 % de la lectura. La medición se realizó siempre a un metro de distancia del punto de medición, previo marcaje de los puntos donde se debió colocar el punto de luz visible del pirómetro.

Para la medición de la corriente se utilizó un Analizador de Calidad de Energía FLUKE 435 habilitado para capturar datos del RMS (root mean square) y formas de onda rápidas para caracterizar la dinámica del sistema eléctrico, a la vez que efectúa las mediciones clásicas de la energía activa y reactiva, desequilibrio y energía armónica, las cuales se cuantifican para establecer claramente pérdidas energéticas reales en el sistema. El mencionado Analizador se dejó de manera temporal en la alimentación del motor

experimental hasta que concluyeron las pruebas. El técnico encargado de la medición pasó en los horarios previstos para tomar lectura y asentar en el formulario correspondiente la medición realizada.

Por su parte, las mediciones del nivel total de las vibraciones se realizaron con un Colector Analizador de Vibraciones CSI 2130D con un rango de frecuencia de entre 10 Hz y 1 kHz, una resolución en frecuencia de 0,5 Hz, rangos de medición para desplazamiento desde ~100 µm, velocidad desde ~ 1 mm/s RMS y aceleración desde ~ 5 m/s$^2$. El instrumento exhibe in error de amplitud ≤ 5 % y un error de frecuencia ≤ 0,5 %. Admite la conexión de acelerómetros, transductores de velocidad y sondas de proximidad. Es necesario precisar que aunque las mediciones se realizaron en el rodamiento lado acople y en las tres direcciones ortogonales es decir, radial vertical, radial horizontal y axial, a los efectos de estos experimentos se decidió tomar en cuenta para el análisis sólo las mediciones realizadas en la dirección radial vertical, pues el desalineamiento en el plano vertical genera vibraciones en el plano horizontal y viceversa [12, 13]. Igualmente, la medición del nivel total de las vibraciones se realizó siempre en el mismo horario que las mediciones de las otras variables y en el mismo punto radial vertical en el que habitualmente se miden las vibraciones en el motor, cojinete lado acople.

Luego de realizadas las mediciones en virtud de los requisitos descritos anteriormente, se obtuvieron los resultados recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de las mediciones. Fuente: autores

| OFFSET Horizontal (mm) | Fecha | Hora | RPM | Carga [%] | Nivel total (2RV) [mm/s] | Temperatura [$^o$C] | Corriente [A] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,17 | 04AGO15 | 15:32 | 1530 | 73 | 1,829 | 45 | 264 |
| | 04AGO15 | 09:57 | 1550 | 80 | 1,524 | 46 | 248 |
| | 05AGO15 | 15:49 | 1542 | 70 | 2,007 | 47 | 248 |
| | 06AGO15 | 15:58 | 1520 | 65 | 1,676 | 43 | 246 |
| 0,10 | 21AGO15 | 10:33 | 1607 | 77 | 2,235 | 46 | 237 |
| | 25AGO15 | 09:55 | 1515 | 65 | 1,676 | 48 | 233 |
| | 22SEP15 | 10:30 | 1653 | 66 | 1,880 | 47 | 239 |
| 0,05 | 27OCT15 | 10:08 | 1550 | 68 | 2,134 | 47 | 235 |
| | 28OCT15 | 10:54 | 1520 | 83 | 2,108 | 45 | 236 |
| | 29OCT15 | 10:36 | 1515 | 81 | 2,134 | 46 | 237 |
| | 30OCT15 | 10:17 | 1545 | 72 | 2,261 | 46 | 233 |

**El análisis estadístico**

El análisis se efectuó con el Statgraphics Plus, versión 5.1, edición profesional para Windows. Para ello, el desalineamiento se consideró la variable independiente y tanto la temperatura en los rodamientos como el nivel total de las vibraciones y el consumo de corriente fueron los efectos que se midieron, por lo cual se consideraron las variables dependientes. Corresponde ahora determinar la matriz de correlaciones, con el objetivo de identificar si existe relación lineal o no entre dichas variables.

El modelo más adecuado para este análisis es el de correlación y regresión, es decir, relacionar las mediciones que fueron tomadas en campo con el desalineamiento provocado y ajustar estos puntos de relación a una gráfica lineal.

A partir de este modelo matemático lineal, se analizó la relación del Desalineamiento (D) con las variables Consumo de corriente (I), Temperatura (T) y Vibraciones (Vib) que son las variables dependientes del modelo. El Desalineamiento (D) es la variable independiente o la variable explicativa

que se utilizó para estudiar los consumos energéticos, la temperatura en rodamientos y las vibraciones en estos.

Con este modelo se pretende estudiar qué influencia tiene el desalineamiento sobre los consumos energéticos, la temperatura en rodamientos y las vibraciones en estos. Para poder cuantificar dicha relación, también se debe representar la recta de regresión que subyace en el modelo matemático que relaciona ambas variables. Para cuantificar la relación entre las variables y poder disponer de una imagen aproximada de la influencia del desalineamiento sobre los consumos energéticos, la temperatura en rodamientos y las vibraciones en estos, se estimó el modelo por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) donde se minimiza la suma de los cuadrados de los residuos [14].

Como se puede observar en la Tabla 2, la correlación del Desalineamiento con el consumo de Corriente es de 0,8085, lo cual evidencia una relación moderadamente fuerte entre las variables por lo cual, sólo se estudiará el comportamiento del consumo de corriente en función de los cambios en el Desalineamiento Paralelo Horizontal.

Tabla 2. Matriz de correlación. Fuente: autores

| | **Corriente** | **Desalineamiento** | **T2** | **Vibración** |
|---|---|---|---|---|
| **Corriente** | | 0,8085<br>10<br>0,0046 | - 0,4035<br>10<br>0,2475 | - 0,5792<br>10<br>0,0793 |
| **Desalineamiento** | 0,8085<br>10<br>0,0046 | | -0,2909<br>10<br>0,4149 | - 0,7550<br>10<br>0,0116 |
| **T2** | - 0,4035<br>10<br>0,2475 | - 0,2909<br>10<br>0,4149 | | - 0,0309<br>10<br>0,9324 |
| **Vibración** | - 0,5792<br>10<br>0,0793 | - 0,7550<br>10<br>0,0116 | - 0,0309<br>10<br>0,9324 | |

Según se muestra en la Tabla 3, el modelo lineal obtenido que describe la relación entre el consumo de Corriente y el Desalineamiento paralelo horizontal permitió escribir la ecuación 1.

Tabla 3. Resultados de la estimación del modelo. Fuente: autores

| **Parámetro** | **Estimado** | **Error Estándar** | **T Estadística** | **P-Valor** |
|---|---|---|---|---|
| Intercepto | 226,916 | 4,30887 | 52,66240 | 0,0000 |
| Pendiente | 138,743 | 35,70950 | 3,88533 | 0,0046 |

$$II = 138{,}743 \cdot DD + 226{,}916 \qquad (1)$$

Siendo:

*I*: consumo de Corriente (A)
*D:* desalineamiento paralelo horizontal (mm)

En la Figura 2 se puede observar la representación gráfica del modelo obtenido y en la Tabla 4 se muestran los descriptores estadísticos del modelo.

Tal y como ya se ha mencionado, en la Figura 2 se observa gráficamente el modelo ajustado, pero resultó necesario validarlo y tal validación se realizó a través del análisis de los residuos y la prueba de la falta de ajuste. Este análisis de los residuos se ejecutó con el objetivo de verificar el supuesto de que los residuos constituyen una variable aleatoria que responde a una distribución normal, con media cero (0) y varianza

constante. Para ello, bastó con verificar en el gráfico del análisis de los residuos basado en el desalineamiento y mostrado en la Figura 3, que no hay evidencias de que no se cumpla este supuesto ya que las medidas se distribuyen aleatoriamente alrededor de cero (0) y los valores de los residuos estandarizados se mantienen entre - 2 y2.

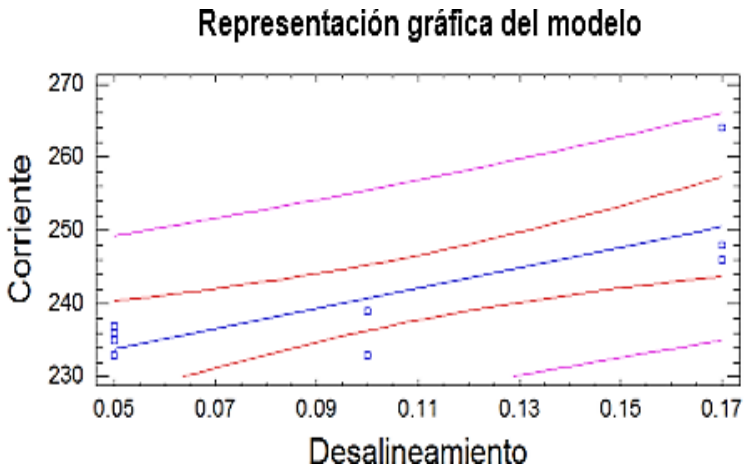



Figura 2. Representación del modelo obtenido. Fuente: autores

Tabla 4. Descriptores estadísticos. Fuente: autores

| **Descriptor** | **Valor** |
|---|---|
| Coeficiente de correlación | 0,808466 |
| R-Cuadrado | 65,3617 % |
| Error estándar de la estimación | 6,07691 |

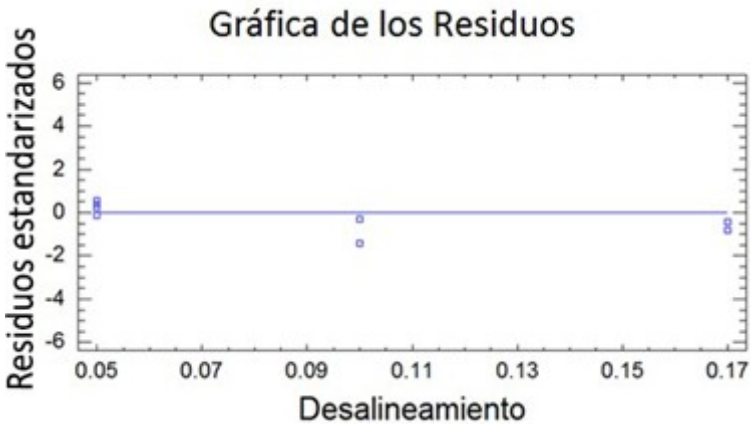



Figura 3. Residuos estandarizados respecto al desalineamiento. Fuente: autores

Así mismo, se realizó la prueba de falta de ajuste para demostrar que el modelo lineal es adecuado. Observando la Tabla 5, se puede realizar la comparación entre la variabilidad del modelo residual actual con la variabilidad entre las observaciones y las réplicas de los valores del Desalineamiento paralelo horizontal, que es la variable independiente. Puesto que el p-valor para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es mayor que 0,10, no existe suficiente evidencia estadística para rechazar que el modelo lineal es adecuado [15].

Tabla 5. Análisis estadístico de la falta de ajuste del modelo. Fuente: autores

| Análisis de varianza con falta de ajuste | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente** | **Suma de Cuadrados** (SC) | **Grado de Libertad** (GL) | **Cuadrado Medio** (CM) | **F-Ratio** | **P-Valor** |
| Modelo de regresión | 557,4700 | 1 | 557,4700 | 15,1000 | 0,0046 |
| Residual | 295,4300 | 8 | 36,9288 | | |
| Falta de ajuste | 57,6802 | 1 | 57,6802 | 1,7000 | 0,2337 |
| Error puro | 237,7500 | 7 | 33,9643 | | |
| Total de correlación | 852,9000 | 9 | | | |

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De lo anterior se puede concluir que existe una relación estadística significativa entre el consumo de Corriente y el Desalineamiento paralelo horizontal. El estadígrafo R-Cuadrado indica que el modelo como ajuste explica el 65,3617 % de la variabilidad del consumo de Corriente y el coeficiente de correlación de 0,808466, indica una relación moderadamente fuerte entre el consumo de Corriente y el Desalineamiento paralelo horizontal, mostrando el error estándar del estimado una desviación estándar de los residuales de 6,07691.

Como resultado del análisis, se puede afirmar que los residuos constituyen variables aleatorias independientes pues de acuerdo con la Figura 4, no hay evidencia de que exista dependencia entre los residuos correspondientes a esas mediciones.

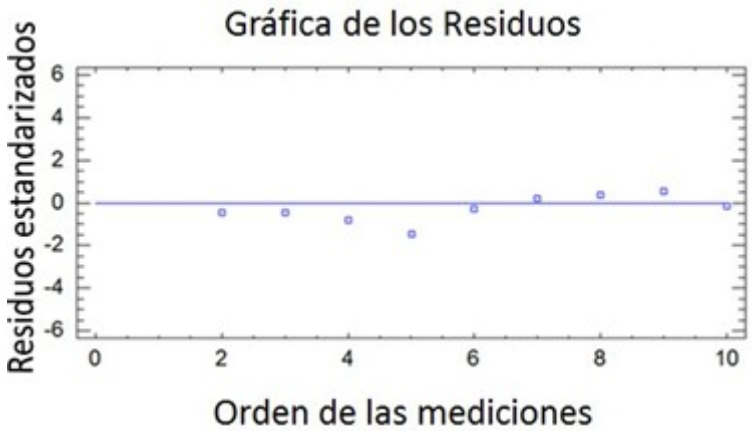



Figura 4. Residuos estandarizados respecto al orden de las mediciones. Fuente: autores

Los resultados de las pruebas realizadas indican que aún con desalineamientos residuales tolerables, estos provocan cambios en el consumo de corriente del motor, de acuerdo con el modelo lineal representado por la ecuación (1).

Esto quiere decir, que dentro del rango de entre 0,05 mm y 0,17 mm de desalineamiento residual paralelo horizontal, en el que es válido el modelo obtenido, se pueden tomar decisiones y proponer la realineación de la máquina, cuando se considere que el consumo de corriente redunde en un consumo energético considerable. Tenga presente que para un desalineamiento residual de 0,17 mm, aun cuando es tolerable por el acoplamiento, el consumo de corriente es de 31 Ampere más que si el desalineamiento residual fuese de 0,05 mm. Esta diferencia de 31 Ampere en un motor como el estudiado representa casi 30 kW de potencia instantánea, lo cual constituye un valor considerable con una repercusión económica importante.

No existen referencias en Internet a investigaciones realizadas con este enfoque y por ello resulta imposible realizar comparaciones.

Los resultados obtenidos pueden servir de referencia para realizar el estudio del comportamiento del consumo de corriente en motores similares al estudiado en función del desalineamiento paralelo horizontal.

## 4. CONCLUSIONES

El modelo obtenido permitió estimar el desalineamiento midiendo la corriente, siendo útil, aún sin exceder los límites tolerables, para la planificación de acciones correctivas optimizando así el consumo energético.

Los resultados tienen un carácter novedoso, pues fueron obtenidos a partir de una máquina real trabajando en un proceso productivo real, sobre la que se indujeron desalineamientos tolerables que provocaron, a pesar de ser tolerables, consumos energéticos inadmisibles. La práctica habitual de mantenimiento plantea que las máquinas se deben realinear cuando las desviaciones en los ejes están fuera del rango permisible influyendo negativamente en el comportamiento vibratorio del sistema accionamiento-máquina y en este caso, es el consumo energético el que indica cuando es necesario alinear, aun cuando el desalineamiento sea tolerable desde el punto de vista mecánico.

## REFERENCIAS

1. Xu M, Marangoni RD. Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance, part I: theoretical model and analysis. Journal of sound and vibration. 1994;76(5):663-79.
2. Xu M, Marangoni RD Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance, part II: experimental validation. Journal of sound and vibration. 1994;176(5):681-91.
3. Sekhar A.A., Prabhu B.S. Effects of coupling misalignment on vibrations of rotating machinery. Journal of Sound and vibration. 1995;185(4):655-71.
4. Obaid RR, Habetler TG, Tallam RM. Detecting load unbalance and shaft misalignment using stator current in inverter-driven induction motors. In: IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. Madison, WI, USA: IEEE; 2003. DOI: 10.1109/IEMDC.2003.1210643
5. Saavedra P., Ramirez DE. Vibration analysis of rotors for the identification of shaft misalignment Part 1: theoretical analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2004;218(9):971- 85.
6. Saavedra PN, Ramirez DE. Vibration analysis of rotors for the identification of shaft misalignment Part 2: experimental validation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2004;218(9):987-99.
7. Sawalhi N, Ganeriwala S, Tóth M. Parallel misalignment modeling and coupling bending stiffness measurement of a rotor- bearing system. Applied Acoustics. 2019;144:124-41.
8. Arun KJ, Shital P, Gaurav M. A review on fault diagnosis of misaligned rotor systems. International Journal of Performability Engineering. 2020;16(4):499.
9. Verucchi CJ, Giraldo E, Meira M, Ruschetti CR, Bossio JM, Bossio GR. Efficiency assessment of induction motors drives operating under shaft misalignment conditions. Advances in Electrical and Electronic Engineering. 2020;18(3):142-52.
10. Albdery MH, Szabo I. Experimental Study of the Effect of Misalignment on Rolling Element Bearing. European Journal of Engineering and Technology Research. 2021;6(7):87-90.
11. Abouelanouar B, Elkihel A, Gziri H. Experimental study on energy consumption in rotating machinery caused by misalignment. SN Applied Sciences. 2020;2:1-6.
12. Nawir R, Dwianda Y, Febrianton A, et al. The Effect of Misalignment to Vibration, Electric Current and Shaft Rotation Speed on Gear Transmission. Journal of ocean, mechanical and aerospace - science and engineering. 2022;66(1):14-9. DOI: 10.36842/jomase.v66i1.278

13. Chai N, Yang M, Ren B, Huang X, Xu D. Misalignment detection of rotor system based on adaptive input-output model identification of motor speed. In: 2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control. Conference. Nanjing, China: IEEE; 2020 DOI: 10.1109/IPEMC-ECCEAsia48364.2020.9367979
14. Montgomery DC. Design and analysis of experiments. Arizona State University. John Wiley & Sons Inc.; 2017. ISBN 1119113474.
15. Bertinetto C, Engel J, Jansen J. ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review. Analytica Chimica Acta: X. 2020;6:100061.

**Sobre los autores**

**Evelio Palomino Marín**

Graduado de Ingeniería Mecánica en 1981. Es Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, fundador del Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento y actualmente ejerce cátedra universitaria en diferentes asignaturas relativas a la Ingeniería de Mantenimiento, liderando además el Proyecto "Tecnologías para el Mantenimiento" del Grupo de Ingeniería de Mantenimiento del CEIM.

**Fausto Taveras Lay**

Graduado de Ingeniería Electrónica y de Comunicaciones en 2004 en el Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC). Profesor de Controles Eléctricos e Instrumentación en el INTEC, Gerente de Mantenimiento Eléctrico en el grupo metalúrgico Gerdau METALDOM. Fundador de la compañía privada TLAY SRL para la comercialización, mantenimiento y montaje de equipos electromecánicos para el sector industrial de la República Dominicana.

**Armando Díaz Concepción**

Graduado de Ingeniería Mecánica en 1986. Es Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar y actual Director del Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. Lidera varios proyectos de investigación – desarrollo dentro del Grupo de Ingeniería de Mantenimiento y ejerce cátedra universitaria en diferentes asignaturas relativas a la Ingeniería de Mantenimiento.

**Jesús Cabrera Gómez**

Graduado de Ingeniería Mecánica en 1980. Es Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar y fundador del Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. Actualmente es el Coordinador de la Maestría en Ingeniería y Gerencia de Mantenimiento, es el Jefe del Grupo de Investigación "Ingeniería de Mantenimiento" y ejerce cátedra universitaria en diferentes asignaturas relativas a la Ingeniería de Mantenimiento.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TECNOLOGÍA DE MOLDEO PARA TAPA DEL REDUCTOR PROMINENT EMPLEANDO LA IMPRESIÓN 3D

**Yadisleydis La´o Hernández[1], Mario Martínez López[2], Kevin M. Ramírez Ara[3], Andrés Parada Expósito[2]**

[1]UM 5980, Cda. de Puentes Grandes y La Tropical, Cerro. La Habana. Cuba, [2]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Cujae. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Ave 114 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba, CP 19390, [3]Termoeléctrica Ernesto Che Guevara, Vía Blanca km 57 Sta. Cruz del Norte. Mayabeque. Cuba,
[2]e-mail: mmartinezl@mecanica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Se presenta el desarrollo de la tecnología de moldeo en arena para obtener la Tapa del reductor de la motobomba dosificadora de hipoclorito modelo PROMINENT VARIO C, a fundir en latón naval UNS C85700. Se emplea un modelo de fundición permanente elaborado por Impresión 3D, mediante Modelado por Deposición Fundida (FDM) en PETG. Su evaluación por MEF presupone un adecuado comportamiento a las condiciones de moldeo manual en tres cajas. Se seleccionó el diseño del modelo con parte suelta para resolver el problema de las contrasalidas, utilizando para su ensamble una cola de milano. Se diseñó el sistema de alimentación, identificándose dos focos térmicos que son contrarrestados con mazarotas. Luego de definir el proceso se realizaron pruebas de moldeo en el Taller de Fundición de la Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, demostrándose la viabilidad de la tecnología. Se efectuó la simulación del llenado de la pieza identificándose riesgos de defectos que pueden ser mitigados con el sistema de alimentación. Se da respuesta a la sustitución de importaciones del grupo empresarial (OSDE) Agua y Saneamiento de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN REACTOR DE ALTA VELOCIDAD PARA LA AGLOMERACIÓN DE MINERALES FINOS EN PRESENCIA DE OXIDO DE POLIETILENO (PEO)

**Pablo Cabrera Ferrán [1], Leopoldo E. Gutiérrez Briones[1]**

[1]Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción Chile
[1]e-mail: pacabreraf@udec.cl

**RESUMEN**

El presente estudio abordó el uso de reactores de ultrafloculación de alto cizallamiento para lograr la aglomeración y posterior flotación de partículas finas de minerales de cuarzo, calcopirita y molibdenita. Se utilizó óxido de polietileno OPE como reactivo químico para potenciar la efectividad y selectividad del proceso, ya que ha demostrado ser eficiente en la recuperación de finos y ultrafinos. Mediante el uso de técnicas experimentales y simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics), se diseñó y fabricó un reactor ultrafloculador de 1L de capacidad mediante impresión 3D, para su posterior uso en experimentos de flotación en celdas de laboratorio.

**PALABRAS CLAVES:** ultrafloculación, óxido de polietileno, calcopirita, molibdenita.

## DESIGN AND SIMULATION OF A HIGH-SPEED REACTOR FOR THE AGGLOMERATION OF FINE MINERALS IN THE PRESENCE OF POLYETHYLENE OXIDE (PEO)

**ABSTRACT**

The present study dealt with the use of high shear ultraflocculation reactors to achieve the agglomeration and subsequent flotation of fine particles of quartz, chalcopyrite and molybdenite minerals. Polyethylene oxide OPE was used as a chemical reagent to enhance the effectiveness and selectivity of the process, since it has proven to be efficient in the recovery of fines and ultrafines. Through the use of experimental techniques and CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations, an ultraflocculator reactor of 1L capacity was designed and manufactured by means of 3D printing, for its subsequent use in flotation experiments in laboratory cells.

**KEY WORDS:** ultraflocculation, polyethylene oxide, chalcopyrite, molybdenite.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presencia de finos y ultrafinos en el procesamiento de minerales es siempre problemática, y la mejor solución sigue siendo el no producirlas, aunque esta no sea una opción viable hoy en día. Precisamente debido al incremento en la porcentaje de finos y ultrafinos presente en los procesos de concentración por flotación se han propuesto diversas alternativas de procesamiento, la cuales pueden aliviar los problemas cuando se presentan distribuciones de tamaño muy fino; algunas pueden ser el uso de colectores que se adsorba químicamente, con el fin de minimizar el problema de una adsorción no especifica; ultra flotación; flotación en columna; extracción líquido-líquido; electro flotación; flotación por aire disuelto; floculación selectiva, etc. En los procesos basados en la agregación de las partículas tenemos la flotación por cizallamiento ("shear flocculation"), la flotación transportadora y autotransportadora ("carrier flotation" y "autogeneous carrier flotation"), y una técnica que consiste en someter una suspensión de partículas minerales tornadas hidrofóbicas, a través de la adición de reactivos surfactantes y de una intensa agitación ("high intensity conditioning"), produciendo agregados grandes y consistentes (Chia & Somasundaran, 1983; Rubio & Hoberg, 1993). Específicamente en el caso de la aglomeración por acondicionamiento de alta intensidad se debe exceder un requerimiento mínimo de transferencia de energética para que ocurra la colisión y posterior adhesión selectiva entre fracciones de tamaño fino y ultrafino. Este límite mínimo de energía necesario para la eficiencia en el contacto partícula-partícula

depende de las propiedades superficiales de las partículas finas, los reactivos utilizados y la fluidodinámica del sistema (velocidad de agitación, número de deflectores, geometría de las hélices impulsaras, entre otras.

En este contexto, los principales métodos utilizados para dar solución a estos problemas han sido muy variados, por ejemplo, el desarrollo de las celadas flotación de alta cinética para la flotación de partículas finas (Mankosa et al., 2018) combinando y modificando las variables que mayor influencia tienen en la flotabilidad y posterior recuperación de partículas finas (Sripriya et al., 2003). Otros autores han intentado aumentar la eficiencia y efectividad de las colisiones entre burbujas y partículas disminuyendo el tamaño de las burbujas (Hewitt et al., 1993; Luttrell & Yoon, 1984) o aumentando el tamaño aparente de las partículas, ya que está demostrado tanto teórica como experimentalmente que el aumento del tamaño en las partículas favorece su velocidad de flotación (Crawford & Ralston, 1988; Duan et al., 2003; Pyke et al., 2003; Ralston & Dukhin, 1999; Trahar & Warren, 1976).

## 2. METODOLOGÍA

### Diseño y simulación

Previo al inicio del cronograma de pruebas experimentales se inició con el diseño y la simulación numérica del reactor empleado, para ello se utilizó el solucionador CFD comercial basado en volúmenes finitos ANSYS FLUENT 2023 R2 (Fluent, 2023). El estudio consistió en simular 1 reactor ultrafloculador, el cual fue construido utilizando técnicas de impresión en 3D. El reactor fue simulado de manera tal que los perfiles de velocidad de cizalle altas velocidades de cizalle disminuyan progresivamente a medida que el fluido avanza desde la entrada hacia la salida del reactor. El equipo cuenta con conductos de entrada y salida de igual diámetro y un volumen cercano a 1 L.

Para validar las simulaciones, se utilizaron parámetros operacionales como: la caída de presión y el caudal obtenido. Estos parámetros serán contrastados con los resultados de las mediciones experimentales. Cabe destacar que, en esta etapa de la investigación, se utilizó agua como fluido, una amina secundaria como colector y además mineral fino de cuarzo a varios porcentajes de sólido, solo para analizar los efectos de la geometría del reactor en la validación.

En cuanto a las condiciones de contorno, se adoptó una condición de contorno de pared antideslizante para las paredes del reactor, entrada de velocidad uniforme para el conducto de entrada superior y presión fija en la salida para el conducto de salida. La medición de la caída de presión ($\Delta P$) se llevó a cabo en planos separados a 80 mm de la entrada y la salida. Se añadió una sección adicional a la entrada y salida de los modelos computacionales para obtener un flujo desarrollado y evitar mediciones en condiciones de contorno ajustadas.

Para verificar la convergencia de la simulación, se realizaron simulaciones estacionarias utilizando monitores de $\Delta P$ y el esfuerzo cortante de la pared ($\tau$). Se empleó el esquema SIMPLE para el acoplamiento presión-velocidad, el método basado en celdas de mínimos cuadrados para resolver el gradiente, el método de segundo orden para la presión, y el método de segundo orden contra el viento para el momento, la tasa de disipación específica y las tensiones de Reynolds.

Antes de iniciar las pruebas experimentales con mineral de cobre y de molibdeno, se realizaron pruebas con mineral fino de cuarzo, pues constituye un material relativamente barato y de fácil acceso, esto con el objetivo de realizar experimentos previos y conocer mediante observación en microscópico si efectivamente se lograba la formación de flóculos. Las suspensiones modelo se confeccionaron empleando un material compuesto principalmente por cuarzo (99%). Este material presentaba partículas de tamaño inferior a 97,66 µm, con una mediana de tamaño de 10,1 µm y una densidad de 2,601 g/cm³, cuya medición se realizó mediante picnómetro según la norma ASTM/D854-02. La distribución del tamaño de partículas se determinó utilizando un FRTSH Analysette 22 MicroTec Plus/MaSControl. Todos los ensayos se llevaron a cabo utilizando agua del grifo y las soluciones utilizadas para ajustar el pH fueron el ácido clorhídrico al 0.15% en volumen y la cal al 10% en peso.

### Validación de la simulación

La disposición experimental se presenta en la Figura 1, donde se empleó un manómetro diferencial Yokogawa EJA210E para medir la caída de presión y un caudalímetro Endress+Hauser Promass 80 para

medir el caudal. La Figura 2 muestra el reactor evaluado, que consiste en un cilindro hueco con una entrada estrangulada. Las especificaciones de UF1 y las condiciones de prueba se detallan en la Tabla 1, donde el tiempo de residencia teórico ($T_{tr}$) se determina mediante la ecuación (1). La simulación se realizó para un ($T_{tr}$) de 3s.

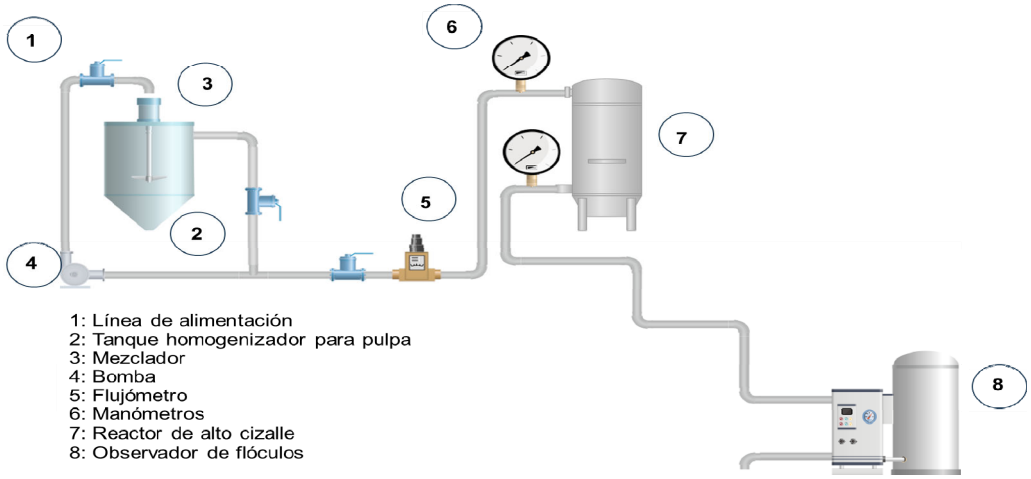



Figura 1: Configuración experimental para la validación del reactor

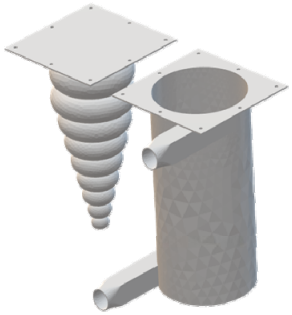


Figura 2: Geometría del reactor diseñado

**Pruebas de flotación**

Las pruebas de flotación fueron realizadas en una celda de laboratorio EDEMET de 1.5 L, utilizando aire a un caudal de 12 L/min. El tiempo de flotación fue de 10 minutos y la alimentación a la flotación estaba conformada por una pulpa mineral previamente acondicionada en el reactor ultrafloculador de alto cizalle. Estos experimentos se realizaron siempre a la misma concentración de sólidos (15 %) y pH 10.5. El reactivo aglomerante utilizado en todas las experiencias fue el Óxido de polietileno de bajo peso molecular 100000 g/mol y se varió su dosificación para evaluar su efecto en la recuperación de finos diferentes minerales. En el proceso de acondicionamiento a alta intensidad se agregaron gotas de gasoil a la solución acuosa de PEO para el caso del mineral de molibdeno y Xantato amílico de potasio PAX para el mineral de calcopirita. La agregación de las partículas finas de ambos minerales se evaluó por medio de las curvas de recuperación de metal valioso versus las recuperaciones en peso.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 3a y 3b, se pueden observar los esquemas obtenidos tras la evaluación de la calidad ortogonal del mallado realizado, en este análisis se evidenciaron valores de calidad entre sobre 0,22, lo

cual nos indica que el mallado realizado cumple con los estándares necesarios para entregar buenos resultados de acuerdo con los parámetros ingresados en la simulación.

En la figura 3b) de se pueden observar los valores obtenidos en los perfiles de velocidad al interior del reactor diseñado, en estos resultados se observa claramente que el reactor mostró un perfil caracterizado por altas velocidades en la sección donde la suspensión de sólidos es introducida. A medida que el flujo avanzó a lo largo del reactor, se evidenció una disminución paulatina y progresiva de este parámetro, indicando un cambio gradual en las condiciones de cizalla a medida que el flujo se desplazaba por el reactor. Esta tendencia sugiere que el entorno dentro del reactor se va estabilizando conforme la suspensión se mueve a través de las diferentes secciones de este.

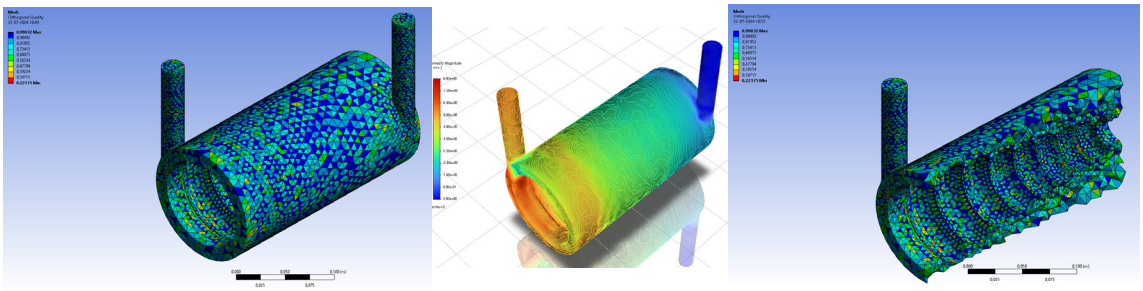


Figure 4: a) Calidad Ortogonal, b) Perfiles de velocidad, c) Sección transversal de la calidad ortogonal

En la figura 3 se muestran los datos de presión y caudal obtenidos al comparar las simulaciones versus los valores experimentales, como se observa existe semejanza entre las curvas obtenidas, lo cual concluye que la simulación realizada representa de manera efectiva los fenómenos fluidodinámicos que ocurren al interior del reactor.

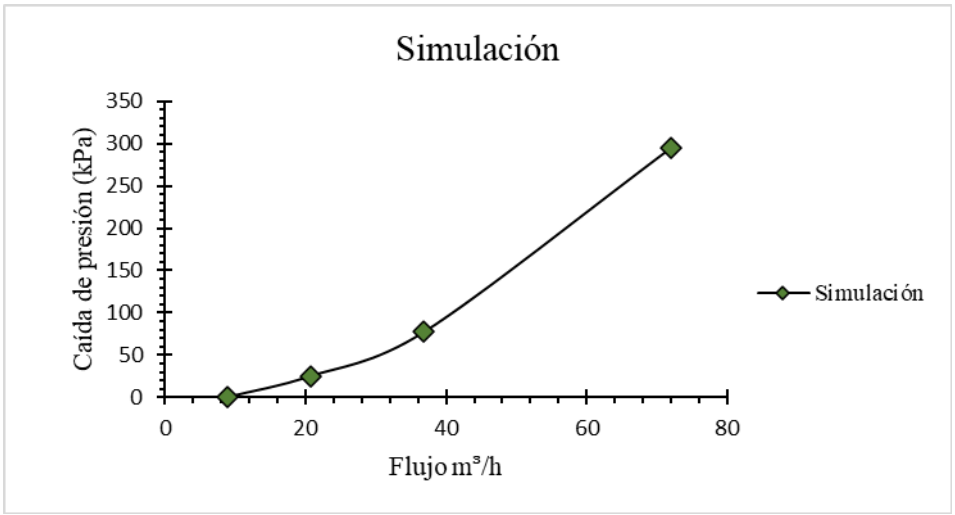



Figura 3: Caída de presión vs Caudal para la simulación

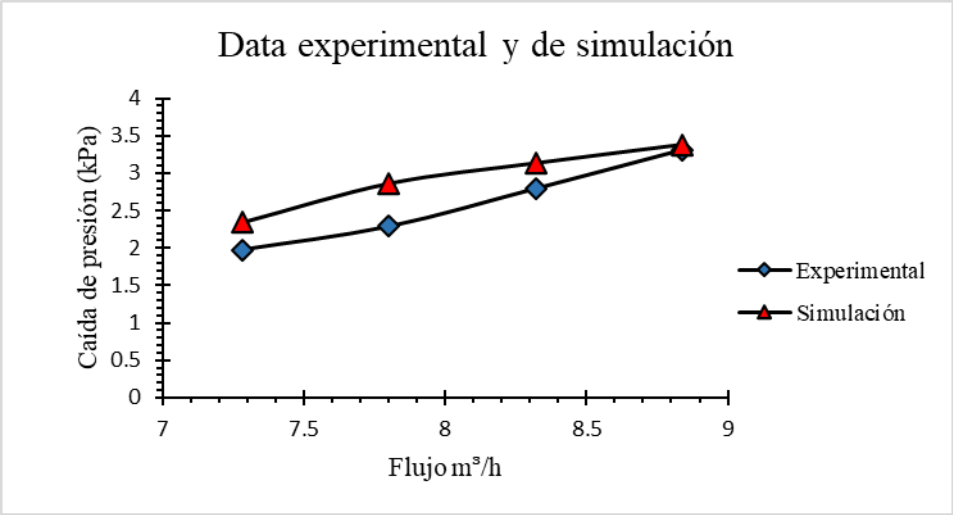



Figura 4: Caída de presión vs Caudal para la simulación y obtenidas experimentalmente

De hecho, la configuración geométrica del reactor tiene un impacto directo en la caída de presión y, por ende, en la potencia absorbida. Es evidente que el reactor muestra resultados que permiten concluir su aprovechamiento de la energía suministrada por el alto cizalle del fluido para generar una agitación capaz de propiciar la formación de flóculos.

Además, es importante destacar la existencia de tiempos de retención notablemente cortos en comparación con otros estudios realizados en los que se utilizan medios mecánicos para generar altas velocidades de cizalle. Esta discrepancia se explica por la aceleración del flujo inducida por la estrangulación en la entrada y la estructura hueca interna, que no restringe el flujo de la misma manera que en otros reactores.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y tomando en cuenta la curva de velocidad de corte óptima proporcionada por la ecuación de velocidad de corte, así como la configuración del reactor, se puede anticipar un mejor rendimiento en la floculación.

Con el fin de evidenciar la influencia del agente floculante en la recuperación de calcopirita y molibdenita para determinar la cantidad óptima de OPE, se llevaron a cabo pruebas variando las dosis de OPE entre 0, 5, 15 y 25 ppm. Estas pruebas se realizaron bajo condiciones de ajuste de pH a 10.5 mediante la adición de cal, junto con 25 ppm de MIBC y 50 ppm de emulsión de diésel. Las Figuras 5 y 6 revelan un aumento general en la recuperación de ambos minerales conforme se incrementa la dosificación de OPE. Sin embargo, se observa posteriormente una disminución debido a un exceso de OPE. Se plantea la hipótesis de que esta disminución en la recuperación de cobre se debe principalmente a la formación de flóculos excesivamente grandes.

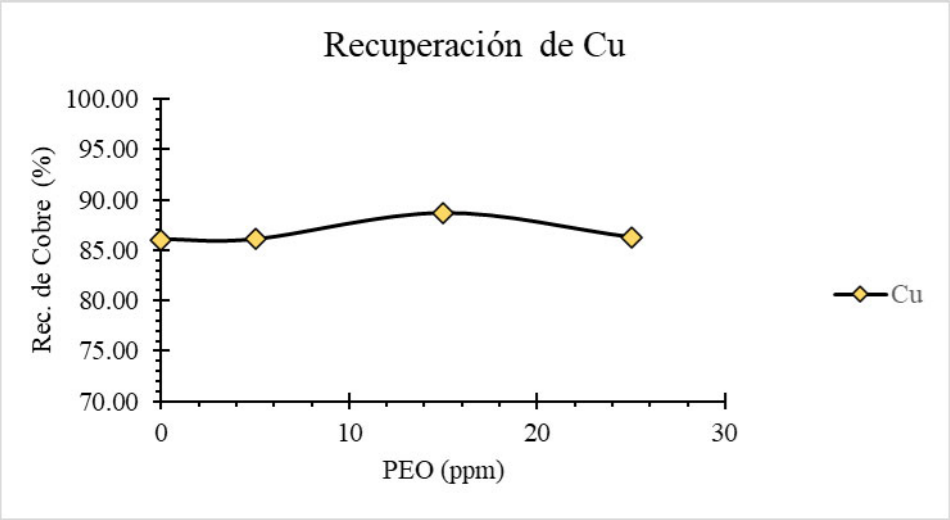



Figura 5: Recuperación Cobre en función de la dosificación de PEO

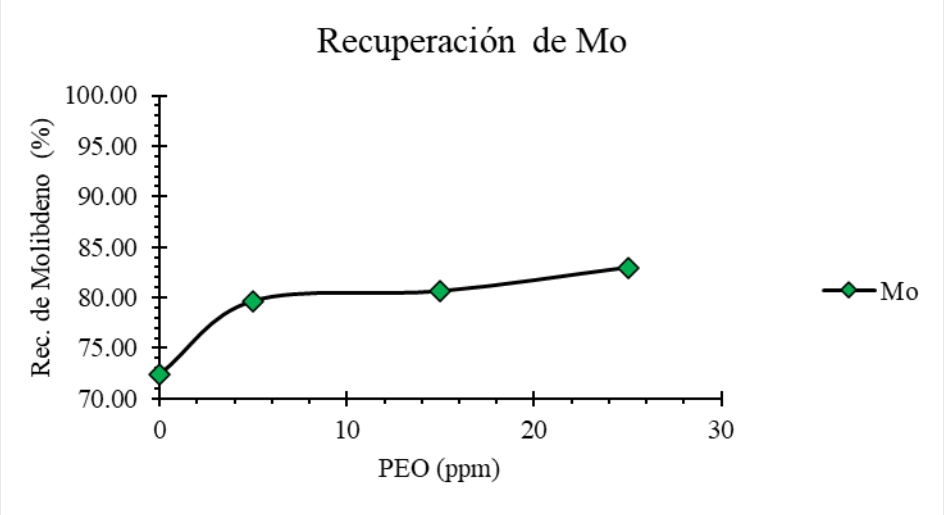



Figura 6: Recuperación Molibdeno en función de la dosificación de PEO

En las figuras 7 y 8 se muestran los resultados de la recuperación de Cu y Mo versus recuperaciones en peso para las pruebas de flotación realizadas. Las pruebas fueron realizadas variando la dosificación de óxido de polietileno entre los valores de 5, 15 y 25 g/ton. En el caso del mineral de Cu, se puede observar que aunque todas sus curvas presentan una tendencia bastante similar en cuanto a su trayectoria y valores, existe una ligera mejora cuando se utiliza una dosificación de 15g/ton, los cual puede estar relacionado con el hecho de que este mineral no presenta hidrofobicidad natural, como es el caso de la Molibdenita, por lo cual fue necesario utilizar xantato amílico de potasio como colector para otorgar al mineral sulfurado de cobre la hidrofobicidad necesaria para interactuar de manera efectiva con el reactivo aglomerante.

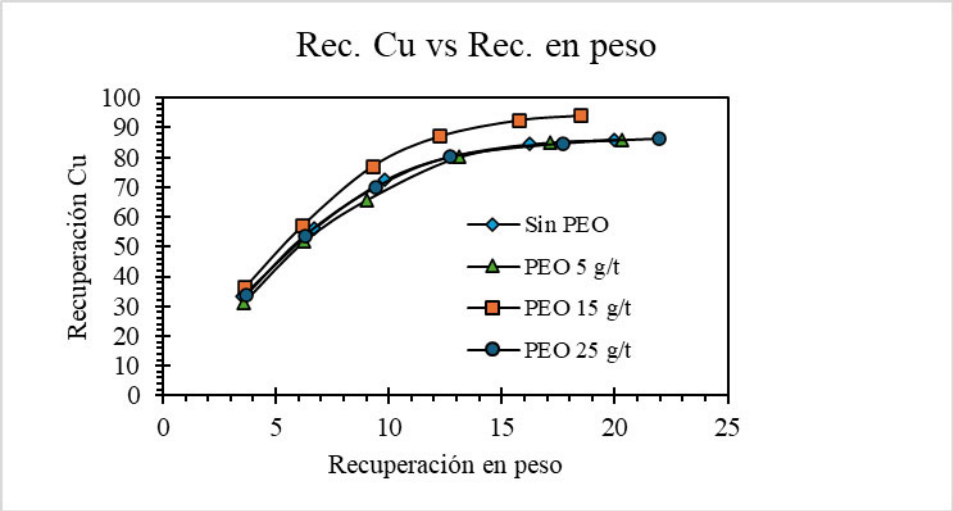



Figura 7: Evaluación de la recuperación de Cu vs la recuperación en peso

En el caso del mineral de molibdeno utilizado en las pruebas de flotación, se observó una mejor respuesta del mineral a medida que se aumentaba la dosis de reactivo aglomerante, lo que sugiere que el PEO funciona bien como aglomerante de partículas finas de mineral de molibdenita. Lo observado durante los experimentos de flotación coincide con investigaciones realizadas por algunos autores Álvarez et al. quienes afirman que la recuperación de finos de molibdenita puede verse sustancialmente beneficiada con la adición de PEO en presencia de diesel esto se debe al comportamiento hasta cierto punto tensioactivo que presenta el PEO, pues según Álvarez et al. tiende a adsorberse en la interfaz aceite/agua.

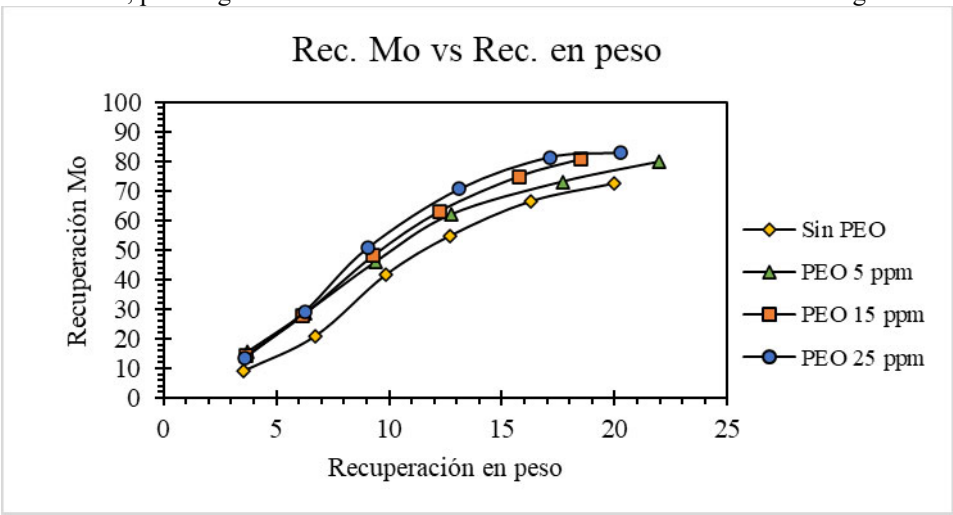



**Figura 8. Evaluación de la recuperación de Mo vs la recuperación en peso**

## 4. CONCLUSIONES

Es evidente que es posible lograr la floculación de partículas muy finas en suspensión que en condiciones de alto cizalle y prestando especial atención tanto a los reactivos utilizados como a la geometría del reactor empleado. Este fenómeno es posible debido a que según diversos autores existe un campo fluidodinámico donde el esfuerzo de corte en las paredes del equipo experimenta variaciones entre los 600 y 800 $s^{-1}$.

Es importante destacar que a través de la realización de las pruebas experimentales como parte del proceso de validación de la simulación permitió corroborar la existencia de similitud entre los valores de caudal y caída de presión, lo cual da un grado de robustes a los modelos que intervienen en la simulación.

Partiendo de la simulación realizada, se puede concluir que esta es adecuada para el objetivo que se persigue en la investigación ya que se observaron gradientes de velocidad que disminuyen con el paso del tiempo al interior del reactor, además no se observó la presencia de zonas muertas o de velocidad de corte igual a 0.

Se demostró, de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de flotación realizadas para cada uno de los minerales, la efectividad de la utilización del PEO como agente aglomerante en la recuperación de finos y ultrafinos, siendo mejor la respuesta del mineral de molibdeno, debido a su hidrofobicidad natural y además a la capacidad de acumulación del PEO en la interfaz agua/aceite.

**REFERENCIAS**

1. ALVAREZ, A., GUTIERREZ, L., & LASKOWSKI, J. S. (2018). Use of polyethylene oxide to improve flotation of fine molybdenite. *Minerals Engineering*, *127*(April), 232–237. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.018
2. CHIA, Y. H., & SOMASUNDARAN, P. (1983). A theoretical approach to flocculation in carrier flotation for beneficiation of clay. *Colloids and Surfaces*, *8*(2), 187–202. https://doi.org/10.1016/0166-6622(83)80084-5
3. CRAWFORD, R., & RALSTON, J. (1988). The influence of particle size and contact angle in mineral flotation. *International Journal of Mineral Processing*, *23*(1–2), 1–24. https://doi.org/10.1016/0301-7516(88)90002-6
4. DUAN, J., FORNASIERO, D., & RALSTON, J. (2003). Calculation of the flotation rate constant of chalcopyrite particles in an ore. *International Journal of Mineral Processing*, *72*(1–4), 227–237. https://doi.org/10.1016/S0301-7516(03)00101-7
5. HEWITT, D., FORNASIERO, D., RALSTON, J., & FISHER, L. R. (1993). Aqueous film drainage at the quartz/water/air interface. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, *89*(5), 817–822. https://doi.org/10.1039/FT9938900817
6. LUTTRELL, G. H., & YOON, R. H. (1984). Surface studies of the collectorless flotation of chalcopyrite. *Colloids and Surfaces*, *12*(C), 239–254. https://doi.org/10.1016/0166-6622(84)80103-1
7. MANKOSA, M. J., KOHMUENCH, J. N., CHRISTODOULOU, L., & YAN, E. S. (2018). Improving fine particle flotation using the StackCell™ (raising the tail of the elephant curve). *Minerals Engineering*, *121*(March), 83–89. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.012
8. PYKE, B., FORNASIERO, D., & RALSTON, J. (2003). Bubble particle heterocoagulation under turbulent conditions. *Journal of Colloid and Interface Science*, *265*(1), 141–151. https://doi.org/10.1016/S0021-9797(03)00345-X
9. RALSTON, J., & DUKHIN, S. S. (1999). The interaction between particles and bubbles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *151*(1–2), 3–14. https://doi.org/10.1016/S0927-7757(98)00642-6
10. RUBIO, J., & HOBERG, H. (1993). The process of separation of fine mineral particles by flotation with hydrophobic polymeric carrier. *International Journal of Mineral Processing*, *37*(1–2), 109–122. https://doi.org/10.1016/0301-7516(93)90008-X
11. SRIPRIYA, R., RAO, P. V. T., & CHOUDHURY, B. (2003). Optimisation of operating variables of fine coal flotation using a combination of modified flotation parameters and statistical techniques. *International Journal of Mineral Processing*, *68*(1–4), 109–127. https://doi.org/10.1016/S0301-7516(02)00063-7
12. TRAHAR, W. J., & WARREN, L. J. (1976). The flotability of very fine particles - A review. *International Journal of Mineral Processing*, *3*(2), 103–131. https://doi.org/10.1016/0301-7516(76)90029-6

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MÓDULO DE MODELACIÓN PARA UNA ARQUITECTURA DE MONITOREO ORIENTADA A INDUSTRIA 4.0

**Ramón Quiza Sardiñas[1], Luis Ángel Arteaga Morales[1], Yanelys Cuba Arana[1], Marcelino Rivas Santana[1]**

[1] Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba, [2] Dirección de Redes, Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba
[1]e-mail: ramon.quiza@umcc.cu

**RESUMEN**

Este trabajo presenta el diseño, implementación y validación de un módulo de modelación basado en un comité de modelos de aprendizaje automático, integrado en una arquitectura de monitoreo industrial orientada a la Industria 4.0. El módulo está compuesto por dos microservicios: uno para el entrenamiento y otro para la validación de los modelos. El comité incluye tres enfoques: regresión lineal con términos cuadráticos, perceptrón multicapa y máquina de soporte vectorial. A partir de los errores de cada modelo, un algoritmo de k vecinos más cercanos selecciona la predicción más precisa. Se realizó un estudio de caso basado en el maquinado de acero, donde se utilizaron parámetros de corte como variables de entrada y la velocidad de desgaste del filo como variable de salida. Los resultados muestran que el comité es tan preciso como el mejor de los modelos en cada predicción, logrando un error absoluto medio menor que los modelos individuales. La validación con puntos aleatorios también confirmó la capacidad de generalización del sistema. En futuros desarrollos, se prevé optimizar el algoritmo de selección y ampliar el comité de modelos para mejorar la adaptabilidad y precisión en diferentes contextos industriales, con un enfoque en la escalabilidad y la integración en sistemas más complejos.

**PALABRAS CLAVES:** Modelación, monitoreo, comité de modelos, Industria 4.0

## MODELLING MODULE FOR AN INDUSTRY 4.0 ORIENTED MONITORING ARCHITECTURE

**ABSTRACT**

This paper presents the design, implementation and validation of a modelling module based on a machine learning models committee, integrated in an industrial monitoring architecture oriented to Industry 4.0. The module is composed of two microservices: one for training and one for model validation. The committee includes three approaches: linear regression with quadratic terms, multilayer perceptron and support vector machine. From the errors of each model, a k-nearest neighbour algorithm selects the most accurate prediction. A case study based on steel machining was conducted, where cutting parameters were used as input variables and the cutting-edge wear rate as output variable. The results show that the committee is as accurate as the best of the models in each prediction, achieving a lower mean absolute error than the individual models. Validation with random points also confirmed the generalisability of the system. In future developments, it is planned to optimise the selection algorithm and extend the model committee to improve adaptability and accuracy in different industrial contexts, with a focus on scalability and integration into more complex systems.

**KEY WORDS:** Modelling, monitoring, models committee; Industry 4.0

## 1. INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0, conocida como la cuarta revolución industrial, se caracteriza por la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la automatización y el Big Data en los procesos de manufactura. Estas tecnologías permiten la creación de sistemas de

producción interconectados que optimizan la eficiencia, flexibilidad y personalización en la fabricación [1]. A través de la comunicación en tiempo real y la toma de decisiones autónomas, las empresas pueden adaptarse mejor a las demandas del mercado, reducir costos y mejorar la calidad y la innovación en sus productos [2].

En este contexto, los sistemas de monitoreo industriales juegan un papel central al permitir la recolección y análisis de datos en tiempo real. Estos sistemas facilitan la supervisión continua de los procesos productivos, lo que es esencial para implementar estrategias de mantenimiento predictivo y evitar fallos, mejorando así la eficiencia operativa [3]. Además, el monitoreo constante contribuye a mantener la calidad del producto, optimizar el uso de recursos y garantizar la sostenibilidad, alineándose con los objetivos de las fábricas inteligentes de la Industria 4.0 [4].

La modelación basada en aprendizaje automático potencia el monitoreo industrial al crear modelos predictivos que detectan patrones y anticipan problemas antes de que ocurran. El aprendizaje automático permite predecir fallas en los equipos y optimizar los procesos en tiempo real, ajustando los parámetros operativos para mantener el rendimiento óptimo [5]. Esta capacidad de adaptarse y aprender de los datos hace que los sistemas de monitoreo sean más precisos y autónomos, alineándose con la necesidad de flexibilidad y eficiencia que caracteriza a la Industria 4.0 [6].

El aprendizaje automático (o *machine learning*) es una rama de la inteligencia artificial que permite a las máquinas y sistemas aprender de los datos sin ser programados explícitamente. A través de algoritmos, los sistemas analizan grandes volúmenes de información, identifican patrones y hacen predicciones o decisiones basadas en ese análisis [7]. Con el tiempo, estos modelos pueden mejorar su precisión y rendimiento conforme reciben más datos, adaptándose a nuevas situaciones y condiciones. Esto lo convierte en una herramienta clave para aplicaciones como el reconocimiento de imágenes, la detección de fallas y el mantenimiento predictivo en entornos industriales [8].

En el monitoreo de sistemas industriales, las herramientas de aprendizaje automático más utilizadas incluyen los modelos de regresión, que predicen valores continuos como el tiempo hasta una falla; los algoritmos de clasificación, que categorizan eventos como normales o anómalos para detectar fallos; y los modelos de series temporales, que analizan datos a lo largo del tiempo para identificar patrones recurrentes y prever tendencias [9]. También se emplean las redes neuronales [10] y las máquinas de soporte vectorial [11] para problemas más complejos, como la identificación de fallos en equipos a partir de grandes volúmenes de datos. Además, el *clustering* es útil para agrupar datos similares y detectar comportamientos inusuales, mientras que los algoritmos de aprendizaje profundo se aplican en escenarios que requieren un análisis detallado de datos no estructurados, como imágenes o sonidos generados por maquinaria [12].

Los comités de modelos, también conocidos como ensambles en el aprendizaje automático, son técnicas que combinan múltiples modelos individuales para mejorar la precisión y robustez de las predicciones [13]. En lugar de depender de un solo modelo, el enfoque del comité utiliza varios algoritmos (o varias versiones del mismo algoritmo) para hacer predicciones y, posteriormente, fusiona sus resultados, ya sea mediante votación (en el caso de problemas de clasificación) o mediante el promedio (en problemas de regresión) [14]. Ejemplos comunes de estas técnicas incluyen *bagging*, donde se entrenan modelos en diferentes subconjuntos de los datos, y *boosting*, que se enfoca en mejorar el rendimiento corrigiendo errores de modelos previos [15].

El uso de comités de modelos ofrece varias ventajas. La principal es la mejora en la precisión, ya que la combinación de múltiples modelos tiende a reducir el error general, especialmente cuando los modelos individuales tienen un rendimiento moderado pero complementario. También proporcionan mayor robustez, ya que es menos probable que un solo fallo o sesgo afecte el desempeño del sistema completo. Además, los comités son efectivos para reducir el sobreajuste (*overfitting*), pues al combinar diferentes modelos se suavizan las predicciones y se evita que el sistema se ajuste demasiado a los datos de entrenamiento [16, 17].

En base a todo lo anterior, se ha trazado como objetivo del presente trabajo, el diseño, implementación y validación preliminar de un módulo de modelación, basado en un comité de modelos de aprendizaje automático, para una arquitectura de monitoreo industrial, orientada a la Industria 4.0.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE MODELACIÓN

### Análisis de requisitos

El módulo de modelación forma parte de una arquitectura de monitoreo previamente concebida [18], tal como se muestra en la Fig. 1. Cómo se puede observar en la misma, los módulos (nodos) de modelación se comunican con el resto de los componentes de sistema, empleando el protocolo MQTT, basado en tecnología de Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT).

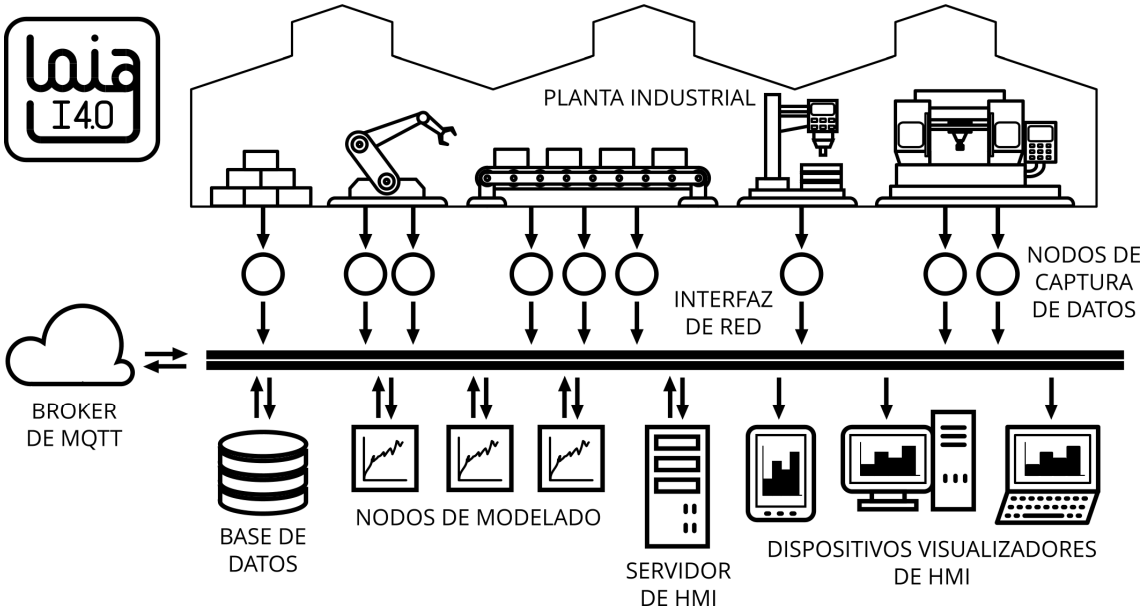



Figura 1: Representación gráfica de la arquitectura LOIA-I4.0 [18].

Para diseñar el módulo de modelación se deben considerar diversos requisitos clave que aseguren su efectividad, escalabilidad y robustez. Estos requisitos pueden agruparse en las siguientes áreas:

1. Recolección y procesamiento de datos: El módulo debe ser capaz de recopilar grandes volúmenes de datos en tiempo real provenientes de sensores y sistemas conectados, siguiendo los principios del IoT. Los datos deben ser preprocesados para eliminar ruido, tratar valores atípicos y normalizar las entradas, garantizando que los modelos trabajen con información relevante y de calidad. Esto incluye la gestión de datos históricos para entrenar los modelos y la capacidad de integración con bases de datos distribuidas o plataformas de procesamiento en la nube.

2. Selección de modelos y diversidad: El módulo debe implementar una variedad de algoritmos de aprendizaje automático, como árboles de decisión, máquinas de soporte vectorial, redes neuronales, entre otros, asegurando que los modelos sean complementarios para aprovechar las fortalezas de cada uno. La diversidad en los modelos es esencial para mejorar la precisión del comité y evitar el sobreajuste a un conjunto particular de datos. Técnicas de *bagging* y *boosting* pueden ser útiles para combinar modelos de manera efectiva.

3. Mecanismo de integración de modelos (ensamble): Se debe definir un método para integrar las predicciones de los distintos modelos, que puede ser mediante votación en problemas de clasificación o promediado en problemas de regresión. Además, se pueden utilizar técnicas avanzadas de ponderación para que los modelos más precisos tengan mayor influencia en el resultado final.

4. Capacidades de actualización y aprendizaje continuo: Dado el entorno dinámico de la Industria 4.0, el módulo debe incluir mecanismos de aprendizaje continuo o en línea, donde los modelos se ajusten y mejoren a medida que reciben nuevos datos. Esto es esencial para adaptarse a cambios en las condiciones operativas, la maquinaria y los procesos de producción.

5. Escalabilidad y eficiencia computacional: El módulo debe estar diseñado para manejar grandes volúmenes de datos y múltiples puntos de monitoreo sin perder rendimiento. La arquitectura debe ser escalable, utilizando procesamiento en paralelo, computación en la nube o edge computing para distribuir la carga computacional. Esto asegura que el sistema funcione de manera eficiente incluso en fábricas con miles de sensores y dispositivos.

6. Interfaz con sistemas de toma de decisiones: El módulo debe conectarse con sistemas de toma de decisiones en tiempo real, permitiendo la integración de sus predicciones en los sistemas de control y operación de la planta. Esto requiere que el módulo tenga una interfaz de comunicación fluida con otras partes del sistema de monitoreo, como los controladores lógicos programables (PLC) y sistemas SCADA.

7. Robustez y tolerancia a fallos: Dado que el monitoreo industrial requiere alta fiabilidad, el módulo debe ser robusto frente a fallos, tanto en términos de fallos en los modelos como en la infraestructura tecnológica. Mecanismos de redundancia y recuperación rápida ante fallos deben estar presentes para garantizar la continuidad del monitoreo.

8. Seguridad y privacidad: En un entorno industrial, la seguridad de los datos es crucial. El módulo debe incluir medidas de ciberseguridad avanzadas, como cifrado de datos, autenticación y control de acceso, para proteger la integridad y confidencialidad de la información monitoreada.

Estos requisitos aseguran que el módulo de modelación basado en comités de modelos funcione de manera eficaz en un entorno industrial de Industria 4.0, ofreciendo predicciones precisas y confiables, adaptándose a cambios operacionales y escalando con la infraestructura de monitoreo de la planta.

**Diseño**

El módulo de modelación ha sido diseñado para integrarse eficientemente en la arquitectura de monitoreo industrial y está compuesto por dos microservicios fundamentales: el microservicio de entrenamiento y el microservicio de validación. Cada uno de estos microservicios se comunica utilizando el protocolo MQTT, facilitando el intercambio de datos con otros componentes del sistema de monitoreo en tiempo real.

El microservicio de entrenamiento se encarga de la actualización y ajuste de los modelos de aprendizaje automático que forman parte del comité de modelación. Este comité está integrado por tres modelos: una regresión lineal con términos cuadráticos, un perceptrón multicapa y una máquina de soporte vectorial. Estos modelos fueron seleccionados para ofrecer una combinación de técnicas que aborden tanto relaciones lineales como no lineales en los datos, y para manejar la complejidad inherente de los sistemas industriales. El proceso de entrenamiento se realiza con datos históricos provenientes de los sensores del sistema industrial, y el microservicio asegura que cada modelo sea ajustado periódicamente, permitiendo una actualización continua sin detener el flujo de trabajo en tiempo real.

El microservicio de validación está encargado de recibir las predicciones realizadas por cada uno de los modelos del comité durante la operación en tiempo real del sistema. A partir de estas predicciones, se

implementa un mecanismo de selección basado en un algoritmo de k-vecinos más cercanos (*K-Nearest Neighbors*, KNN), que utiliza los errores históricos de cada modelo para determinar cuál de las predicciones es la más precisa en un contexto particular. Este proceso dinámico permite que el sistema aprenda continuamente qué modelo es más fiable bajo ciertas condiciones, mejorando la precisión global del módulo. El KNN compara las predicciones actuales con datos previos almacenados, midiendo la cercanía de los errores y seleccionando la predicción que tiene la menor desviación con respecto a los casos anteriores.

El comité de modelos es el corazón del proceso de predicción (ver Fig. 2). Cada uno de los modelos del comité genera su propia predicción basada en los datos recibidos del sistema de monitoreo. La regresión lineal con términos cuadráticos se encarga de capturar las relaciones no lineales más simples, mientras que el perceptrón multicapa aborda patrones más complejos y no lineales, y la máquina de soporte vectorial se especializa en separar los datos en función de un hiperplano óptimo. Estos modelos actúan en paralelo y sus predicciones se envían al microservicio de validación.

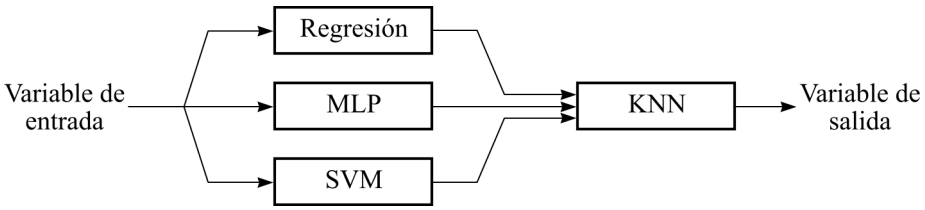



Figura 2: Diagrama del comité de modelos usado en el módulo

El algoritmo de KNN, basado en el análisis de los errores previos, compara las predicciones con los resultados históricos y selecciona la predicción más precisa. Este enfoque adaptativo asegura que el sistema no dependa de un solo modelo, sino que utilice el más adecuado para cada situación, optimizando así la precisión y fiabilidad del sistema.

**Implementación**

La implementación del módulo de modelación fue realizada bajo una arquitectura de microservicios, que permite la escalabilidad, modularidad y facilidad de mantenimiento dentro del entorno de monitoreo industrial. Los microservicios se desarrollaron utilizando contenedores Docker para garantizar una implementación flexible y portátil, y se gestionan a través de Kubernetes para la orquestación y despliegue en entornos de producción.

El microservicio de entrenamiento se implementó utilizando Python y varias bibliotecas de aprendizaje automático, como Scikit-learn para la regresión lineal con términos cuadráticos y la máquina de soporte vectorial, y TensorFlow para el perceptrón multicapa. El flujo de entrenamiento se inicia con la recepción de datos históricos del sistema a través del protocolo MQTT, utilizando una suscripción a los temas relevantes para obtener las métricas de sensores y otras variables industriales.

Los modelos se entrenan de manera asíncrona, aprovechando las capacidades de procesamiento en paralelo de las bibliotecas mencionadas. Cada modelo ajusta sus parámetros de acuerdo con los nuevos datos que llegan al sistema, lo que permite actualizaciones periódicas. Para gestionar grandes volúmenes de datos, se implementó un sistema de almacenamiento en bases de datos no relacionales, MongoDB, donde se registran los datos históricos y los resultados del entrenamiento. Este enfoque facilita la escalabilidad del módulo, ya que el microservicio puede manejar flujos de datos de alta frecuencia sin perder rendimiento.

El microservicio de validación también fue implementado en Python, con un enfoque en la baja latencia para garantizar la respuesta en tiempo real. Este microservicio utiliza nuevamente el protocolo MQTT para recibir las predicciones de cada uno de los modelos del comité, las cuales son evaluadas utilizando un algoritmo de KNN desarrollado sobre la base de Scikit-learn.

El algoritmo de KNN compara las predicciones actuales con un conjunto de datos de errores históricos almacenados en la base de datos, calculando la proximidad entre los errores de predicciones previas y las actuales. Para facilitar este proceso, se implementó un caché en memoria utilizando Redis, lo que permite acceder rápidamente a los datos más recientes y asegurar una evaluación ágil. Una vez que el KNN selecciona la predicción más precisa, esta se envía de vuelta al sistema de monitoreo a través de MQTT, garantizando que el control del proceso industrial pueda ajustarse en tiempo real.

Para garantizar la integración fluida de ambos microservicios, se utilizó Kubernetes para la orquestación, permitiendo que los contenedores de Docker que contienen los microservicios se desplieguen de manera automática y se gestionen según la demanda de procesamiento. Este enfoque asegura una alta disponibilidad y permite la escalabilidad horizontal del módulo, ya que Kubernetes puede replicar los contenedores según sea necesario para manejar aumentos en la carga de trabajo.

Tal como se previó en el diseño de la arquitectura, el protocolo MQTT se implementó usando Mosquitto, un broker ligero de mensajes que facilita la transmisión eficiente de los datos entre los microservicios y el resto del sistema de monitoreo. La seguridad de las comunicaciones se garantizó a través del uso de TLS y autenticación con certificados digitales, lo que asegura que la transmisión de datos sea segura y esté protegida contra accesos no autorizados.

## 3. VALIDACIÓN PRELIMINAR Y ANÁLISIS

### Ajuste de los modelos

Para probar el funcionamiento del ajuste del modelo, se consideró un caso de uso, correspondiente a un proceso de maquinado de un acero AISI 1045, con una herramienta de carburo sin revestimiento, con ángulo de posición $\varphi = 75°$; ángulo de ataque, $\gamma = 5°$; y ángulo de inclinación del filo, $\lambda = 10°$. Se tomaron como variables de entrada (independientes) los parámetros del régimen de corte: profundidad de corte, $a_P$, de 0,5 a 2,0 mm; avance, $f$, de 0,15 a 0,35 mm/rev; y velocidad de corte, $V$, de 200 a 300 m/min. Como variable de salida (dependiente) se tomó la velocidad de desgaste inicial del filo, $w$. En la Tabla 1 se muestran los valores utilizados para entrenar el modelo.

A partir de esos datos, se entrenaron los modelos de regresión lineal, de perceptrón multicapa y de máquina de soporte vectorial. En la Fig. 3 se pueden observar los valores de valores predichos vs. Valores observados, para cada uno de los modelos. Como se puede ver, aunque el modelo de regresión ofrece, como media, las predicciones más precisas, hay puntos donde los otros dos modelos lo superan.

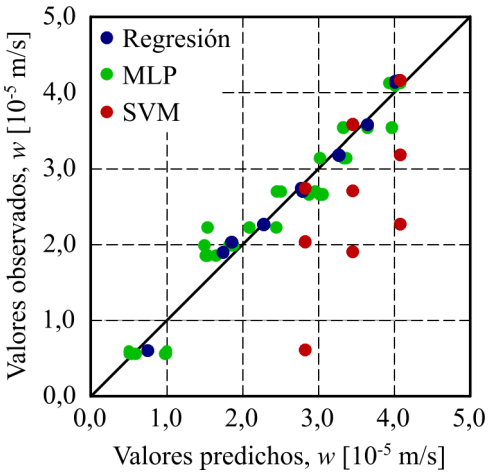



Figura 3: Observaciones vs. predicciones, de los modelos ajustados

Tabla 1: Datos de entramiento del modelo

| Profundidad de corte, $a_P$ [mm] | Avance, $f$ [mm/rev] | Velocidad de corte, $V$ [m/min] | Velocidad de desgaste, $w$ [$10^{-5}$ m/s] |
|---|---|---|---|
| 0,50 | 0,15 | 200 | 0,6175 |
| 0,50 | 0,15 | 250 | 2,0417 |
| 0,50 | 0,15 | 300 | 2,6462 |
| 0,50 | 0,25 | 200 | 1,8446 |
| 0,50 | 0,25 | 250 | 2,8010 |
| 0,50 | 0,25 | 300 | 3,4036 |
| 0,50 | 0,35 | 200 | 2,2575 |
| 0,50 | 0,35 | 250 | 3,0676 |
| 0,50 | 0,35 | 300 | 4,3556 |
| 1,25 | 0,15 | 200 | 0,6119 |
| 1,25 | 0,15 | 250 | 2,0263 |
| 1,25 | 0,15 | 300 | 2,7246 |
| 1,25 | 0,25 | 200 | 1,8104 |
| 1,25 | 0,25 | 250 | 2,7458 |
| 1,25 | 0,25 | 300 | 3,4085 |
| 1,25 | 0,35 | 200 | 2,1629 |
| 1,25 | 0,35 | 250 | 3,1798 |
| 1,25 | 0,35 | 300 | 3,9890 |
| 2,00 | 0,15 | 200 | 0,6182 |
| 2,00 | 0,15 | 250 | 2,0905 |
| 2,00 | 0,15 | 300 | 2,7937 |
| 2,00 | 0,25 | 200 | 1,8275 |
| 2,00 | 0,25 | 250 | 2,7398 |
| 2,00 | 0,25 | 300 | 3,5786 |
| 2,00 | 0,35 | 200 | 2,3666 |
| 2,00 | 0,35 | 250 | 3,2203 |
| 2,00 | 0,35 | 300 | 4,2815 |

A partir de los errores, se ajustó el modelo de k vecinos más cercanos que, para las diferentes combinaciones de valores de las variables de entrada, es capaz de predecir cual de los modelos ofrece una predicción más precisa. En la Fig. 4 se muestra la comparación de los errores absolutos ofrecidos por los tres modelos y por el comité, evidenciándose que el comité es, en cada punto, tan preciso como el más preciso de los modelos y, en general, más preciso que cualquiera de los tres, con un error absoluto medio de $8{,}46 \cdot 10^{-7}$, frente a $9{,}61 \cdot 10^{-7}$, $2{,}48 \cdot 10^{-6}$ y $9{,}30 \cdot 10^{-6}$, respectivamente.

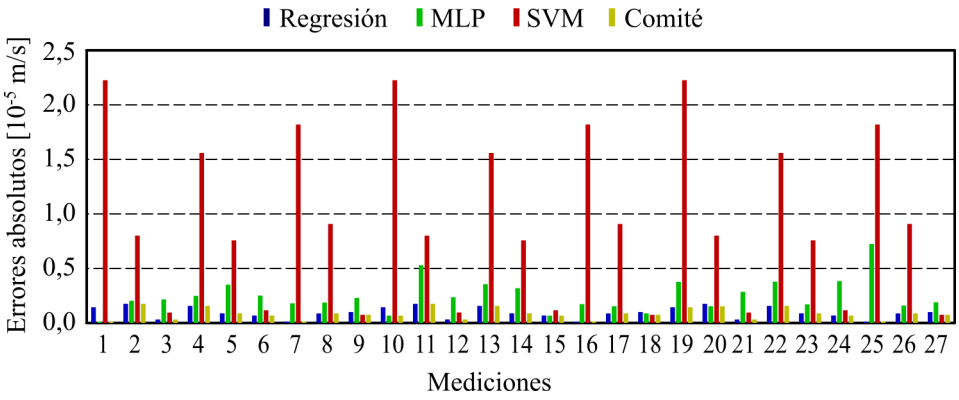



Figura 4: Errores absolutos para el conjunto de entrenamiento

**Validación**

Para comprobar la funcionalidad de predicción del modelo y para validar su capacidad de generalización, se realizaron predicciones para 10 puntos aleatorios, dentro de los valores establecidos para las variables de entrada. Las predicciones, tanto de los tres modelos, como del comité, fueron comparadas con valores experimentales. En la Tabla 2 se muestran los valores del conjunto de validación.

Tabla 2: Datos de validación del modelo

| Profundidad de corte, $a_P$ [mm] | Avance, $f$ [mm/rev] | Velocidad de corte, $V$ [m/min] | Velocidad de desgaste, $w$ [$10^{-5}$ m/s] |
|---|---|---|---|
| 1.08 | 0.20 | 240 | 2.2415 |
| 0.64 | 0.18 | 294 | 2.9280 |
| 1.93 | 0.27 | 206 | 2.0708 |
| 0.85 | 0.22 | 282 | 3.0480 |
| 0.52 | 0.16 | 217 | 1.6650 |
| 1.47 | 0.30 | 265 | 3.2256 |
| 1.18 | 0.26 | 230 | 2.4151 |
| 1.62 | 0.19 | 269 | 2.6169 |
| 0.78 | 0.22 | 263 | 2.7418 |
| 1.67 | 0.17 | 293 | 2.8222 |

Una vez ejecutada la predicción, se obtuvieron los errores absolutos para cada modelo y para el comité, tal como se muestra en la Fig. 5. Como se puede observar, los errores del comité son siempre iguales a los del mejor modelo. Eso se refleja en los valores del error absoluto medio, que para el ensamble es de $8{,}95 \cdot 10^{-7}$, mientras que para los modelos es de $8{,}99 \cdot 10^{-7}$, $2{,}57 \cdot 10^{-6}$ y $7{,}40 \cdot 10^{-6}$, respectivamente.

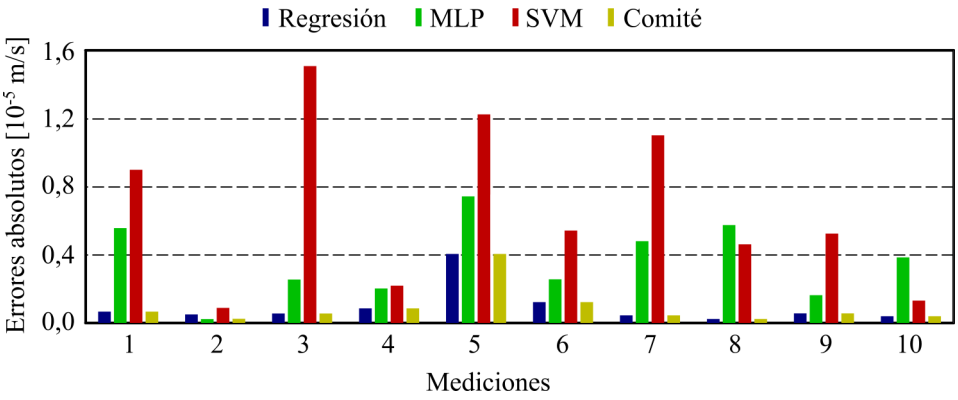



Figura 5: Errores absolutos para el conjunto de validación

**Análisis de los resultados**

El proceso de prueba y validación del módulo de modelación revela varios aspectos importantes sobre su desempeño y capacidad para integrarse en un entorno de monitoreo industrial. El estudio de caso realizado proporcionó una base sólida para evaluar la eficacia del comité de modelos y su capacidad de generalización en un entorno real.

En cuanto a las pruebas con los datos de entrenamiento, se pudo observar que, si bien el modelo de regresión lineal con términos cuadráticos ofreció predicciones más precisas en promedio, los otros dos modelos (el perceptrón multicapa y la máquina de soporte vectorial) destacaron en puntos específicos, mostrando su capacidad para capturar patrones no lineales y más complejos en los datos. Esta diversidad en el comportamiento de los modelos individuales pone de relieve la ventaja de usar un comité de

modelos, ya que este enfoque no se basa exclusivamente en una única técnica de modelado, sino que combina las fortalezas de cada uno para maximizar la precisión general.

El algoritmo de KNN demostró ser eficaz en la selección del modelo más adecuado para cada conjunto de variables de entrada. La comparación de los errores absolutos, presentada en la Fig. 4, muestra que el comité fue tan preciso como el mejor modelo en cada punto, logrando un error absoluto medio menor que el de cualquiera de los modelos individuales. Esta capacidad adaptativa del comité es clave en sistemas industriales dinámicos, donde las condiciones pueden variar y la precisión en las predicciones es esencial para optimizar los procesos de manufactura y evitar errores costosos.

Durante la fase de validación, donde se utilizaron 10 puntos de predicción aleatorios dentro de los rangos establecidos para las variables de entrada, el comité continuó demostrando su superioridad. Los errores absolutos fueron, en todos los casos, iguales a los del mejor modelo, lo que refleja que el KNN fue capaz de identificar correctamente cuál de los tres modelos proporcionaba la predicción más precisa para cada punto. Esta consistencia refuerza la robustez del sistema en cuanto a su capacidad de generalización, ya que pudo adaptarse adecuadamente a nuevas combinaciones de las variables de entrada.

Los resultados obtenidos, tanto en la fase de prueba como en la de validación, subrayan la eficacia del enfoque basado en el comité de modelos para predecir el desgaste del filo en el proceso de maquinado del acero AISI 1045. El comité mostró un error absoluto medio de $8{,}46 \cdot 10^{-7}$ en la fase de entrenamiento y de $8{,}95 \cdot 10^{-7}$ en la fase de validación, lo cual es notablemente menor que los errores de los modelos individuales. Esta capacidad para reducir el error promedio mejora la precisión global del sistema y asegura que las decisiones basadas en las predicciones del modelo sean más confiables.

En términos prácticos, la implementación de un comité de modelos con un mecanismo de selección dinámico (KNN) resulta particularmente ventajosa para entornos industriales de alto dinamismo y variabilidad, como los que se encuentran en la Industria 4.0. La capacidad de elegir el modelo más preciso en función de los datos disponibles en tiempo real asegura que el sistema de monitoreo y control pueda reaccionar adecuadamente a los cambios en las condiciones de operación, minimizando el desgaste de herramientas, optimizando los parámetros de corte y mejorando la eficiencia general del proceso de manufactura.

## 4. CONCLUSIONES

Las pruebas y validaciones realizadas sobre el módulo de modelación diseñado para un sistema de monitoreo industrial orientado a la Industria 4.0 han demostrado la eficacia de utilizar un comité de modelos combinado con un algoritmo de k vecinos más cercanos (KNN) para la selección dinámica de predicciones. La integración de modelos de regresión lineal con términos cuadráticos, perceptrón multicapa y máquina de soporte vectorial permitió abordar la complejidad del proceso de maquinado del acero AISI 1045, logrando predicciones más precisas en diferentes contextos. El enfoque adaptativo del comité, que selecciona el modelo más adecuado en función de los errores históricos y las condiciones actuales, asegura que el sistema pueda ofrecer predicciones de alta precisión, mejorando tanto la eficiencia como la confiabilidad en la toma de decisiones industriales.

Los resultados obtenidos en la fase de validación, donde el comité de modelos superó a cada uno de los modelos individuales en términos de error absoluto medio, destacan la importancia de contar con un enfoque híbrido y flexible en entornos industriales. El uso de microservicios y la arquitectura basada en MQTT permitieron una integración eficiente del módulo en sistemas complejos, proporcionando un flujo de trabajo en tiempo real que se alinea con los principios de la Industria 4.0. En definitiva, este trabajo presenta una solución efectiva para el monitoreo industrial, capaz de mejorar la precisión de las predicciones y ofrecer una mayor adaptabilidad en un entorno de manufactura dinámico y en constante evolución.

Los desarrollos futuros de este trabajo se centrarán en la optimización del algoritmo de selección dinámica de predicciones, explorando técnicas más avanzadas como el aprendizaje profundo y el

aprendizaje por refuerzo para mejorar la capacidad adaptativa del comité de modelos. Además, se prevé ampliar el conjunto de modelos del comité para incluir enfoques más sofisticados que aborden datos no lineales y ruido en el sistema. También se planea integrar métricas de desempeño y pruebas en diferentes procesos industriales, así como mejorar la capacidad de escalabilidad del sistema, permitiendo su aplicación en entornos industriales más complejos y diversos.

## RECONOCIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba bajo el código PN223LH004-024.

## REFERENCIAS

[1] XU, X., LU, Y., VOGEL-HEUSER, B., and WANG, L., "Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception," *Journal of Manufacturing Systems,* vol. 61, pp. 530-535, 2021.

[2] DE PAULA FERREIRA, W., ARMELLINI, F., and DE SANTA-EULALIA, L. A., "Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review," *Computers & Industrial Engineering,* vol. 149, p. 106868, 2020.

[3] SOORI, M., AREZOO, B., and DASTRES, R., "Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review," *Internet of Things and Cyber-Physical Systems,* vol. 3, pp. 192-204, 2023.

[4] SINGH, A., MADAAN, G., HR, S., and KUMAR, A., "Smart manufacturing systems: a futuristics roadmap towards application of industry 4.0 technologies," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing,* vol. 36, no. 3, pp. 411-428, 2023.

[5] JAVAID, M., HALEEM, A., and SUMAN, R., "Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review," *Cognitive Robotics,* vol. 3, pp. 71-92, 2023.

[6] LEMSTRA, M. A. M. S. and DE MESQUITA, M. A., "Industry 4.0: a tertiary literature review," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 186, p. 122204, 2023.

[7] CHEN, T. *et al.*, "Machine Learning in Manufacturing towards Industry 4.0: From 'For Now' to 'Four-Know'," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 3. doi: 10.3390/app13031903

[8] JAN, Z. *et al.*, "Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities," *Expert Systems with Applications,* vol. 216, p. 119456, 2023.

[9] KIM, B., ALAWAMI, M. A., KIM, E., OH, S., PARK, J., and KIM, H., "A Comparative Study of Time Series Anomaly Detection Models for Industrial Control Systems," *Sensors*, vol. 23, no. 3. doi: 10.3390/s23031310

[10] GUPTA, M., WADHVANI, R., and RASOOL, A., "A real-time adaptive model for bearing fault classification and remaining useful life estimation using deep neural network," *Knowledge-Based Systems,* vol. 259, p. 110070, 2023.

[11] HADROUG, N., IRATNI, A., HAFAIFA, A., ALILI, B., and COLAK, I., "Implementation of Vibrations Faults Monitoring and Detection on Gas Turbine System Based on the Support Vector Machine Approach," *Journal of Vibration Engineering & Technologies,* vol. 12, no. 3, pp. 2877-2902, 2024.

[12] GHOSAL, A., NANDY, A., DAS, A. K., GOSWAMI, S., and PANDAY, M., "A Short Review on Different Clustering Techniques and Their Applications," in *Emerging Technology in Modelling and Graphics*, Singapore, 2020, pp. 69-83: Springer Singapore.

[13] MOSHREFI, A., TAWFIK, H. H., ELSAYED, M. Y., and NABKI, F., "Industrial Fault Detection Employing Meta Ensemble Model Based on Contact Sensor Ultrasonic Signal," *Sensors*, vol. 24, no. 7. doi: 10.3390/s24072297

[14] CRUZ, Y. J., RIVAS, M., QUIZA, R., HABER, R. E., CASTAÑO, F., and VILLALONGA, A., "A two-step machine learning approach for dynamic model selection: A case study on a micro milling process," *Computers in Industry,* vol. 143, p. 103764, 2022.

[15] FOLGADO, F. J., CALDERÓN, D., GONZÁLEZ, I., and CALDERÓN, A. J., "Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends," *Electronics*, vol. 13, no. 4. doi: 10.3390/electronics13040782

[16] FILIOS, G. *et al.*, "Data-driven soft sensing towards quality monitoring of industrial pasteurization processes," in *2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2022, pp. 167-174.

[17] LI, Z., LIU, X., INCECIK, A., GUPTA, M. K., KRÓLCZYK, G. M., and GARDONI, P., "A novel ensemble deep learning model for cutting tool wear monitoring using audio sensors," *Journal of Manufacturing Processes,* vol. 79, pp. 233-249, 2022.

[18] QUIZA, R., RIVAS, M., and PÉREZ, T., "Propuesta de una arquitectura de monitoreo industrial orientada a Industria 4.0," presented at the XI Convención Científica Internacional de la Universidad de Matanzas (CIUM 2023), Matanzas (Cuba), 2023.

**Sobre los autores**

**Ramón Quiza Sardiñas**: Graduado de Ingeniero Mecánico, en 1999, y de Doctor en Ciencias Técnicas (en la especialidad de Construcción de Maquinarias), en 2005, ambos por la Universidad de Matanzas. Desde 2010 es Profesor Titular y, actualmente, dirige el Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), en la Universidad de Matanzas. Sus intereses de investigación se centran en la fabricación inteligente, la sostenibilidad y la inteligencia artificial aplicada. Es miembro de la Academia de Ciencias de Cuba, del Consejo Técnico Asesor del Ministerio de Educación Superior, de la Unión de Informáticos de Cuba, de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación y de la Sociedad Económica de Amigos del País. Pertenece, además, al comité editorial de dos revistas científicas internacionales.

**Luis Ángel Arteaga Morales**: Graduado de Ingeniero en Ciencias Informáticas graduado de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI), actualmente en adiestramiento laboral, en la Universidad de Matanzas en el área de Redes y Seguridad informática como encargado y administrador de las plataformas educativas (Moodle, EVA). Adicionalmente tiene la responsabilidad de llevar a cabo investigaciones sobre la implementación de servicios de inteligencia artificial para la universidad.

**Yanelys Cuba Arana**: Graduada de Ingeniería Química en 2021 por la Universidad de Matanzas. Máster en Ingeniería Asistida por Computadora en 2024. Profesora e investigadora del Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS) en la Universidad de Matanzas. Los trabajos investigativos desarrollados están en el campo de la Inteligencia Artificial aplicada a los procesos industriales, específicamente, a la gestión de riesgos y seguridad industrial teniendo en cuenta las afectaciones sobre las personas, el medio ambiente, la economía y la sociedad. Además, el uso de herramientas de avanzada como la lógica Fuzzy, redes bayesianas y redes Petri para la cuantificación de la frecuencia del efecto dominó de accidentes de incendio, explosión y nubes tóxicas.

**Marcelino Rivas Santana**: Graduado de Ingeniero Mecánico, en la Universidad de Matanzas el 1983, y de Doctor en Ciencias Técnicas (en la especialidad de Construcción de Maquinarias), en el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” en 1990. Desde 2010 es profesor titular y desde 2024, investigador titular. Sus intereses de investigación se centran en la fabricación aditiva, las soluciones biomédicas y la sostenibilidad. Ha recibido dos premios de la Academia de Ciencias de Cuba, una distinción especial del Ministro de Educación Superior (por su destacada actividad en ciencia, tecnología e innovación), seis premios CITMA territoriales, el sello “Forjadores del Futuro”, la distinción “Por la Educación Cubana” y la medalla “José Tey”. Es científico asociado de la Academia de Ciencias de Cuba y miembro de su Filial en Matanzas. Pertenece a la Sociedad Cubana de Matemática y Computación y a la Sociedad Mexicana de Materiales.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESARROLLO DE PANELES ACÚSTICO CONSIDERANDO ESTRUCTURAS INSPIRADAS EN ORIGAMI: ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE CELDAS

**Jose Fernando Portilla Rosero[1], Jacobo Zapata Rojas[1], Wilfredo Montealegre Rubio[1]**

[1] Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia, Medellín 050034, Colombia
[1]e-mail: wmontealegrer@unal.edu.co

## RESUMEN

Este artículo presenta un estudio del impacto de la densidad de celdas por unidad de área en paneles acústicos flexibles basados en el patrón geométrico Miura-Ori, utilizado para la optimización del coeficiente de absorción sonora. El uso del origami en el diseño de paneles acústicos ha demostrado ser una solución innovadora para el control del ruido, ofreciendo estructuras adaptables con alta eficiencia acústica. A través de simulaciones numéricas, utilizando el método de elementos finitos (FEM), se investigan las propiedades acústicas de los paneles al variar la densidad de celdas desde 1 hasta 270 celdas por decímetro cuadrado. Los resultados muestran que, a medida que la densidad de celdas aumenta, el panel presenta una mayor capacidad de absorción en el rango de altas frecuencias, mientras que la absorción en bajas frecuencias disminuye. Este fenómeno se explica por la interacción entre las ondas sonoras y las cavidades resonantes creadas por la geometría plegada. Además, el estudio destaca cómo la densidad de celdas afecta la capacidad de los paneles para adaptarse a diferentes entornos acústicos, proporcionando recomendaciones de diseño para optimizar la absorción en aplicaciones específicas. Los hallazgos de este trabajo ofrecen una perspectiva sobre el papel de la geometría en el diseño de materiales acústicos y subrayan el potencial del origami como herramienta para la ingeniería acústica.

**PALABRAS CLAVES:** Origami, Miura-Ori, absorción sonora, densidad de celdas, paneles acústicos, método de elementos finitos (FEM), diseño acústico adaptable, geometría plegada, impedancia acústica, control de ruido.

## ANALYSIS OF THE EFFECT OF CELL DENSITY IN ORIGAMI-BASED ACOUSTIC PANELS WITH CONSTANT COMPLEX IMPEDANCE

## ABSTRACT

This article presents a study on the impact of cell density per unit area in flexible acoustic panels based on the Miura-Ori geometric pattern, used to optimize the sound absorption coefficient. The use of origami in acoustic panel design has proven to be an innovative solution for noise control, offering adaptable structures with high acoustic efficiency. Through numerical simulations using the finite element method (FEM), the acoustic properties of the panels are investigated by varying the cell density from 1 to 270 cells per square decimeter. The results show that as cell density increases, the panel exhibits greater absorption capacity in the high-frequency range, while absorption in the low-frequency range decreases. This phenomenon is explained by the interaction between sound waves and the resonant cavities created by the folded geometry. Furthermore, the study highlights how cell density affects the ability of the panels to adapt to different acoustic environments, providing design recommendations to optimize absorption in specific applications. The findings of this work offer insight into the role of geometry in the design of acoustic materials and underscore the potential of origami as a tool for acoustic engineering.

**KEY WORDS:** Origami, Miura-Ori, sound absorption, cell density, acoustic panels, finite element method (FEM), adaptable acoustic design, folded geometry, acoustic impedance, noise control.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería moderna ha adoptado enfoques interdisciplinarios para abordar problemas complejos, y uno de los enfoques particularmente destacado que merece atención es el uso de patrones geométricos derivados del origami. Tradicionalmente, el origami ha sido visto como un arte de plegado de papel, cuyo objetivo principal era crear formas y figuras decorativas. Sin embargo, en las últimas décadas, el origami ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta esencial dentro de la ciencia y la ingeniería, gracias a su capacidad para transformar formas bidimensionales en estructuras tridimensionales con características físicas únicas. Esta transformación interdisciplinaria ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras en campos como la robótica [1], la bioingeniería [2], la arquitectura [3] y, más recientemente, la acústica [4].

El interés por el origami en ingeniería surge, en gran medida, por su capacidad para generar estructuras con propiedades especiales, como la escalabilidad, el auto plegado y la reconfiguración [5]. Estas características son fundamentales en aplicaciones donde la adaptabilidad y la eficiencia espacial son esenciales. En la ingeniería aeroespacial, por ejemplo, el uso de principios del origami ha permitido crear dispositivos compactos y plegables, que pueden desplegarse al alcanzar su destino, optimizando el espacio de transporte y facilitando el despliegue en entornos complejos [6]. En la bioingeniería, los stents plegables basados en origami permiten un despliegue eficiente dentro del cuerpo humano, mejorando la intervención médica, minimizando los riesgos [7].

Uno de los campos emergentes donde el origami ha demostrado un gran potencial es en el diseño de paneles acústicos flexibles. En los últimos años, la investigación ha explorado cómo los patrones geométricos del origami, en particular el patrón Miura-Ori, pueden aplicarse para mejorar el comportamiento acústico de las superficies. La geometría plegada de estos patrones permite aumentar la superficie efectiva para la absorción de ondas sonoras y, al mismo tiempo, crear cavidades resonantes que disipan mejor la energía sonora. Estudios recientes han demostrado que el diseño de paneles acústicos basados en origami puede optimizar el coeficiente de absorción acústica de una superficie, mejorando significativamente la capacidad de controlar el ruido en distintos entornos [8]. La clave radica en la capacidad de estas estructuras para modificar sus propiedades geométricas mediante variaciones en el ángulo de plegado y la configuración general del patrón. Estas características permiten que los paneles acústicos sean adaptables, ofreciendo soluciones ajustables en función de las necesidades acústicas específicas de un espacio [8].

La variación de parámetros como la reactancia y la resistencia acústica en paneles plegables ha sido también un tema de investigación, ya que estos parámetros afectan directamente la eficiencia con la que la superficie puede absorber sonido en distintas bandas de frecuencia. Estudios en curso llevados a cabo por los autores han mostrado que, ajustando la impedancia del sistema, es posible mejorar la absorción de frecuencias específicas, logrando resultados óptimos en distintos rangos de frecuencias sonoras. Sin embargo, uno de los factores menos explorados en la literatura es el efecto de la densidad de celdas por unidad de área en estos paneles. La densidad de celdas se refiere al número de divisiones o "celdas" que componen el patrón geométrico de la estructura. Esta variable, que influye en cómo las ondas sonoras interactúan con la superficie, puede modificar sustancialmente la absorción sonora, especialmente en frecuencias altas, donde las ondas tienen mayores oportunidades de interactuar con las múltiples caras y cavidades creadas por el plegado. Así, la densidad de celdas es un factor clave a considerar en el diseño de paneles acústicos basados en origami, y su análisis detallado es crucial para optimizar las propiedades acústicas de estos sistemas.

En el presente trabajo se desarrolla un estudio del impacto de la densidad de celdas por unidad de área en paneles acústicos flexibles basados en el patrón geométrico Miura-Ori, utilizado para la optimización del coeficiente de absorción sonora. En la Sección 2 se presenta la metodología para la generación de las geometrías de origami; en la Sección 3 se presentan los respectivos análisis mediante el Método de los Elementos Finitos; finalmente, en la Sección 4 se presentan los resultados y algunas conclusiones derivadas de ellos.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA USANDO HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE ORIGAMI

El patrón Miura-Ori fue diseñado utilizando ORIPA, un software destacado en el ámbito del diseño de origami, especialmente enfocado en patrones de plegado plano [9]. Gracias a su interfaz intuitiva, que está pensada específicamente para la creación de origami, los diseñadores pueden generar y modificar patrones de plegado de manera sencilla, ya sea dibujándolos directamente o importando archivos de imagen. Una de las características más importantes de este programa es su capacidad para analizar la plegabilidad plana de los patrones, garantizando que el diseño pueda plegarse sin superposiciones ni cortes, lo cual es crucial en diversas aplicaciones de ingeniería de origami [10].
No obstante, una de las limitaciones de ORIPA es que solo permite visualizar el estado final del plegado, sin ofrecer detalles sobre el proceso que lleva a dicho estado final, lo que dificulta la comprensión del comportamiento cinemático de la estructura. Adicionalmente, ORIPA no cuenta con la función nativa para exportar los patrones en formato .obj. En su lugar, permite la exportación en formato .dxf (Drawing Exchange Format), ampliamente utilizado en el diseño asistido por computadora (CAD). El formato .dxf es un estándar que facilita el intercambio de información gráfica entre diferentes programas CAD, permitiendo su uso en otros softwares especializados [10]. Sin embargo, para obtener un archivo en formato .obj, que es fundamental en muchos procesos de simulación y modelado 3D, es necesario seguir un procedimiento de conversión que requiere varios pasos adicionales y el uso de otros programas. La Figura 1 muestra el patrón Miura-Ori generado en ORIPA.

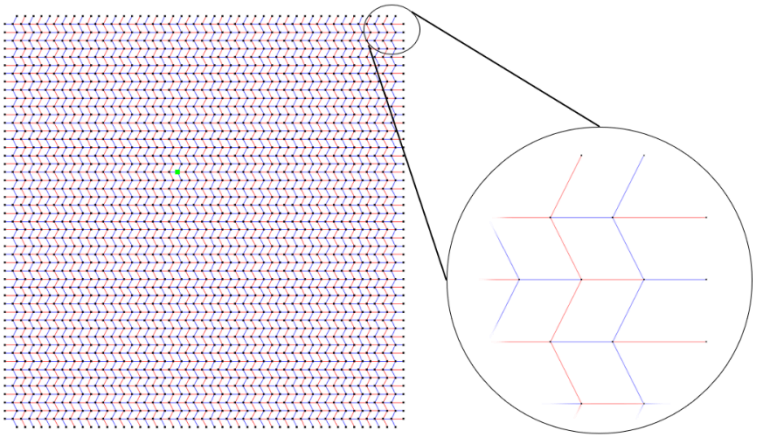
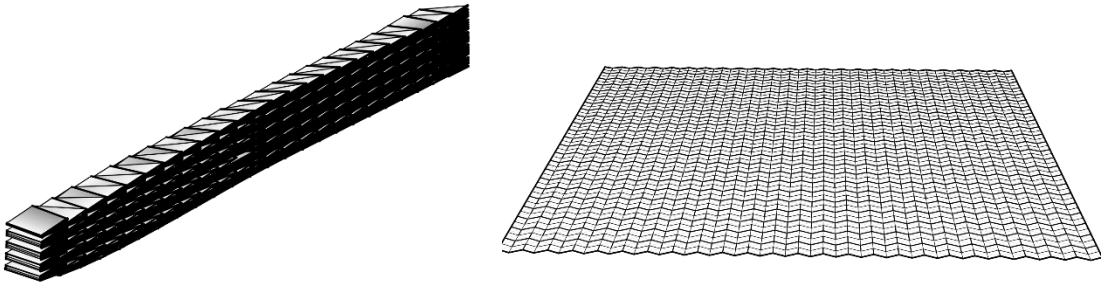


Figura 1: Patrón Miura-Ori generado en ORIPA.

FreeFormOrigami se destaca por su capacidad de importar archivos DXF, como los creados por ORIPA, y convertirlos en geometrías tridimensionales. Este programa permite visualizar de manera detallada el proceso de plegado, lo que facilita a los diseñadores detectar y corregir posibles fallos de diseño antes de la fase de fabricación. Además, FreeFormOrigami puede exportar las geometrías en formato .obj, lo que simplifica su integración con otros programas y procesos de manufactura. También ofrece simulaciones realistas del comportamiento de materiales como el papel, lo que ayuda a prever cómo funcionará el diseño en condiciones reales [11]. No obstante, una limitación importante de este software es que los archivos .obj que genera representan superficies 3D sin grosor. Esto implica que los modelos resultantes carecen de espesor, lo que complica tanto la fabricación como el análisis estructural, ya que no se pueden simular con precisión las propiedades mecánicas de la estructura. En la Figura 2 se muestra el patrón Miura-Ori plegado utilizando FreeFormOrigami.

Fusion 360 es un software CAD integral que resuelve la limitación de FreeFormOrigami al permitir la importación de archivos .obj y su transformación en sólidos tridimensionales. Esta característica es crucial para crear un modelo CAD completo que se puede emplear en análisis de elementos finitos (FEA), simulaciones de movimiento y, finalmente, en la fabricación de estructuras de origami. Fusion 360

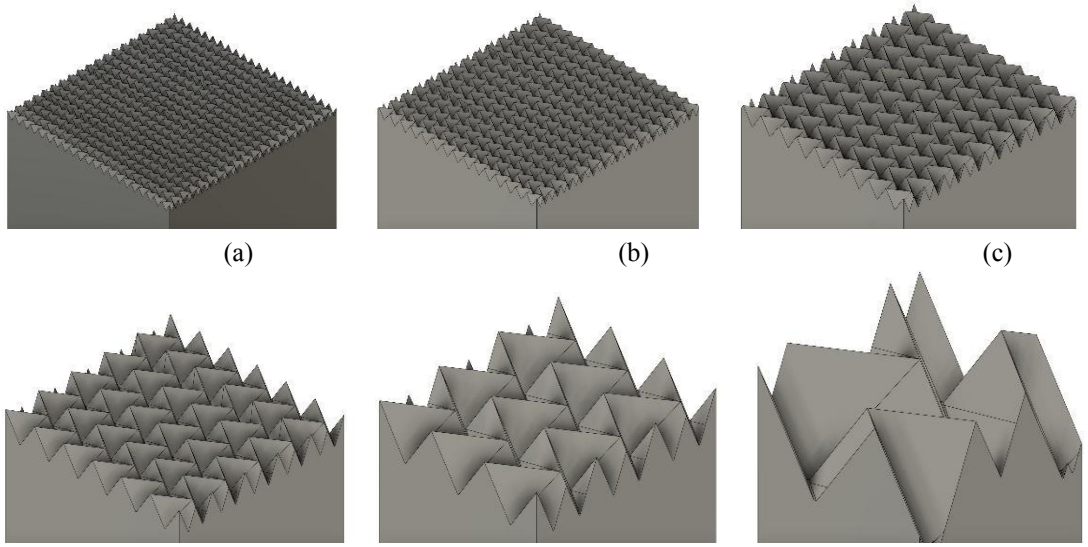
proporciona una amplia gama de herramientas de modelado, lo que lo convierte en una plataforma ideal para generar modelos sólidos.



(a) (b)

Figura 2. Patrón de Miura-Ori (a) plegado y (b) desplegado utilizando FreeFormOrigami.

En resumen, el flujo de trabajo descrito combina las capacidades complementarias de ORIPA, FreeFormOrigami y Autodesk Fusion 360. Este enfoque integrado permite a los diseñadores aprovechar las ventajas de cada software y superar sus limitaciones particulares, logrando un proceso eficiente y preciso para el diseño de estructuras complejas de origami. Al unir la simplicidad del diseño en ORIPA, la visualización en 3D de FreeFormOrigami y las capacidades de modelado sólido de Fusion 360, se pueden crear modelos CAD 3D que se pueden implementar en otros programas de fabricación y análisis mediante el método de los elementos finitos. La Figura 3 muestra algunos de los sólidos generados, que corresponden a densidades de celda distintas. El patrón se extruye para formar un conducto cuadrado que simula un tubo de impedancia, utilizando la geometría Miura-Ori como terminación en uno de los lados. Esto permite realizar posteriormente un análisis numérico de su coeficiente de absorción.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Figura 3. Modelos de Miura-Ori generados con Fusion 360 con una densidad de celdas de (a) 270, (b) 120, (c) 56, (d) 12, (e) 4, (f) 1 celdas por $dm^2$.

## 3. ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

**Método de dos micrófonos.**

El método de dos micrófonos determina la impedancia, el coeficiente de reflexión complejo y el coeficiente de absorción sonora para incidencia normal. Se considera una guía de ondas unidimensionales con una fuente de onda plana arbitraria en un extremo y una impedancia compleja en el otro, como se muestra en la Figura 4. Dos micrófonos miden las ondas que viajan hacia adelante y hacia atrás, asumiendo que no hay pérdidas y que solo se propagan ondas planas [12].

El coeficiente de absorción sonora, $\alpha$, se define como la relación entre la potencia sonora absorbida y la potencia sonora incidente: $\alpha = 1 - |r|^2$, donde $r$ es el coeficiente de reflexión sonora: $r = \frac{p_r}{p_i}$.

Las ondas incidentes y reflejadas se expresan como $p_i = p_0 e^{j(\omega t - kx)}$ y $p_r = r p_0 e^{j(\omega t + kx)}$, respectivamente, donde $p_0$ es la amplitud de la onda incidente, $\omega = 2\pi f$ es la frecuencia angular, y $k$ es el número de onda. La presión sonora total, $p_t$, es $p_t = p_0 e^{j(\omega t - kx)} + r p_0 e^{j(\omega t + kx)}$.

La función de transferencia entre los micrófonos ubicados en $x = -X_1$ y $x = -X_2$ es:

$$H_{12} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0 e^{j(\omega t + kX_1)} + r p_0 e^{j(\omega t - kX_1)}}{p_0 e^{j(\omega t + kX_2)} + r p_0 e^{j(\omega t - kX_2)}} \quad (1)$$

Resolviendo para $r$ se obtiene:

$$r = e^{2jkX_2} \frac{H_{12} - e^{-jk\Delta X}}{e^{jk\Delta X} - H_{12}} \quad (2)$$

donde $\Delta X = X_2 - X_1$.

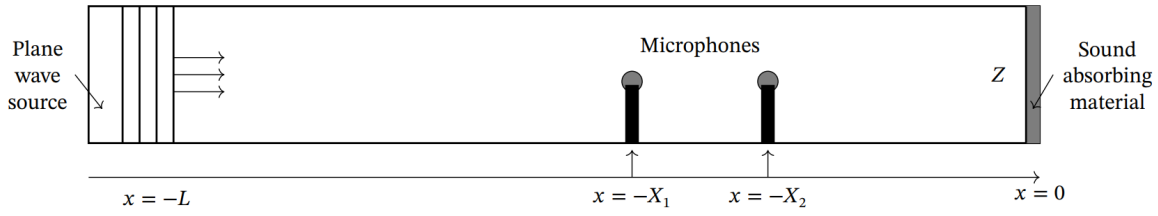



Figura 4. Tubo de impedancia, con la fuente en un extremo ($x = -L$) y la impedancia, $Z$, en el extremo opuesto ($x = 0$). Los dos micrófonos se utilizan para estimar la impedancia de terminación utilizando la técnica de dos micrófonos.

**Diseño del tubo de impedancia para aplicar el método de dos micrófonos.**

El tubo de impedancia debe ser recto, con una superficie interior lisa y no porosa. El material debe ser resistente a las presiones internas, y el grosor de las paredes debe prevenir vibraciones dentro del rango de frecuencias de operación. Se recomienda que el grosor de la pared sea el 5 % del diámetro interior del tubo [13]. El diseño debe asegurar que la frecuencia máxima de interés sea inferior a la frecuencia de corte más baja del tubo, permitiendo así que solo se propaguen ondas planas. Esta condición se expresa en (ASTM E1050, 1998) de la siguiente manera:

$$d < K\frac{c}{f_u} \tag{3}$$

Donde $f_u$ es la frecuencia máxima de trabajo del tubo, y $c$ es la velocidad del sonido en el aire a la temperatura actual. En una sección rectangular, $d$ es la dimensión más grande, y diversas normas (ASTM E 1050 e ISO 10534-2) utilizan un valor de $K$ = 0.5. En este caso, la sección es cuadrada. La segunda condición para la propagación de ondas planas es que el tubo tenga una longitud suficiente $l$, según lo especificado por las normas. La distancia mínima entre la fuente de sonido y el primer micrófono (micrófono en $x = -X_1$ en la Figura 4) debe ser igual al diámetro interior del tubo $d$, aunque se recomienda cumplir con la siguiente condición (ASTM E1050, 1998):

$$L - \Delta X - X_2 > 3d \tag{4}$$

La distancia $X_2$ entre la muestra de prueba y el micrófono más cercano (micrófono en $x = -X_2$ en la Figura 4) debe evitar distorsiones de proximidad en el campo acústico [10]:

$$\begin{aligned} capa\ no\ estructurada\colon\ X_2 &> \tfrac{d}{2} \\ capa\ semi-lateral\ estructurada\colon\ X_2 &> d \\ capa\ fuertemente\ asimétrica\colon\ X_2 &> 2d \end{aligned} \tag{5}$$

Para encontrar la frecuencia mínima de trabajo, se cita la sección de la norma que establece: "6.2.3 El límite inferior de frecuencia está determinado por la separación de los micrófonos y la precisión del sistema de análisis. La separación entre los micrófonos debe ser mayor al uno por ciento de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia inferior de interés". Esto se traduce en la siguiente ecuación:

$$f_l > 0.01\frac{c}{\Delta X} \tag{6}$$

Donde $f_l$ es la frecuencia mínima de trabajo del tubo, y $c$ es la velocidad del sonido en el aire a la temperatura actual. De esta manera, siguiendo los parámetros anteriores, se pueden definir las dimensiones del tubo de impedancia como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del tubo de impedancia.

| Dimensión | Valor en metros |
|---|---|
| $d$ | 0.0767 |
| $L$ | 0.81 |
| $X_2$ | 0.08 |
| $X_1$ | 0.0128 |
| $\Delta X$ | 0.0672 |

**Preprocesamiento del modelo utilizando elementos finitos.**

El elemento finito utilizado es un elemento acústico tridimensional de 20 nodos. Cada nodo del elemento tiene cuatro grados de libertad: tres translaciones (en las direcciones $x$, $y$, $z$) y una presión. Los elementos tienen un tamaño de $1 \times 10^{-2}$ m, ajustándose a la recomendación de [12], que sugiere que los modelos acústicos deben tener al menos 6 elementos por longitud de onda como punto de partida. Para mayor exactitud, se recomienda utilizar 12 elementos por longitud de onda. Aunque la Ecuación (3) sugiere un

valor de 2639 Hz para $f_u$, en este caso se utilizarán 5000 Hz. Esto se debe a que la Ecuación (3) se aplica en condiciones experimentales para evitar ondas no planas. Sin embargo, en un entorno de simulación, se garantiza la planaridad de las ondas, por lo que el único factor limitante es el tamaño del elemento finito.

En cuanto a las condiciones de contorno, se aplica una onda de presión con una amplitud de 1 Pa en la entrada del tubo. La región interior del cuerpo corresponde al volumen interno del tubo, donde se resuelve el campo acústico. Además, se monitorean las condiciones de presión en puntos específicos que representan los micrófonos en el conducto. En la superficie final del tubo se aplica una condición de impedancia acústica constante de $413.13 - 413.13i$ Pa·s/m³, representando un material con características reactivas. La Figura 5 muestra la malla generada en el modelo (b) de la Figura 3. Es importante destacar el refinamiento aplicado a la superficie con impedancia, debido a los cambios abruptos en la geometría presentes en esa área.

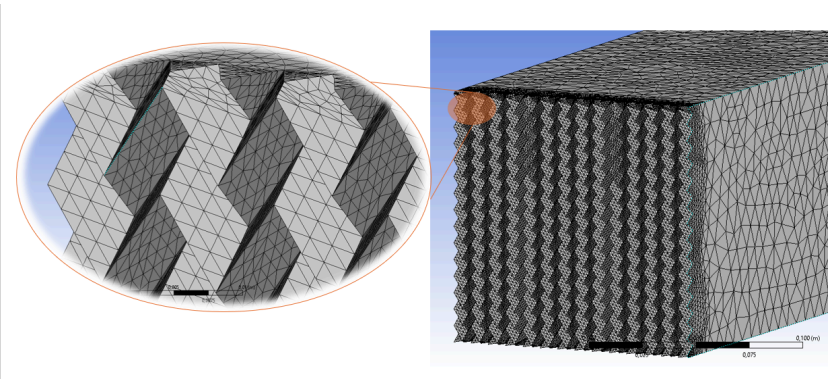


Figura 5. Malla generada en ANSYS para el modelo (b) de la Figura 3.

**Procesamiento del modelo y posprocesamiento de los datos obtenidos.**

Con el objetivo de evaluar y garantizar la exactitud de los resultados, se realizó un análisis de convergencia antes de la simulación. Este análisis se efectuó a diferentes frecuencias para los modelos que se muestran en la Figura 3. La Figura 6 presenta el análisis de convergencia específicamente para el modelo de la Figura 3(e), y con el tamaño de elemento seleccionado, la malla en todos los modelos consta de aproximadamente 250,000 elementos. Además, se realizó la misma simulación con una superficie plana para comparar los resultados con los datos de Howard y Cazzolato [12] y con el cálculo teórico del coeficiente de absorción utilizando un valor de impedancia de $413.13 - 413.13i$ Pa·s/m³. El valor teórico del coeficiente de absorción para la superficie plana es 0.8.

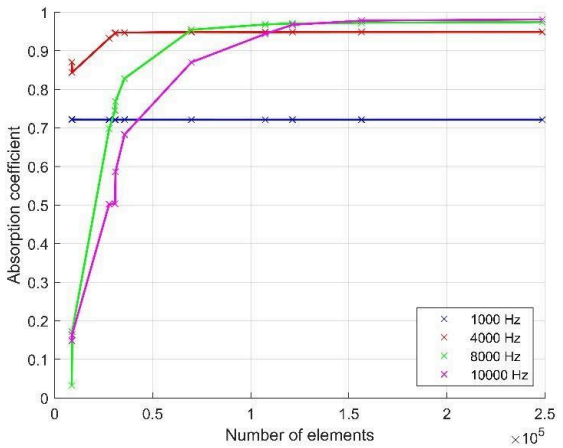



Figura 6. Coeficiente de absorción vs Número de elementos finitos.

Se determina el campo de presión acústica para los modelos en la Figura 3 y la superficie plana en un rango de frecuencias de 0 a 5000 Hz. La respuesta en frecuencia se mide en las posiciones $-X1$ y $-X2$, correspondientes a las ubicaciones de los micrófonos en el modelo. Los datos se procesan en MATLAB utilizando las ecuaciones detalladas anteriormente para el método de dos micrófonos.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se evidencia que las dimensiones de los paneles modifican sustancialmente su geometría, tal y como se observa en la Figura 3, por lo que es útil comprender cómo varía el coeficiente de absorción en relación con el número de celdas por unidad de área. Con este propósito, se realizaron simulaciones para diez modelos diferentes, con densidades de celdas que varían de 270 a 1 celda por decímetro cuadrado. Los resultados de la simulación del coeficiente de absorción al variar la densidad de celdas se presentan en la Figura 7.

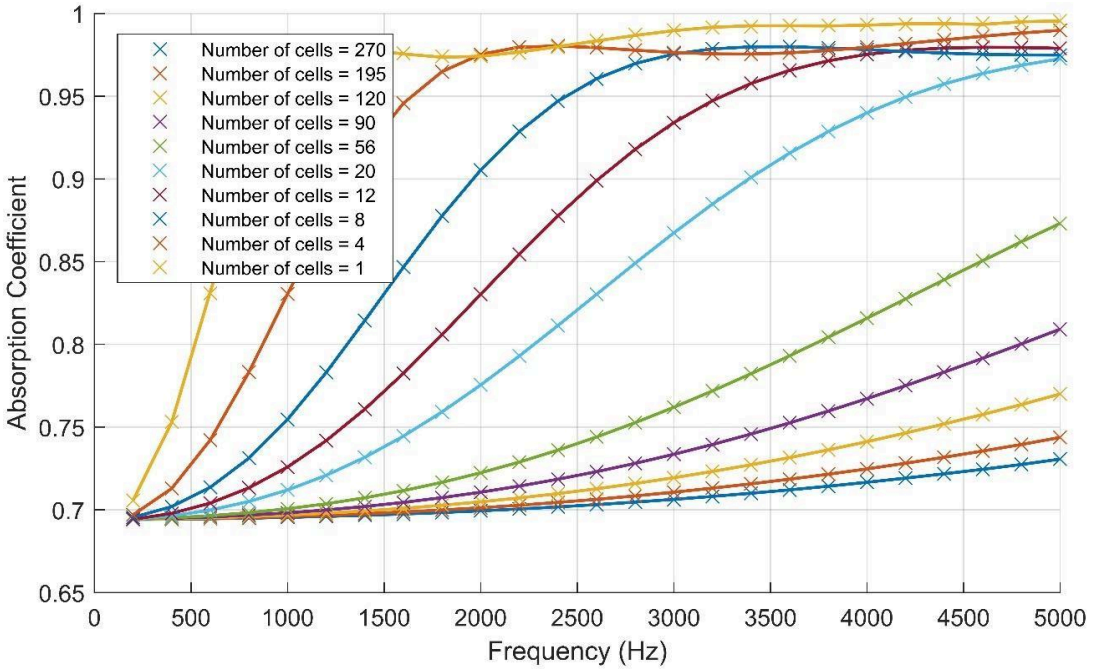



Figura 7. Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para los distintos valores de densidad de celdas.

Se observa que un aumento en la densidad de celdas del origami produce un coeficiente de absorción bajo para frecuencias bajas; sin embargo, este valor crece a medida que la frecuencia aumenta, lo cual puede explicarse a través de principios fundamentales de la acústica. Este fenómeno se debe a la relación entre la longitud de onda del sonido y las dimensiones características de las celdas en la estructura de origami. A bajas frecuencias, las ondas sonoras tienen longitudes de onda largas que son mucho mayores que el tamaño de las celdas. En estas condiciones, las ondas interactúan mínimamente con las pequeñas estructuras celulares, y la superficie del origami es percibida como acústicamente lisa. Como resultado, hay una mínima disipación de energía a través de la estructura, lo que conduce a un bajo coeficiente de absorción en estas frecuencias. En cambio, a altas frecuencias, las longitudes de onda son más cortas y comparables o incluso menores que las dimensiones de las celdas. Esto permite una interacción significativa entre las ondas sonoras y las estructuras celulares. Las celdas pequeñas pueden dispersar y difractar las ondas de alta frecuencia, aumentando la longitud del trayecto dentro del material y promoviendo la disipación de energía. Además, las características geométricas de las celdas pueden

soportar modos resonantes locales, mejorando la absorción debido a un incremento en las reflexiones internas y el atrapamiento de energía dentro de las celdas [14].

El comportamiento descrito anteriormente es consistente con la teoría de medios efectivos, donde a bajas frecuencias el material se considera como un medio homogéneo con propiedades promedio, lo que resulta en una baja absorción. Sin embargo, a altas frecuencias, la naturaleza discreta de las celdas se vuelve significativa y afecta la propagación de las ondas sonoras [14]. Además, la mayor interacción a frecuencias más altas puede generar una mejor coincidencia de impedancia entre el aire y el material, facilitando la transferencia de energía hacia la estructura y aumentando la absorción [15].

Es relevante señalar que, en este estudio, se ha asumido una impedancia constante para el material por motivos de simplicidad. Sin embargo, en materiales reales, la impedancia varía en función de la frecuencia. No obstante, los resultados obtenidos son útiles para evaluar cómo varía el coeficiente de absorción a una frecuencia específica, lo que implica la consideración de una impedancia constante en dicho contexto.

**REFERENCIAS**

1. Z. ZHAKYPOV; M. FALAHI; M. SHAH; J. PAIK. “The design and control of the multi-modal locomotion origami robot, tribot”. *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE, 2015*, pp. 4349–4355
2. Y. MORIKAWA; S. YAMAGIWA; H. SAWAHATA; M. ISHIDA; T. KAWANO. “An origami-inspired ultrastretchable biopolymer film device”. *2016 IEEE 29th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), IEEE, 2016*, pp. 149–152.
3. PESENTI, M.; MASERA, G.; FIORITO, F. "Shaping an Origami Shading Device through Visual and Thermal Simulations". *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 346-351, 2015, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015.
4. ZHANG, X.; HUANG, X.; LU, G. "Tunable bandgaps and acoustic characteristics of perforated Miura-ori phononic structures". *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 253, p. 108389, 2023.
5. D. POHL; W. D. WOLPERT. “Engineered spacecraft deployables influenced by nature”. *Proceedings of SPIE*, vol. 7424, 2009, pp. 742 408–742408-9.
6. S. A. ZIRBEL; R. J. LANG; M. W. THOMSON; et al. “Accommodating thickness in origami-based deployable arrays”. *Journal of Mechanical Design*, vol. 135, no. 11, p. 111 005, Nov. 2013.
7. K. KURIBAYASHI; K. TSUCHIYA; Z. YOU. et al. “Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of ni-rich tini shape memory alloy foil”. *Materials Science and Engineering*: A, vol. 419, no. 1-2, pp. 131–137, 2006.
8. YU, X.; FANG, H.; CUI, F.; CHENG, L.; LU, Z. "Origami-inspired foldable sound barrier designs". *Journal of Sound and Vibration*, vol. 442, pp. 514-526, 2019.
9. MELONI, M. et al. “Engineering Origami: A Comprehensive Review of Recent Applications, Design Methods, and Tools,” Advanced Science, vol. 8, no. 13, 2021.
10. MITANI, J. “The Folded Shape Restoration and the Rendering Method of Origami from the Crease Pattern”. En Proceedings of the 13th International Conference on Geometry and Graphics, Dresden, Germany, 2008.
11. TACHI, T. “Freeform Variations of Origami,” *Journal for Geometry and Graphics*, vol. 14, no. 2, pp. 203–215, 2010.
12. C. Q. HOWARD; B. S. CAZZOLATO. *Acoustic Analyses Using MATLAB and ANSYS*. CRC Press, 2015, pp. 266–268, ISBN: 978-1482223255.
13. R. DURIS; E. LABASOVA. “The design of an impedance tube and testing of sound absorption coefficient of selected materials,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1050, p. 012 003, 2021.
14. J.-F. ALLARD; N. ATALLA. *Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials*, 2nd. Chichester, UK: Wiley, 2009, ISBN: 978-0-470-74661-5.
15. T. J. COX; P. D’ANTONIO. *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*, 2nd. New York, NY, USA: Taylor & Francis, 2009, ISBN: 0-203-57215-7.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# COMPARATIVE ANALYSIS OF MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF BABBITT B83 ALLOY: GRAVITY VS. CENTRIFUGAL CASTING METHODS

**Yuniel Ernesto Martínez Pérez[1], Carlos Figueroa Hernández[1], Urbano Ordoñez Hernández[1]**

[1]Technological University of Havana José Antonio Echeverría. Faculty of Mechanical Engineering. Havana, Cuba,
[1]yunimape91@gmail.com

## ABSTRACT

This study analyzes the mechanical and tribological performance of Babbitt B83 antifriction alloy used in the recovery of sliding bearings in turbo machines. Two casting methods were compared: gravity casting (GC) and centrifugal casting (CC). The characterization included microstructure analysis, hardness, compressive strength, and wear resistance of the samples. Results showed that centrifugal casting significantly improved the material's properties, with a 3.4% increase in hardness and a 20% reduction in wear compared to gravity casting. The finer grain structure and more uniform distribution of intermetallic phases in the centrifugally cast alloy led to superior tribological behavior. These improvements suggest that CC is better suited for applications requiring enhanced load-bearing capacity and wear resistance, such as in the thermoelectric and automotive industries. Future research could explore the impact of additional alloying elements and further optimize the casting process to enhance durability under extreme conditions.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE SUERO DE QUESO EN SISTEMAS ANAEROBIOS DE UNA ETAPA Y DOS ETAPAS

**Ania Cabrera-Díaz[1], Miguel Ángel Díaz-Marrero[2], Luis Evelio Guerra-Díaz[2], Ileana Pereda-Reyes[1]**

[1]Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114 No.11901 e/Rotonda y Ciclovía, Marianao. [2]Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114 No.11901 e/Rotonda y Ciclovía, Marianao.
[1]e-mail: ania@mecanica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El metano generado producto del tratamiento de residuales de la industria láctea por digestión anaerobia (DA) es una fuente de energía renovable que puede colaborar en la aplicación de enfoques de economía circular en este sector. Explorar tecnologías de alta tasa en el tratamiento de los residuales y la recuperación de recursos presentes en los mismos, podría contribuir a cerrar los ciclos de producción de forma sostenible. El suero de queso es un derivado lácteo que contiene naturalmente lactosa y materia orgánica biodegradable. Su inadecuada disposición puede generar consecuencias como la contaminación y eutrofización del medio acuático, afectando así los ecosistemas. El presente trabajo evaluó la producción de biogás en dos sistemas anaerobios, el primero empleó un Reactor anaerobio de cama empacada (RACE) como única configuración y en el segundo sistema se evaluó la separación de fases (reactor secuencial tanque agitado (RSTA), seguido de un RACE para el tratamiento del suero de queso crudo. El RACE como única configuración operó hasta una carga orgánica volumétrica (COV) estable de 4 kg DQO/$m^3$d, alcanzando una eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) de 91 % con un rendimiento de metano de 0,317 $m^3$ $CH_4$/kg $DQO_e$. La separación de fases permitió alcanzar COV en el RSTA de 27 kg DQO/$m^3$ d, permitiendo incrementar la COV en el RACE a 6 kg DQO/$m^3$ d), obteniendo eficiencias de eliminación de DQO superiores al 95% y rendimientos de $YCH_4$ promedios iguales a 0,297 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe,

**PALABRAS CLAVES:** digestión anaerobia, metano, suero de queso, una etapa, dos etapas.

## METHANE PRODUCTION FROM CHEESE WHEY IN SINGLE-STAGE AND TWO-STAGE ANAEROBIC SYSTEMS

## ABSTRACT

The methane generated from the treatment of waste from the dairy industry by anaerobic digestion (AD) is a renewable energy source that can help implement circular economy approaches in the sector. Exploring high-rate technologies for waste treatment and resource recovery could help close production cycles in a sustainable way. Cheese whey is a dairy product that naturally contains lactose and biodegradable organic matter. Its improper disposal can lead to consequences such as pollution and eutrophication of the aquatic environment, thus affecting ecosystems. The present work evaluated the production of biogas using raw cheese whey in two anaerobic systems, the first used a Packed Bed Anaerobic Reactor (APBR) as the only configuration and in the second system phase separation was evaluated using a Sequential Stirred Tank Reactor (CSTR), followed by a APBR. The APBR as the only configuration operated up to a stable volumetric organic load (VOC) of 4 kg COD/$m^3$d, reaching a chemical oxygen demand (COD) removal of 91% with a methane yield ($YCH_4$) of 0.317 $m^3$ $CH_4$/kg CODe. The phase separation allowed to reach VOC in the APBR of 27 kg COD/$m^3$ d, allowing to increase the VOC in the APBR to 6 kg COD/$m^3$ d), obtaining COD removal efficiencies higher than 95% and average $YCH_4$ yields equal to 0.297 $m^3$ $CH_4$/kg CODe,

**KEY WORDS:** anaerobic digestion, methane, cheese whey, single-stage, two-stage.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria láctea desempeña un papel económico importante en el sector agrícola en la mayoría de los países industrializados y en muchos países en desarrollo. Estas instalaciones de productos lácteos suelen considerarse la mayor fuente de aguas residuales industriales de alimentos [1]. En este sentido, la recuperación de productos de valor agregados a partir del tratamiento de residuos se inserta dentro de las estrategias de economía circular, cerrando los ciclos de producción de forma sostenible, favoreciendo la transición de modelos productivos agresivos con el ambiente hacia modelos alternativos sostenibles.

Las aguas residuales lácteas contienen una alta concentración de material orgánico como proteínas, carbohidratos y lípidos. Lo anterior se revierte en que este residual posea una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y DQO, altas concentraciones de sólidos suspendidos y de grasas. Entre ellas se encuentran el suero de queso, considerado el principal subproducto de la producción del queso, este representa entre el 85 y el 90 % del volumen total de leche procesada. Contiene una cantidad significativa de carbohidratos (4 – 5 % del volumen del suero de queso), proteínas que no superan el 1 %, grasas aproximadamente de 0,4 a 0,5 % y sales que pueden variar desde el 0,5 hasta el 3 % [1, 2].

En la industria láctea cubana se destaca la producción de derivados lácteos y dentro de estos, la fabricación de queso; sea esta de origen industrial o artesanal. El suero de queso generado suele ser empleado en bebidas probióticas, la alimentación animal o como fertilizante líquido. Sin embargo, en dependencia de las condiciones logísticas en ocasiones este residual es vertido junto con las aguas de procesos a cuerpos receptores sin tratamiento previo, poniendo en riesgo los ecosistemas adyacentes. Los principales problemas ambientales identificados en las empresas lácteas cubanas son la contaminación de las aguas terrestres y marinas por el vertimiento de residuales industriales (principalmente líquidos), tratados completa o parcialmente o no tratados [3].

En este contexto, el tratamiento del suero de queso mediante el proceso de DA para la obtención de biogás, muestra factibilidad técnica, económica y ambiental. Numerosos reportes, refieren que los procesos anaerobios son los más eficientes debido a la reducción del contenido de materia orgánica, la obtención de energía adicional a través del biogás, la minimización de las emisiones de gases de efecto invernadero y además, permiten la recuperación de nutrientes. Otras de sus bondades es la menor generación de lodo y los menores requerimientos de nutrientes [2, 4].

La principal limitación para tratar el suero de queso mediante un proceso de DA, radica en su gran facilidad de acidificar, principalmente cuando se utilizan COV elevadas, donde la fase acidogénica y la metanogénica ocurren simultáneamente, ocasionando la inestabilidad del sistema. Esa inestabilidad del proceso metanogénico puede ser ocasionada por la gran cantidad de compuestos ácidos generados por la fermentación de la lactosa. La presencia y acumulación de estos ácidos producen un descenso en el pH, promoviendo el crecimiento de bacterias acetogénicas e inhibiendo la actividad metanogénica [2]. Diferentes tipos de configuraciones de reactores anaerobios han sido evaluados en el tratamiento del suero de queso, ya sea con simple (una etapa) o múltiples (dos etapas o más); destacándose los reactores de manto de lodos (UASB por sus siglas en inglés), los reactores anaerobios de cama empacada (RACE) [5, 6], el reactor de manto de lodos expandido (EGSB por sus siglas en inglés) [7], los bioreactores de membranas [8] y el reactor secuencial tanque agitado (RSTA) [9].

Con respecto a los reactores UASB se reportan estudios que alcanzan altas cargas orgánicas volumétrica (COV) sin embargo, se evidencia como principal problemática la alta turbidez y sólidos suspendidos volátiles en los efluentes generados, debido a la acumulación de materia orgánica en el reactor [5, 6]. En contraste con ello, los RACE han proporcionado una mayor eficiencia de tratamiento y tienen más tolerancia ante el incremento de la carga hidráulica y toxicidad por metales pesados [5]. Con respecto a esta tecnología, se han reportado la evaluación de COV en el intervalo entre 3 y 21 kg DQO/$m^3$ d, correspondientes a tiempos de retención hidráulicos (TRH) de 0,5 a 49,2 días. Bajo estas condiciones se

obtuvieron eficiencias de eliminación de DQO entre 80 y 98,3% e intervalos de rendimiento de metano ($YCH_4$) entre 0,28 - 0,38 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe [5].

Muchos trabajos realizados evidencian la factibilidad del empleo del RACE con una etapa de pre-acidificación sobre otros tipos de reactores para tratar el suero de queso, ya que se obtienen mayores eficiencias de tratamiento, así como la eliminación de la materia orgánica disuelta. Sin embargo, no se logra operar a altas COV sin un detrimento en el $YCH_4$. Lo anterior está relacionado con que una alta concentración de lípidos en el RACE inhibe las bacterias acetogénicas, también promueve el desarrollo de biomasa no adherida dentro de los espacios vacíos del material de empaque, lo que acelera la obstrucción del del reactor y bloquea la liberación de biogás. Con el fin de evitar estos problemas, la composición de las aguas residuales debe ser monitoreada de cerca, y las materias suspendidas y los lípidos deben ser retirados antes de la alimentación al RACE [5].

En este contexto, para crear condiciones adecuadas en el proceso de digestión anaerobia; se enuncia el empleo de la separación del proceso en dos etapas [11]. El uso de la separación en dos etapas permite la optimización independiente de las condiciones de operación para la hidrólisis y la acidogénesis (primera etapa) y para la acetogénesis y metanogénesis (segunda etapa) [12]. En general, el proceso de dos etapas aprovecha el fenómeno de separación de fases, derivado naturalmente de diferentes velocidades cinéticas. Esto proporciona reactores acidogénicos y metanogénicos separados, lo que influye en mejoras en la eficiencia del tratamiento, en la producción de energía y en la estabilidad del proceso de los sistemas anaerobios

El objetivo de este trabajo es evaluar la viabilidad de dos sistemas anaerobios para el tratamiento de suero de queso crudo, uno compuesto por un RACE como única configuración y un segundo sistema con separación de fases (reactor secuencial tanque agitado (RSTA), seguido de un RACE en serie).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Sustrato e inóculo

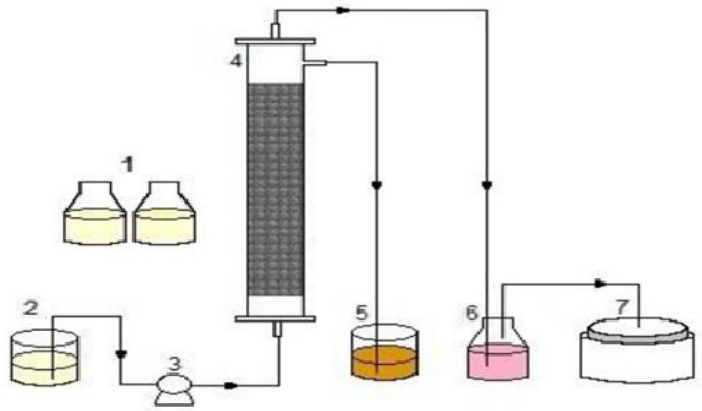
El sustrato empleado fue el suero de queso, residual procedente de una fábrica quesera cubana, Se realizaron tres recolecciones y muestreos del suero de queso, este fue caracterizado y almacenado en tanques plásticos a 4 ºC hasta el momento de su empleo en la evaluación de los sistemas anaerobios propuestos.

La biomasa empleada como inóculo en los dos reactores secuenciales de tanque agitado (RSTA), que operaron como etapa acidogénica provino de un reactor de cúpula fija (chino) que trata excreta vacuna. El inóculo se almacenó y se mantuvo activo a temperatura ambiente mediante el uso de ácido acético como sustrato. Una semana antes de su utilización el inóculo se dejó de alimentar con el objetivo de facilitar la degradación del material aún presente en su constitución y se caracterizó. Este mostró valores de pH igual a 7,15 y concentración de 23,21 g/L de sólidos totales (ST) y 15,69 g/L de sólidos totales volátiles (STV), lo que representa el 67,6 % de los ST, por lo que se considera de buena calidad para el inicio del proceso de DA.

### Equipamiento y metodología empleada en los procesos de DA

Para evaluar los procesos de DA de suero de queso se utilizaron dos configuraciones diferentes: una configuración simple (RACE y otra configuración con separación de fases RSTA (acidogénica) + RACE (metanogénica). Ambas se operaron en régimen continuo a escala de banco. El RACE cuenta con una empaquetadura cilíndrica hueca y corrugada de PVC con área específica de 205 $m^2/m^3$ dispuesta al azar. Posee un volumen efectivo de 3,4 L y volumen de empaque de 3,23 L. Como RSTA se utilizaron dos frascos de vidrio con doble boca, una para la alimentación y otra para medir el desplazamiento de metano, con barras magnéticas en su interior y empleo de un agitador magnético para mantener el mezclado. En las figuras 1 y 2 se representan los esquemas de la instalación de ambas configuraciones.

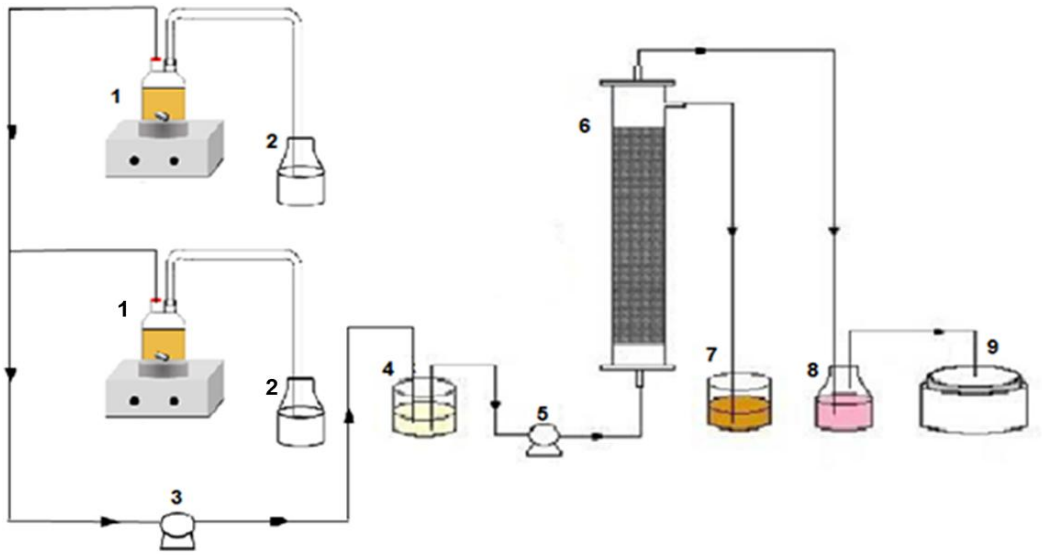
Para la evaluación del tratamiento anaerobio del suero de queso en un sistema con una configuración simple; al sustrato se le realizó una pre-acidificación en frascos *erlenmeyer* durante dos días y posteriormente se separaban la nata creada del efluente líquido por flotación. El efluente se neutralizó con $Na_2CO_3$ y alimentado al RACE (Fig. 1).




***Leyenda:*** *1: recipientes para acidificación del suero de queso; 2: suero de queso acidificado; 3: bomba peristáltico multicanal para la alimentación y recirculación: 4: RACE; 5: efluente biodigerido del RACE; 6: solución de NaOH al 15 % p/v; 7 campana de desplazamiento para contabilizar flujo de metano.*

Figura 1: Esquema de la instalación de la configuración simple (RACE)

Para la experimentación con separación de fases, en la primera fase de acidificación se emplearon dos RSTA (con el objetivo de mantener 2 días de TRH) y como segunda fase metanogénica se empleó un RACE con las mismas características descritas anteriormente. Los RSTA se alimentaron con suero de queso previamente neutralizado con $Na_2CO_3$ a pH (5,5 y 6,5). Transcurrido un TRH de 2 días, se detiene la agitación para favorecer la sedimentación y proceder a separar el inóculo del suero de queso biodigerido. Este último se neutralizó nuevamente con $Na_2CO_3$ a pH cercanos a la neutralidad y se empleó como sustrato en la segunda etapa (metanogénesis) en el reactor RACE. El esquema de la instalación se muestra en la Fig. 2.




***Leyenda:*** *1: RSTA; 2: sello de agua para gases; 3: bomba peristáltica; 4: efluente biodigerido del RSTA; 5: bomba peristáltica multicanal correspondientes a la recirculación y a la alimentación del RACE; 6: RACE; 7: efluente biodigerido del RACE; 8: solución de NaOH al 15 %; 9: campana de desplazamiento para contabilizar flujo de metano.*

Figura 2: Esquema de la instalación de la configuración con separación de fases (RSTA + RACE)

En ambos sistemas la producción de metano fue medida en línea, haciendo pasar previamente el biogás por una solución de NaOH al 15 % p/v con pH > 12, para eliminar el $CO_2$. Los valores del volumen de metano producido se reportaron en condiciones de temperatura (0 ºC) y presión normal (101,325 kPa) (TPN).

**Variables de control y respuesta del proceso de digestión anaerobia**

En la evaluación de las configuraciones anaerobias propuestas se controlaron variables como la temperatura a 31 ± 2 ºC, el pH y la relación de alcalinidades AGV/CIT. Como variables de respuestas se evaluaron el $YCH_4$ y la eficiencia de eliminación de la DQO. Para determinar ambos parámetros se utilizan las ecuaciones 1 y 2.

**Rendimiento de metano ($YCH_4$)**

El rendimiento de metano se define como la cantidad de metano producida por cierta cantidad de materia orgánica adicionada o eliminada en un sistema anaerobio y describe la actividad metabólica de los microorganismos metanogénicos en el sistema. El rendimiento de metano se calcula por la ecuación 1.

$$Y_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{DQO_e} \qquad (1)$$

Donde:
$YCH_4$: Rendimiento de metano ($m^3$ $CH_4$/kg DQOe)
$VCH_4$: Volumen acumulado de metano producido ($m^3$ $CH_4$)
DQOe: Demanda química de oxígeno eliminados en el sistema (kg DQOe)

**Eficiencia de eliminación de la DQO (η)**

La eficiencia de eliminación de la DQO se determina mediante la ecuación 2.

$$\eta = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} \cdot 100 \qquad (2)$$

Donde:
η: Eficiencia de eliminación de la DQO (%)
$DQO_i$: Demanda Química de Oxígeno inicial del influente (g/L)
$DQO_f$: Demanda Química de Oxígeno final del efluente (g/L)

**Ensayos analíticos**

Todos los ensayos analíticos se realizaron según los Métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales [13]. Al sustrato y efluentes obtenidos en los estudios se les realizaron análisis de pH, DQO, $DBO_{5,20}$, alcalinidad, sólidos totales, fijos y volátiles (ST, STF, STV), nitrógeno total (NTK) y nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$). La relación de alcalinidades, ácidos grasos volátiles/carbonato inorgánico total (AGV/CIT) (Ácidos grasos volátiles/carbonato inorgánico total) fue determinada de acuerdo con [14]. La composición del biogás $CH_4$, $CO_2$, $O_2$ y $H_2S$ se determinó en un analizador de gases portátil GEOTECH 2000.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización del suero de queso**

La Tabla 1 muestra la caracterización físico-química del suero de queso crudo empleado como sustrato en la experimentación, para la evaluación del desempeño del RACE en la configuración simple y del sistema RSTA + RACE con separación de fases.

Tabla 1. Caracterización del suero de queso

| Parámetros | Promedio |
|---|---|
| DQOt (mg/L) | 100573 ± 30491 |
| $DBO_{5,20}$ (mg/L) | 50950 ± 9828 |
| pH | 3,84 – 5,41 |
| ST (g/L) | 65,25 ± 3,02 |
| STV (g/L) | 59,67 ± 3,44 |
| STF (g/L) | 5,38 ± 0,31 |
| Ntotal (mg/L) | 1352 ± 200,14 |
| $N\text{-}NH_3$ (mg/L) | 182 ± 80 |

Los principales parámetros caracterizados muestran un pH ácido y altas concentraciones en términos de DQO**,** coincidiendo con lo reportado en la literatura [15]. Al analizar el valor promedio de la relación $DBO_{5,20}$/DQO igual a 0,51, es superior a 0,4, por lo que es biodegradable y puede ser tratado por procesos anaerobios, también el valor promedio de la relación STV/ST igual a 0,91 indica que el suero de queso puede ser tratado por procesos biológicos y en especial por procesos anaerobios. Otros factores a tener en cuenta en función de la caracterización de sustrato es la cantidad de materia orgánica en su relación con el nitrógeno, lo que determina si el proceso anaerobio se desarrollará en adecuadas condiciones o no. Se evidencia altas concentraciones promedio de nitrógeno total (1352 mg/L), que aporta una relación DQO:N (74:1), así como una concentración de amonio dentro del intervalo (50 - 200 mg/L), apropiadas para el desempeño del proceso de DA [16].

**Parámetros de operación y desempeño del RACE como una única configuración**

El RACE se operó y monitoreó durante 110 días, comenzando con un periodo de adaptación de alrededor de 21 días para que pudiera trabajar con un nuevo sustrato, la COV de arranque fue igual a 1,31 kg DQO/$m^3$ d, correspondiente a 44,9 días de TRH; en esta fase se empleó recirculación con el objetivo de favorecer el desarrollo de una activa y estable biomasa en el material de empaque. Una vez adaptado y estabilizado el reactor se comenzó a aumentar progresivamente la COV a valores promedios de 1,81 y 4,07 kg DQO/$m^3$ d pero sin emplear recirculación.

En la Fig. 3, se muestra la evolución del $YCH_4$ y de la relación AGV/CIT en el tiempo para las COV evaluadas. En la etapa de arranque y adaptación al nuevo sustrato, se observan incrementos en el $YCH_4$ hasta valores de 0,102 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe. En este sentido, la relación AGV/CIT tomada como parámetro de monitoreo de la estabilidad del sistema muestra cierta dispersión, pero siempre se mantuvo por debajo de 0,3 (valor recomendado de operación estable) [14]. Los bajos valores en el $YCH_4$, pudieran corresponderse con la adaptación del inóculo al sustrato, también al efecto de la alta concentración de lípidos, lo cual pudiera inhibir a las bacterias acetogénicas, afectando la producción de metano [5].

Una vez estabilizada la relación de alcalinidades AGV/CIT, se incrementa la COV a valores promedios de 1,81 kg DQO/$m^3$ d, para esta COV alrededor del día 52 se comienzan a obtener incrementos en el $YCH_4$ con un valor promedio de 0,363 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe, dentro del intervalo reportado en la literatura (0,28 – 0,38 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe) [5]. Mostrando un comportamiento estable dado por la relación de alcalinidades y las eficiencias de eliminación de DQO que siempre estuvo por encima del 90 %. Al incrementar la COV a 4 kg DQO/$m^3$ d, se comenzó a evidenciar un ligero detrimento en el $YCH_4$ disminuyendo a un valor promedio de 0,283 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe. Se reporta que para COV superiores a 3

kg DQO/m$^3$ d comienza a incrementar la acumulación de AGV, lo cual tiene un efecto de inhibitorio significante en la actividad del metanogénica de la biopelícula [5].

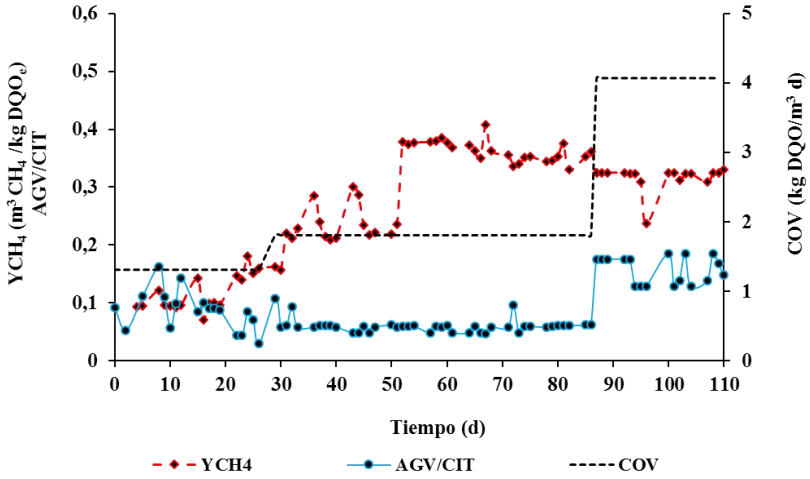



Figura 3: Evolución del $YCH_4$ y de la relación AGV/CIT en el tiempo para las COV evaluadas.

La Tabla 2, muestra para cada COV evaluada, la caracterización de los efluentes generados (valores promedios) y los parámetros de operación y control definidos para monitorear el sistema. De forma general, bajo las COVs evaluadas se evidencia que el pH del efluente se encontró dentro del intervalo 7,34 y 7,54, valores cercanos y dentro del intervalo adecuado para culturas combinadas de bacterias y arqueas anaerobias (6,8 – 7,4) [16].

Tabla 2: Parámetros de operación y control del RACE, características de los efluentes generados

| **Variables de control** | **COV (kg DQO/m$^3$ d)** | | |
|---|---|---|---|
| | **1,31 ± 0,36** | **1,81 ± 0,43** | **4,07 ± 0,56** |
| pH efluente | 7,54 - 8,05 | 7,48 -7,95 | 7,34 - 7,75 |
| ST (mg/L) | 10 060 ± 3 200 | 9 908 ± 3 010 | 16 320 ± 3 180 |
| NTK (mg/L) | 220,9 ± 16,02 | 250,1 ± 45,6 | 453,6 ± 23,8 |
| N-$NH_3$ (mg/L) | - | 123,2 | 78,4 |
| AGV/CIT | 0,09 | 0,06 | 0,16 |
| ηDQO (%) | 93 ± 1,68 | 95 ± 1,99 | 91 ± 1,38 |
| $YCH_4$ (m$^3$ $NCH_4$/kg $DQO_e$) | 0,102 ± 0,05 | 0,308 ± 0,07 | 0,283 ± 0,02 |

Según los resultados obtenidos es posible operar el RACE hasta COVs de 4 kg DQO/m$^3$ d; alcanzando valores de eficiencia de eliminación de la DQO de 91 % y un $YCH_4$ de 0,283 m$^3$ $CH_4$/kg DQOe. También, se determinó para esta COV el contenido del biogás generado, su composición estuvo dada por $CH_4$ 55,3 %, $CO_2$ 27 %, $O_2$ 2,4 % y $H_2S$ 726 ppm; evidenciando que el contenido de metano se encuentra dentro del intervalo reportado en la literatura (50 - 95 %) [16]. La productividad de metano fue de 1,02 L $CH_4/L_{reactor}$·d, valores cercanos a los 1,15 L $CH_4/L_{reactor}$·d, reportados por [15] al utilizar un UASB-híbrido. En este sentido, se debe continuar investigando acerca de este residual y su tratamiento en los RACE o en procesos con separación de fases.

**Parámetros de operación y desempeño del sistema con separación de fases**

Para evaluar el desempeño del sistema con separación de fases microbianas, la primera fase de acidificación se llevó a cabo en dos RSTA y la segunda fase metanogénica en un reactor RACE. En esta configuración, cada fase ocurre en reactores independientes, permitiendo a los microorganismos degradar altas cargas orgánicas, disminuyendo la acidificación en la fase del metanogénica [17]. La puesta en marcha del sistema acidogénico/metanogénico comenzó con la operación en serie de ambos rectores y

continuando por 50 días. En los RSTA (acidogénicos) se evaluaron COV de 21 y 27 kg DQO/$m^3$ d, que al pasar al RACE (metanogénico), correspondieron a COV de 3,5 y 6 kg DQO/$m^3$ d.

**Reactores acidogénicos (RSTA)**

Los RSTA (acidogénicos) fueron alimentados con el suero de queso crudo sin diluir, con concentraciones de materia orgánica en términos de DQO promedios igual a 73 100 mg/L y valores de pH entre 5,5 y 6,5; mejor intervalo para el metabolismo acidogénico [17]. Se evaluaron COV de 21 y 27 kg DQO/$m^3$ d, que correspondieron a 3,5 y 2,8 días de TRH. Los principales indicadores de desempeño para todas las condiciones de los dos RSTA, se muestran en las figuras 4 y 5, además de un resumen de los mismos en la Tabla 3. En la figura 4 se muestra como varía el pH con respecto al tiempo para las COV aplicadas a los RSTA 1 y RSTA 2.

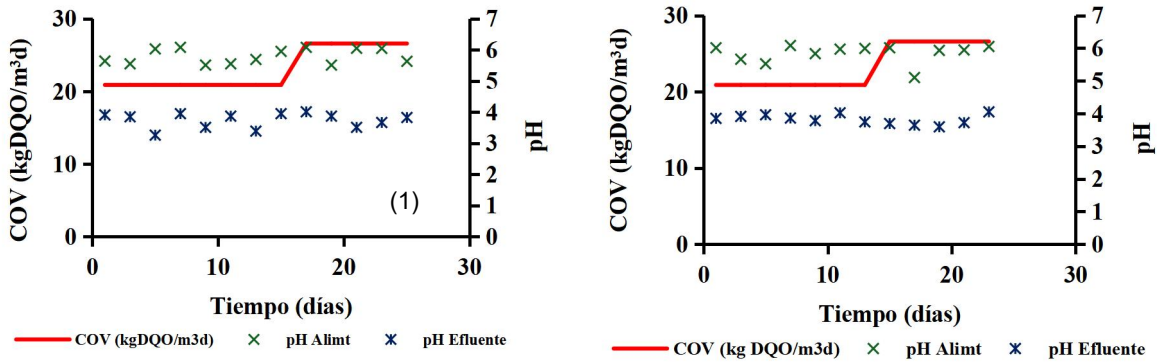



Figura 4. pH en el tiempo en función de las COVs aplicadas en los RSTA 1 y RSTA 2

Como se observa en la figura 4 existe una semejanza con respecto al comportamiento del pH en cada reactor y una ligera disminución de este parámetro en la alimentación con respecto al pH del efluente; los cuales variaron para el afluente en el intervalo de 5,10 a 6,11 y en el efluente de 3,26 a 4,05. Esta disminución era de esperar, y puede atribuirse a la producción de AGV por las bacterias acidogénicas [16, 17]. Los resultados muestran que el pH influye en las vías metabólicas y el tipo de fermentación deseado, pero no influye en la producción de metano en comparación con un proceso de una sola etapa.

Tabla 3. Parámetros de operación y control de los reactores acidogénicos RSTA 1 y RSTA 2

| **Parámetros** | **RSTA 1** | | **RSTA 2** | |
|---|---|---|---|---|
| | **COV (kgDQO/$m^3$d)** | | | |
| | 21 | 27 | 21 | 27 |
| pH afluente | 5,55 - 6,08 | 5,51 - 6,07 | 5,52 - 6,11 | 5,10 - 6,05 |
| pH efluente | 3,26 - 3,95 | 3,51 - 4,01 | 3,74 - 4,02 | 3,59 - 4,05 |
| TRH (días) | 3,5 | 2,8 | 3,5 | 2,8 |
| ηDQO (%) | 19,92 ± 6,05 | 19,98 ± 0,74 | 20,87 ± 4,14 | 22,15 ± 2,37 |

Con respecto a la eficiencia de eliminación de la DQO, según muestra la Fig. 5, en ambos reactores ocurre un incremento exponencial de este parámetro en los primeros tres días. Lo anterior puede estar en correspondencia con la presencia de cultivos combinados de bacterias y arqueas anaerobias, pues el inóculo no estaba adaptado para este fin. Después del tercer día la ηDQO comienza a estabilizarse, alcanzando valores promedios para las dos COV estudiadas (21 y 27 kg DQO/$m^3$ d) de aproximadamente entre el 20 y 22 %. En ambos reactores se observa una baja eliminación de DQO, debido a la generación de intermediarios orgánicos, como los AGV, comportamiento similar fue reportado por [18], al obtener un porcentaje máximo de eliminación de DQO de 21,98 % en condiciones de pH = 6 y relación sustrato/inóculo (S/I) = 25,86 g DQO/gVSS.

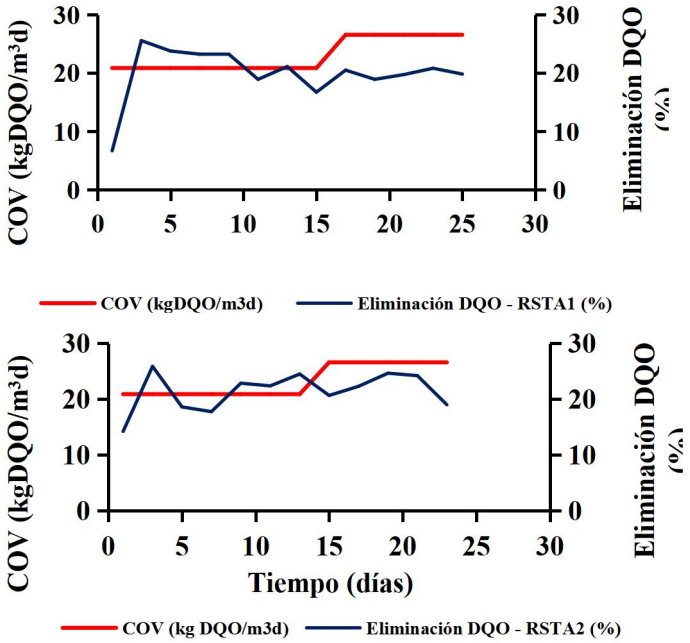



Figura 5. Eficiencia de eliminación de DQO en función de las COVs aplicadas en los RSTA 1 y RSTA 2

Eficiencias de eliminación de DQO similares fueron reportadas por [17], cuando operó un RSTA acidogénico con TRH de 24 horas alcanzando acidificación cercana al 50 % y ηDQO de 18 %. También [15], en la evaluación de un UASB-híbrido como reactor acidogénico tratando suero de queso, alcanzaron COV de 24,9 kg DQO/$m^3$ d) y las ηDQO obtenidas estuvieron en un intervalo entre 15,9 y 21,8 %, valor similar al obtenido en la presente investigación. Todos los estudios coinciden en que la etapa de acidogénesis consiste principalmente en la transformación de la DQO en productos disponibles para la próxima fase [15, 17].

**Reactor metanogénico RACE**

Con el objetivo de investigar el desempeño de la fase metanogénica del sistema anaerobio de dos fases para tratar el suero de queso; el reactor metanogénico (RACE) fue alimentado semi-continuamente con el efluente proveniente de los RSTA previamente neutralizados. La concentración de materia orgánica del efluente alimentado al RACE se comportó en el intervalo entre 57 500 y 58 500 mg DQO/L. Estas concentraciones con el incremento del flujo volumétrico para alimentar a los RACE aportaban COV de 3,5 y 6 kg DQO/$m^3$ d, que correspondieron a TRH de 17 y 9,7 días, respectivamente. Se evaluaron como variables de control y de proceso, el pH, la relación de alcalinidades, además del $YCH_4$ y la eficiencia de eliminación de la DQO para cada una de las COV aplicada.

En la Tabla 4 se resumen los principales parámetros de operación, control y respuesta para las COV evaluadas. Se observa que el pH del efluente para cada COV evaluada tuvo valores entre 7,35 y 8,31, valores cercanos a la neutralidad, adecuado para las arqueas metanógenas y al intervalo propuesto para la metanogénesis por [16], entre 6,5 y 8,2. De igual forma la relación de alcalinidades AGV/CIT, se comportó por debajo de 0,3, acreditando la estabilidad del proceso [14].

La Fig. 6 muestra el comportamiento del $YCH_4$ y de la relación AGV/CIT en el tiempo para las COV aplicadas en el RACE. En la figura se representó el desempeño de ambos estudios, los datos

correspondientes al sistema con separación de fases se graficaron a continuación de la evaluación del RACE cuando operó como una sola configuración, a partir del día 22; con fines de poder comparar ambas propuestas.

Tabla 4. Parámetros de operación y variables del proceso del RACE (metanogénesis)

| **Parámetros** | **COV (kg DQO/m³ d** | |
|---|---|---|
| | **3,5** | **6** |
| TRH (días) | 17 | 9,7 |
| Alc. CIT (mg como $CaCO_3$/L) | 7 393 ± 890 | 11 018 ± 1923 |
| Alc. AGV (mg ácidos volátiles/L) | 1 320 ± 285 | 2 889 ± 858 |
| AGV/CIT | 0,18 | 0,26 |
| $YCH_4$ ($m^3$ $CH_4$/kg DQOe) | 0,306 ± 0,017 | 0,297 ± 0,017 |
| ηDQO (%) | 96,44 ± 1,42 | 94,91 ± 1,04 |
| pH efluente | Entre 7,39 y 8,31 | Entre 7,35 y 7,83 |
| DQO efluente (mg/L) | 2 078 ± 797 | 2 927 ± 570 |

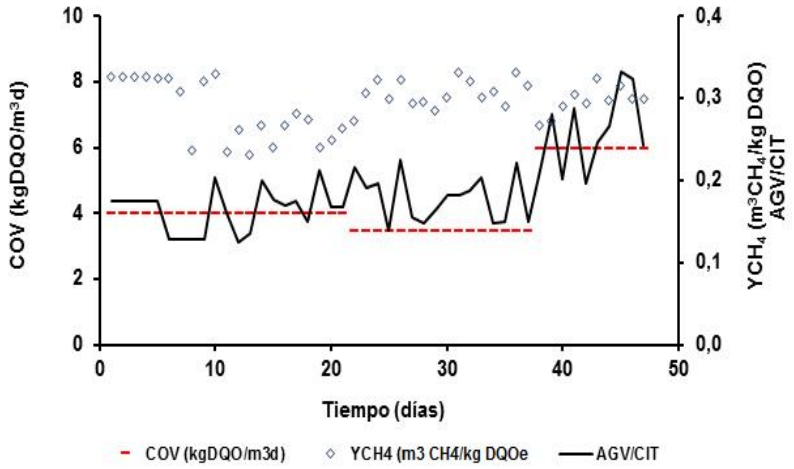



Figura 6: $YCH_4$ y relación AGV/CIT en el tiempo en función de las COVs aplicadas al RACE como segunda fase (metanogénica).

La figura 6 refleja la influencia de la separación de fases en el $YCH_4$, ante el incremento de la COV al reactor metanogénico, el $YCH_4$ comienza a estabilizarse alcanzando valores promedio de 0,297 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe para la COV de 6 kg DQO/$m^3$ d, ligeramente superiores al $YCH_4$ (0,283 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe) obtenido en el RACE cuando operó como una sola configuración a una COV de 4 kg DQO/$m^3$ d. Estos valores concuerdan con los reportados en trabajos previos por [15 y 17], donde los reactores metanogénicos alcanzaron $YCH_4$ de hasta 0,308 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe.

En cuanto a la productividad de metano en el presente estudio para las dos COV evaluadas se obtienen valores entre 1,01 y 1,67 L $CH_4/L_{reactor}$·d. Se evidencia que con el sistema con separación de fases se logra incrementar la COV a 6 kg DQO/$m^3$ d y con ello la productividad de $CH_4$ a 1,67 L $CH_4/L_{reactor}$ · d. Este valor es superior a los 1,02 L $CH_4/L_{reactor}$ · d obtenidos cuando se empleó el RACE como única configuración a una COV de 4 kg DQO/$m^3$ d. También son superiores a los 1,15 L $CH_4/L_{reactor}$ · d, reportados por [15] al utilizar un UASB-híbrido.

Con respecto a la eficiencia de eliminación de la DQO, al incorporar la estrategia de separación de fases, con el incremento de COV se observa una estabilidad en cuanto a la ηDQO, en el RACE se obtuvo un valor promedio de ηDQO de 95,85 %, valor ligeramente superior al reportado por [15] de 89 %, al utilizar

un UASB-híbrido como reactor metanogénico bajo una COV de 4 kg DQO/$m^3$ d. Los resultados evidencian lo tentativo del empleo de los RACE como segundas configuraciones en sistemas con separación de fases, principalmente en cuanto a la calidad de efluente obtenido y a la productividad de metano. De forma general el estudio refleja que es posible operar un sistema con separación de fases para el tratamiento del suero de queso, donde la fase acidogénica lo hará a COV de 27 kg DQO/$m^3$ d en un TRH de 2,75 días y la fase metanogénica operará a COV de 6 kg DQO/$m^3$ d en un TRH de 9,7 días. La composición del biogás generado bajo esta COV estuvo dada por $CH_4$ 66,1 %, $CO_2$ 28 %, $O_2$ 2,6 % y $H_2S$ 431 ppm; de igual forma dentro del intervalo reportado en la literatura (50 – 95 %) [16], pero mostrando un incremento en el porcentaje de $CH_4$, relativo a que el RACE recibe como sustrato un afluente con metabolitos más biodisponibles para las arqueas metanogénicas [19].

En cuanto a la calidad del efluente biodigerido, se observa que aún posee altas concentraciones en términos de DQO (2 927 ± 570 mg/L), por lo que se propone el empleo de un pos-tratamiento, para reducir su poder contaminante antes de su vertimiento. Autores como [20] evidencian la factibilidad de la recuperación de iones amonio en zeolita natural como un posible pos-tratamiento, para el empleo posterior de la zeolita como un fertilizante de liberación lenta en suelos.

Según los resultados es posible tratar el suero de queso en un RACE como una sola configuración tecnológica. Para ello el RACE debe operar bajo una COV igual o inferior a 4 kg DQO/$m^3$ d correspondiente a 13 días de TRH. Sin embargo, la operación debe ser muy cuidadosa previendo la rápida acidificación del proceso, pues cualquier desbalance influirá en la producción de $CH_4$ [21]. Sin embargo, la separación de fases microbianas permitió incrementos en la producción de metano de 64 % cuando se operó un RSTA + RACE. La digestión anaeróbica en dos etapas puede superar estas dificultades de operar en una sola etapa, ya que este proceso reduce el tiempo de residencia, aumenta el rendimiento de metano ($CH_4$) y produce hidrógeno ($H_2$); aunque no fue objeto de evaluación la producción de este último en el presente estudio. También exhibe una mayor producción de energía, proporciona una estabilidad óptima del proceso y un mejor control sobre los parámetros cruciales que rigen el mismo, lo que conlleva a una reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) [22, 23].

## 4. CONCLUSIONES

El tratamiento de suero de queso mediante un sistema anaerobio con separación de fases permite un mayor aprovechamiento del contenido de carbono de este residual. La operación estable de este sistema se alcanzó en el RSTA a COV de 27 kg DQO/$m^3$ d y en el RACE a COV de 6 kg DQO/$m^3$ d, obteniendo eficiencias de eliminación de DQO superiores al 95 % con productividades y rendimientos de $YCH_4$ promedios iguales a 1,67 L $CH_4/L_{reactor}$ · d y 0,297 $m^3$ $CH_4$/kg DQOe, respectivamente.

## REFERENCIAS

1. KOVALEV, Andrey A., et al. “Optimization of Energy Production from Two-Stage Mesophilic–Thermophilic Anaerobic Digestion of Cheese Whey Using a Response Surface Methodology Approach”. *Energies*, 2022, vol. 15, no 23, p. 8928
2. ESCALANTE, H., et al. “Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries”. *Waste Management*, 2018, vol. 71, p. 711-718.
3. CHAVIANO, Quirenia Núñez; HERNÁNDEZ, Mario Alberto Curbelo. “Un método para el mejoramiento del desempeño ambiental de la producción de queso azul de Cuba”. Revista Científica Agroecosistemas, 2020, vol. 8, no 1, p. 97-106.
4. DĘBOWSKI, Marcin, et al. “Simulated dairy wastewater treatment in a pilot plant scale magneto-active hybrid anaerobic biofilm reactor (MA-HABR)”. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2018, vol. 35, no 2, p. 553-562.
5. KARADAG, Dogan, et al. “A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater”. *Process biochemistry*, 2015, vol. 50, no 2, p. 262-271.
6. KARADAG, Dogan, et al. “Anaerobic granular reactors for the treatment of dairy wastewater: A review”. *International Journal of Dairy Technology*, 2015, vol. 68, no 4, p. 459-470.

7. CRUZ-SALOMÓN, Abumalé, et al. Treatment of cheese whey wastewater using an expanded granular sludge bed (EGSB) bioreactor with biomethane production. Processes, 2020, vol. 8, no 8, p. 931.
8. DERELI, Recep Kaan, et al. "Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance". *Environmental research*, 2019, vol. 168, p. 109-117.
9. ASUNIS, Fabiano, et al. "The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation". *Journal of environmental Management*, 2020, vol. 276, p. 111240.
10. KUSHWAHA, Jai Prakash; SRIVASTAVA, Vimal Chandra; MALL, Indra Deo. "An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters". *Critical reviews in food science and nutrition*, 2011, vol. 51, no 5, p. 442-452.
11. RAJENDRAN, Karthik, et al. "Advancing anaerobic digestion through two-stage processes: Current developments and future trends". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 123, p. 109746.
12. FERNÁNDEZ, C., et al. Thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Coupling $H_2$ and $CH_4$ production. *Biomass and bioenergy*, 2015, vol. 81, p. 55-62.
13. RICE, Eugene W., et al. (ed.). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.
14. LOSSIE, Ulrich; PÜTZ, Petra. Targeted control of biogas plants with the help of FOS/TAC. *Practice Report Hach-Lange*, 2008, vol. 4.
15. CÁRDENAS-MEDINA, K. N., et al. "Acidogenesis/methanogenesis from acid cheese whey in hybrid-UASB reactors Acidogénesis/metanogénesis de lactosuero ácido en reactores UASB-híbridos". *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2020, vol. 19, no Sup 1, p. 17-27.
16. LISOWYJ, Michal; WRIGHT, Mark Mba. A review of biogas and an assessment of its economic impact and future role as a renewable energy source. *Reviews in Chemical Engineering*, 2020, vol. 36, no 3, p. 401-421.
17. SADDOUD, Ahlem; HASSAÏRI, Ilem; SAYADI, Sami. "Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey". *Bioresource technology*, 2007, vol. 98, no 11, p. 2102-2108.
18. PÉREZ-MORALES, J., et al. Mathematical modeling of volatile fatty acids production from cheese whey: evaluation of pH and substrate-inoculum ratio effects. *Fuel*, 2021, vol. 287, p. 119510.
19. KOVALEV, A. A., Mikheeva, E. R., Katraeva, I. V., Kovalev, D. A., & Kozlov, A. M. (2023). Bioenergy recovery from two-stage mesophilic-thermophilic anaerobic digestion of cheese whey. *International Journal of Hydrogen Energy*, *48*(12), 4676-4685.
20. KOTOULAS, Aggelos, et al. "Zeolite as a potential medium for ammonium recovery and second cheese whey treatment". *Water*, 2019, vol. 11, no 1, p. 136.
21. GENSOLLEN, Gauthier, et al. "Impact of pH in the first-stage of a two-stage anaerobic digestion on metabolic pathways and methane production". *Bioresource Technology Reports*, 2022, vol. 20, p. 101256.
22. LEMBO, Giuseppe, et al. Hydrogen and methane production by single-and two-stage anaerobic digestion of second cheese whey: economic performances and GHG emissions evaluation. *Energies*, 2022, vol. 15, no 21, p. 7869.
23. SRISOWMEYA, G.; CHAKRAVARTHY, M.; DEVI, G. Nandhini. "Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste–A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 119, p. 109587.

**Sobre los autores**

Ania Cabrera Díaz, Profesor Auxiliar, Doctor en Ciencias. Vicedecana de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Grupo Nacional de Universidades para las Fuentes Renovables de Energía (GNUFRE).
Miguel Ángel Díaz Marrero, Profesor Auxiliar, Máster en Ciencias. Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
Luis Evelio Guerra Díaz, Profesor Asistente, Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

Ileana Pereda Reyes, Profesor Titular, Doctor en Ciencias. Jefa del Laboratorio de Innovación, Dirección de Ciencia y Técnica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Grupo Nacional de Universidades para las Fuentes Renovables de Energía (GNUFRE).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SELECCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EL SUMINISTRO ELÉCTRICO A CENTROS DE SALUD

José Augusto Medrano Hernández[1], Joel Morales Salas[1], Conrado Moreno Figueredo[1]

[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, La Habana, Cuba.

[1]e-mail: jmedranoh04@gmail.com

**RESUMEN**

El presente trabajo se enfoca en la selección entre los principales componentes de Sistemas Solares Fotovoltaicos (paneles e inversores), aplicados al suministro de electricidad a centros de salud. Para dicho fin, se emplea el modelo de Chebyshov como una herramienta denominado ***Modelo Matemático para la Selección de Parques Solares Fotovoltaicos*** (***MMSPSF***), a través del cual se combinan criterios técnico-energéticos y económicos, visto desde un enfoque general-integrador.
La combinación óptima se obtiene en dos etapas: una primera etapa que consiste en analizar cada una de las combinaciones y aplicar las restricciones que se plantean (método de búsqueda exhaustiva), generándose una población de posibles soluciones. La segunda etapa consiste en aplicar el modelo de Chebyshov para el proceso de optimización, donde se obtiene la combinación óptima.
El trabajo concluye con la proposición de la combinación óptima (combinación más factible), donde resulta que la combinación 7 es la óptima.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema Fotovoltaico, Modelo matemático, Combinación óptima

## SELECTION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR THE ELECTRIC SUPPLY TO CENTERS OF HEALTH

**ABSTRACT**

This work focuses on the selection between the main components of Photovoltaic Solar Systems (panels and inverters), applied to the supply of electricity to health centers. For this purpose, the Chebyshov model is used as a tool called the Mathematical Model for the Selection of Photovoltaic Solar Parks (MMSPSF), through which technical-energy and economic criteria are combined, seen from a general-integral approach.
The optimal combination is obtained in two stages: a first stage that consists of analyzing each of the combinations and applying the restrictions that arise (exhaustive search method), generating a population of possible solutions. The second stage consists of applying the Chebyshov model for the optimization process, where the optimal combination is obtained.
The work concludes with the proposition of the optimal combination (most feasible combination), where it turns out that combination 7 is the optimal one.

**KEY WORDS:** Photovoltaic System, Mathematical model, Optimal combination

## 1. INTRODUCIÓN

La creciente dependencia energética en los últimos años y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan a implementar de estrategias eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias.
En el presente trabajo, se realiza la selección de la combinación entre componentes de Sistemas Fotovoltaicos (***SF***) más factible técnica, energética y económicamente. Para ello, se emplea un modelo matemático denominado ***Modelo Matemático para la Selección de Parques Solares Fotovoltaicos*** (***MMSPSF***), el cual está dirigido a la toma de decisiones, empleándose como caso de estudio el Policlínico Abel Santamaría cuadrado, el cual posee un consumo energético de 430 kWh/día.
Las investigaciones realizadas respecto a la selección de propuestas de combinaciones entre componentes más factibles técnica y económicamente, así como la toma de decisiones arrojan que, en los últimos tiempos, las técnicas de modelación matemática y optimización han sido de gran utilidad [1]. Hasta la

actualidad se ha investigado sobre modelos determinísticos, estocásticos de simulación y de optimización [7]. En la solución de los modelos de optimización también se utilizan con frecuencia heurísticas.

Entre los modelos más empleados se encuentran: **IRES** (Integrated Renewables Energy System) [2], ***OREM*** (Optimal Renewable Energy Mathematical), ***SEMA*** (Sustitución Energética Multi-atributo) [2], ***MOLP*** (Multi-objetive Lineal Programming) [3], ***MARKAL*** (MARjet ALLocación) [4], ***UREM (University of Regina Energy Model)*** [5].
Entre los métodos más modernos se encuentran: ***Utilidad Multi-Atributo (MAUT)*** [6], Proceso Analítico Jerárquico" ***(AHP), que ha sido*** el método más extendido entre todos, es el de enfoque de la Programación Multi-objetivo Interactiva [7]. También se encuentran los métodos de descomposición, el método Aproximatorio-Combinatorio de V. R. Jachaturov es un ejemplo [8] y el de búsqueda exhaustiva [9].
Como puede observarse, la modelación matemática es muy empleada en la solución de problemas complejo.
A continuación, se describe la metodología para seleccionar la combinación entre componentes de un SF más factible técnica, energética y económicamente.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este acápite, se describe la metodología que permite la selección de la combinación más factible técnica y económicamente entre los componentes de un Sistema Fotovoltaico (***SF***) conectado a red.
A continuación, se presenta la estructura del modelo matemático propuesto (***MMDSPF***)

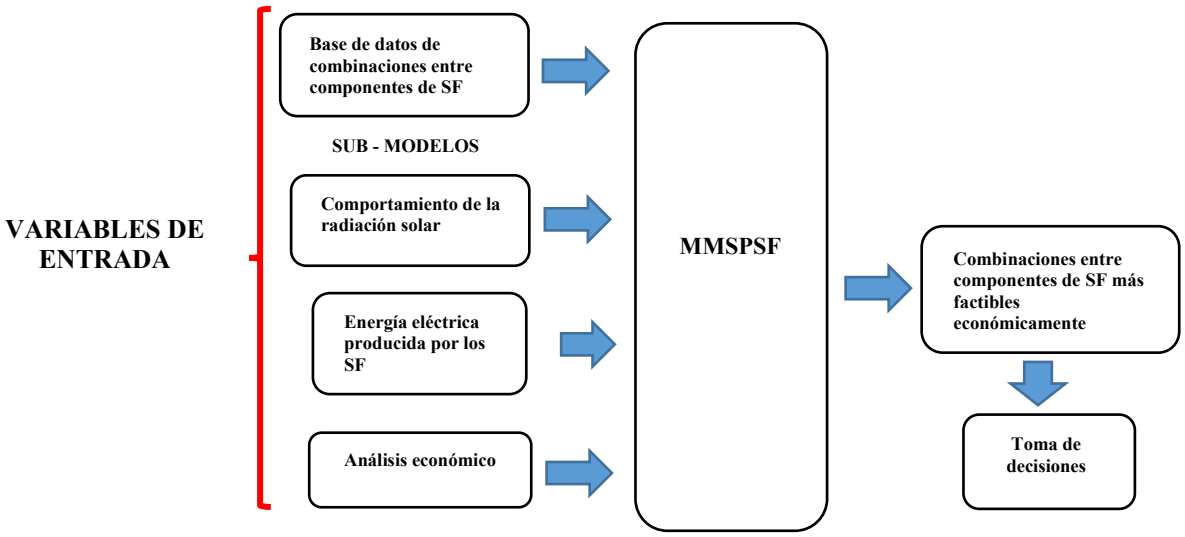



Figura 1: Estructura general del MMDSPF

El ***MMSPSF*** se divide en tres bloques principales. En la figura 2 se muestra la composición general del ***MMSPSF*** por bloques:

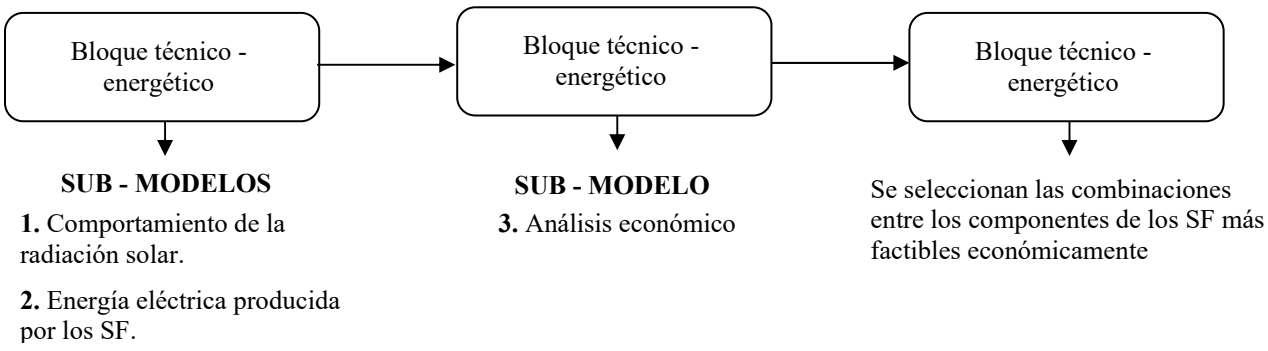



Figura 2: Composición general del ***MMSPSF*** por bloques

## 3. FORMULACIÓN CONCEPTUAL DEL *MMDSPSF* (Bloque matemático)

El problema a resolver, consiste en determinar las opciones disponibles entre las existentes en el mercado de Instalaciones Solares Fotovoltaicas, para la posterior selección entre las factibles, lo cual puede resolverse a través de un modelo matemático dirigido a la generación de opciones, para la posterior toma de decisiones, como el que a continuación se presenta:

**Variables que intervienen en la solución del problema**

Existen tres tipos de variables que intervienen en la solución del problema:

**- Principales variables de entrada:** A efectos del presente trabajo se tiene como principales variables de entrada se tienen la Energía Demandada en el caso de estudio (***E*<sub>D</sub>**) y el valor promedio de la radiación solar (***HSP***).

**- Variables de decisión:** En este caso, constituyen variables de decisión las combinaciones entre panel / inversor a seleccionar.

**- Indicadores de selección:** En este caso, como indicadores de selección se emplean el Valor actual Neto (***VAN***), la Tasa Interna de Retorno (***TIR***), el Tiempo de Recuperación de la Inversión (***TRI***) y el Costo Nivelado de la Energía (***LEC***).

**- Otros datos significativos:** Como otros datos significativos se consideran los Valores deseados ($V^d$) de los indicadores de selección.

**Formulación de la función multi – criterio**

Del análisis previo del problema a resolver, teniendo en cuenta que las opciones a seleccionar son las combinaciones panel / inversor, disponibles, en aras de satisfacer la demanda energética del caso de estudio; la Función Multi - Criterio (***FMC***), dada por la distancia de Chebyshov, donde el objetivo principal es minimizar el máximo error entre los indicadores de selección y los valores deseados, como se expresa en la ecuación 1:

$$Z = mín\left\{\frac{\left|C_{1ij} - C_1^d\right|}{C_1^d}; \frac{\left|C_{2ij} - C_2^d\right|}{C_2^d}; \frac{\left|C_{3ij} - C_3^d\right|}{C_3^d}; \frac{\left|C_{4ij} - C_4^d\right|}{C_4^d}; .....; \frac{\left|C_{nij} - C_n^d\right|}{C_n^d}\right\} \qquad (1)$$

Donde $C_1$, $C_2$, $C_3$, $C_4$, $C_n$ corresponde a los criterios a considerar en la selección de la solución óptima.

A efectos del presente trabajo y tomando en consideración los indicadores establecidos en el acápite 2.1.1, se formula la siguiente Función Multi – criterio (ecuación 2):

$$Z = mín\left\{\frac{\left|VAN_{ij} - VAN^d\right|}{VAN^d}; \frac{\left|TIR_{ij} - TIR^d\right|}{TIR^d}; \frac{\left|TRI_{ij} - TRI^d\right|}{TRI^d}; \frac{\left|LEC - LEC^d\right|}{LEC^d}\right\} \qquad (2)$$

Donde los sufijos ***ij***, representan a los subíndices que identifican a los componentes del Sistema Fotovoltaico (paneles + inversor). A los efectos de selección como valores deseados, el ***VAN*** y la ***TIR deben ser iguales a sus valores máximos***, y ***en el caso de TRI y LEC, como condiciones deseadas, se consideran los valores mínimos***. Esto puede observarse en las ecuaciones 3 y 4.

$$\left\{VAN^d; TIR^d\right\} = \left\{VAN_{máx}; TIR_{máx}\right\} \qquad (3)$$

$$\left\{TRI^d; LEC^d\right\} = \left\{TRI_{\text{mín}}; LEC_{mín}\right\} \qquad (4)$$

Donde $VAN_{máx}$, $TIR_{máx}$, son los valores máximos del ***Valor Actual Neto*** (***VAN***) y la ***Tasa Interna de Retorno*** (***TIR***). $LEC_{mín}$ es el valor mínimo del ***Costo Nivelado de la Electricidad*** y $TRI_{mín}$ es el valor mínimo del ***Tiempo de Recuperación de la Inversión***.

## 4. RESTRICCIONES DEL MODELO MATEMÁTICO

Como segunda fase, para el aseguramiento de los valores deseados de las principales variables de entrada, se establecen las siguientes restricciones en aras de seleccionar las mejores combinaciones entre los componentes del Sistema Fotovoltaico (ecuaciones 5, 6 y 7):

$$\{E \geq E_D\} \quad (5)$$

Donde ***E*** es la energía producida por cada opción de Sistema Fotovoltaico, en kWh y $E_D$ es la energía eléctrica demandada en el caso de estudio, También en kWh.

$$5 < TRI < 8 \text{años} \quad (6)$$

Por experiencia en adquiridas por empresas dedicadas a la proyección de instalaciones energéticas que aprovechan las Fuentes Renovables de Energía (***FRE***), durante el proceso de monitoreo se ha observado que el Tiempo de Recuperación de la Inversión (***TRI***) se encuentra entre los 6 y los 8 años, por lo que la ecuación 6 puede constituir otra restricción del modelo matemático.

$$A_{PF} < A_{disp} \quad (7)$$

Donde $A_{PF}$ es el área total que debe ocupar el parque fotovoltaico en $m^2$ y $A_{disp}$, es el área del terreno, disponible para emplazar el sistema fotovoltaico, también en $m^2$.

## 5. PROCESO DE SOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y SELECCIÓN DE LA COMBINACIÓN ENTRE COMPONENTES MÁS FACTIBLE TÉCNICO – ENERGÉTICA Y ECONÓMICAMENTE (COMBINACIÓN ÓPTIMA)

La selección de la combinación más factible requiere de la previa confección de una base de datos de todas las combinaciones que se van a analizar. El proceso de selección de las combinaciones se realiza en dos etapas, como se muestra en las figuras 3 y 4.

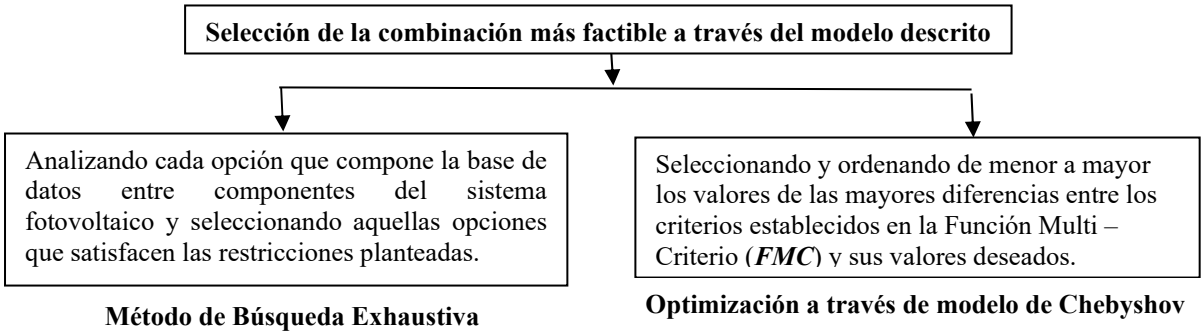



Figura 3: Proceso de selección de las combinaciones entre componentes más factible

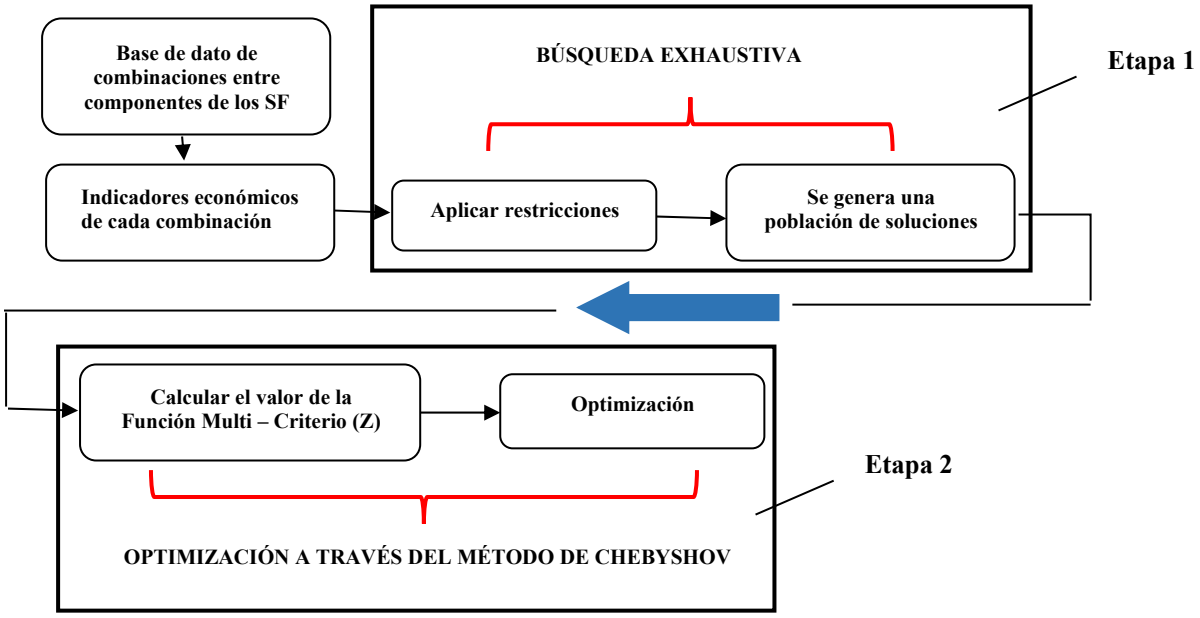



Figura 4: Secuencia de solución del ***MMSPSF***

Una vez concluida la etapa de definición, formulación y proceso de solución del ***MMSPSF***, a continuación, se realiza el análisis de los sub – modelos que lo componen:

## 6. DESCRIPCIÓN DE LOS SUB – MODELOS

**sub – modelo comportamiento de la radiación solar**

Antes de dimensionar o evaluar el desempeño de cualquier instalación fotovoltaica, uno de los principales elementos es conocer el comportamiento del recurso energético, en este caso en específica, la radiación solar. Durante la etapa de Evaluación del comportamiento del recurso energético (en este caso, la radiación solar), se recopilan y procesan estadísticamente los datos provenientes de mediciones realizadas previamente o de la consulta de mapas y bases de datos internacionales.

## 7. SUB – MODELO ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (*SF*)

La producción total de energética del parque fotovoltaico diariamente (***E***), se determina a través de la ecuación 8:

$$E = n \cdot HSP \cdot A_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{eléc} \left[\text{kWh/día}\right] \qquad (8)$$

Donde ***n*** es la cantidad de paneles, ***HSP* (Hora Solar Pico)** el valor de la radiación solar en kWh/m$^2$ - día, $A_p$ es el área del panel, $\eta_p$ es la eficiencia del panel y $\eta_{eléc}$ es la eficiencia eléctrica, que es la misma eficiencia del inversor que se seleccione. La energía producida anualmente por los SF ($E_{anual}$) sería:

$$E_{anual} = 365 \cdot E \cdot \frac{HRS}{8760} \left[\text{kWh/año}\right] \qquad (9)$$

Donde ***365*** representa la cantidad de días del año; ***HRS*** es la cantidad de horas que se puede aprovechar la energía en los ***365*** días del año; ***8760*** representa la cantidad total de horas del año.

**Sub – modelo Análisis económico (Bloque Económico)**
En este sub – modelo se determinan los valores de los indicadores económicos como el ***VAN***, la ***TIR***, el ***TRI*** y el ***LEC***.
En todas las literaturas relacionadas con la especialidad de economía, pueden encontrarse las ecuaciones y formas para determinar el ***VAN***, la ***TRI*** y el ***TIR***, no así el Costo Nivelado de la Energía (***LEC***), el cual puede determinarse a través de la ecuación 10.

$$LEC = \frac{\sum_{1}^{j} CA}{\sum_{1}^{j} EA}\left[\text{UM/kWh}\right] \qquad (10)$$

Donde: ***ΣCA*** es la sumatoria de los costos de inversión anuales, en unidades monetarias (generalmente USD); ***O&M*** representa a las actividades de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la instalación, desde 1 hasta *j* y ***ΣEA*** es la sumatoria de la producción energética producida anualmente en kWh/año, desde 1 hasta *j*. Los términos de la ecuación 9 se determinan a través de las ecuaciones 11 y 12

$$CA = \frac{Inv + O\,\&\,\text{M}}{\left(1+n\right)^{-j}} \qquad (11)$$

$$EA = \frac{E}{\left(1+n\right)^{-j}} \qquad (12)$$

Donde ***n*** es la tasa de descuento anual y ***j*** representa los años de vida útil de la instalación fotovoltaica (20 años)

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Comportamiento de la radiación solar en Cuba**

Cuba se caracteriza por tener una radiación solar promedio de 5 kWh/m$^2$ – día [9].
Por esta razón y dada la carencia de mediciones de la radiación solar en el caso de estudio, para el desarrollo de los cálculos, se emplea este valor (5 kWh/m$^2$ – día).

**Producción total de energía del parque fotovoltaico**

La producción total de energética del parque fotovoltaico diariamente (***E***), se determina a través de la ecuación 8. Para la selección de los sistemas se dispone 6 modelos de paneles fotovoltaicos y 5 modelos de inversores. **La cantidad total de combinaciones se obtiene multiplicando la cantidad de modelos de paneles por la cantidad de modelo de inversores, de lo cual resulta que se dispone de 30 combinaciones**.
En la tabla 2 se presentan los modelos de peneles fotovoltaicos e inversores disponibles, con sus respectivos valores de eficiencia.

Tabla 2. Modelos de paneles fotovoltaicos e inversores disponibles

| Paneles fotovoltaicos | | Inversores | |
|---|---|---|---|
| Modelo | Eficiencia (%) | Modelo | Eficiencia (%) |
| TD-(455)TRG-108HC | 22,8 | JST100KW | 98,7 |
| JS182M144HC-550W | 21,8 | JST90KW | 98,7 |
| SL5N108 435W Bifacial Full black | 22,3 | PPCS 50K | 97,3 |
| JFS2-144-18X 530W | 20,5 | PPCS 100K | 97,3 |
| Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 20,74 | RCM-100-TP-M | 98,6 |
| AG-M144 - 450 Wp | 20,3 | | |

Partiendo de la configuración previa de los Sistemas Fotovoltaicos (determinación de la cantidad total de paneles fotovoltaicos en función de las características técnicas de cada inversor), a continuación, en la tabla 3 se presentan las combinaciones panel / inversor de las cuales se dispone:

Tabla 3. combinaciones panel / inversor disponibles

| Combinación | Paneles fotovoltaicos | | Inversores | |
|---|---|---|---|---|
| | Modelo | Cantidad total | Modelo | Cantidad. |
| 1 | TD-(455)TRG-108HC | 220 | JST100KW | 1 |
| 2 | TD-(455)TRG-108HC | 176 | JST90KW | 1 |
| 3 | TD-(455)TRG-108HC | 168 | PPCS 50K | 2 |
| 4 | TD-(455)TRG-108HC | 168 | PPCS 100K | 1 |
| 5 | TD-(455)TRG-108HC | 230 | RCM-100-TP-M | 1 |
| 6 | JS182M144HC-550W | 204 | JST100KW | 1 |
| 7 | JS182M144HC-550W | 204 | JST90KW | 1 |
| 8 | JS182M144HC-550W | 204 | PPCS 50K | 2 |
| 9 | JS182M144HC-550W | 204 | PPCS 100K | 1 |
| 10 | JS182M144HC-550W | 240 | RCM-100-TP-M | 1 |
| 11 | SL5N108 435W Bifacial Full black | 276 | JST100KW | 1 |
| 12 | SL5N108 435W Bifacial Full black | 276 | JST90KW | 1 |
| 13 | SL5N108 435W Bifacial Full black | 276 | PPCS 50K | 2 |
| 14 | SL5N108 435W Bifacial Full black | 276 | PPCS 100K | 1 |
| 15 | SL5N108 435W Bifacial Full black | 324 | RCM-100-TP-M | 1 |
| 16 | JFS2-144-18X 530W | 228 | JST100KW | 1 |
| 17 | JFS2-144-18X 530W | 228 | JST90KW | 1 |
| 18 | JFS2-144-18X 530W | 228 | PPCS 50K | 2 |
| 19 | JFS2-144-18X 530W | 228 | PPCS 100K | 1 |
| 20 | JFS2-144-18X 530W | 308 | RCM-100-TP-M | 1 |
| 21 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 250 | JST100KW | 1 |
| 22 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 240 | JST90KW | 1 |
| 23 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 192 | PCS 50K | 2 |

Tabla 3. Continuación

| Combinación | Paneles fotovoltaicos | | Inversores | |
|---|---|---|---|---|
| | Modelo | Cantidad total | Modelo | Cantidad. |
| 24 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 240 | PPCS 100K | 1 |
| 25 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | 280 | RCM-100-TP-M | 1 |
| 26 | AG-M144 - 450 W | 204 | JST100KW | 1 |

En la tabla 4 se presentan los valores de la producción energética diaria de cada combinación

Tabla 4. Producción energética diaria de cada combinación en kWh/día considerando que la radiación solar promedio es de 5 kW/m$^2$ – día

| Combinación | Panel | Modelo de inversor | Energía demandada (kWh/día) | Producción energética (kWh/día) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TD-(455)TRG-108HC | JST100KW | | 499,4 |
| 2 | TD-(455)TRG-108HC | JST90KW | | **399,5** |
| 3 | TD-(455)TRG-108HC | PPCS 50K | | **365,8** |
| 4 | TD-(455)TRG-108HC | PPCS 100K | | **376** |
| 5 | TD-(455)TRG-108HC | RCM-100-TP-M | | 521,6 |
| 6 | JS182M144HC-550W | JST100KW | | 552,7 |
| 7 | JS182M144HC-550W | JST90KW | | 552,7 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8 | JS182M144HC-550W | PPCS 50K | 430 | 544,9 |
| 9 | JS182M144HC-550W | PPCS 100K | | 544,9 |
| 10 | JS182M144HC-550W | RCM-100-TP-M | | 649,6 |
| 11 | SL5N108 435W Bifacial Full black | JST100KW | | 592,3 |
| 12 | SL5N108 435W Bifacial Full black | JST90KW | | 592,3 |
| 13 | SL5N108 435W Bifacial Full black | PPCS 50K | | 583,9 |
| 14 | SL5N108 435W Bifacial Full black | PPCS 100K | | 583,9 |
| 15 | SL5N108 435W Bifacial Full black | RCM-100-TP-M | | 694,6 |
| 16 | JFS2-144-18X 530W | JST100KW | | 595,1 |
| 17 | JFS2-144-18X 530W | JST90KW | | 595,1 |
| 18 | JFS2-144-18X 530W | PPCS 50K | | 586,7 |
| 19 | JFS2-144-18X 530W | PPCS 100K | | 586,7 |
| 20 | JFS2-144-18X 530W | RCM-100-TP-M | | 803,1 |
| 21 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | JST100KW | | 499 |
| 22 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | JST90KW | | 479 |
| 23 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | PPCS 50K | | **377,8** |
| 24 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | PPCS 100K | | 472,2 |
| 25 | Solar Ocean HS182-108-MHO 405 | RCM-100-TP-M | | 558,3 |
| 26 | AG-M144 - 450 W | JST100KW | | 527,3 |
| 27 | AG-M144 - 450 W | JST90KW | | 527,3 |
| 28 | AG-M144 - 450 W | PPCS 50K | | 519,8 |
| 29 | AG-M144 - 450 W | PPCS 100K | | 519,8 |
| 30 | AG-M144 - 450 W | RCM-100-TP-M | | 619,7 |

Como se observa en la tabla 4, sombreadas en ***amarillo*** se encuentran las combinaciones que no satisfacen la demanda energética (combinaciones 2, 3, 4 y 23), por lo que quedan eliminadas para los siguientes cálculos. Una vez obtenida la producción de energía eléctrica de cada combinación, se procede con el cálculo económico a través del bloque económico y el sub – modelo ***"Análisis económico"***, el cual se presenta a continuación:

## 9. ANÁLISIS ECONÓMICO

Teniendo en cuenta el precio del equipamiento en el mercado, la cantidad de componentes por combinación (tabla 3), así como considerando costos adicionales (***fletes, aduana, transportación, transportación hasta el sitio de montaje, costo de mano de obra por concepto de montaje y un 20% de la inversión para la solución de imprevistos***), se obtienen los valores de inversión inicial presentados en la tabla 5.

Tabla 5. Costo de inversión inicial para cada combinación

| Combinación | Costo de Inversión inicial (USD) |
|---|---|
| 1 | 27 720,00 |
| 5 | 30 508,00 |
| 6 | 31 249,68 |
| 7 | 30 985,68 |
| 8 | 88 097,68 |
| 9 | 74 237,68 |
| 10 | 37 496,80 |
| 11 | 45 164,64 |
| 12 | 44 900,64 |
| 13 | 102 012,64 |
| 14 | 88 152,64 |
| 15 | 53 767,36 |
| 16 | 33 454,80 |

| | |
|---|---|
| 17 | 33 190,80 |
| 18 | 90 302,80 |
| 19 | 76 442,80 |
| 20 | 44 866,80 |
| 21 | 28 572,00 |
| 22 | 27 408,00 |
| 24 | 70 660,00 |
| 25 | 33 076,00 |
| 26 | 52 522,80 |
| 27 | 52 522,80 |
| 28 | 109 370,80 |
| 29 | 95 510,80 |
| 30 | 62 524,00 |

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 5, y considerando que la vida útil de la instalación es de 20 años, en la tabla 6 se presentan los valores de los Indicadores económicos para cada combinación. Para ello, también se considera una tasa de descuento anual del 12%.

Tabla 6. Valores de los Indicadores económicos de cada combinación

| Combinación. | VAN (USD) | TRI (años) | TIR (%) | LEC (USD/kWh) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 547,02 | 6,8 | 17 | **0,10** |
| 5 | 49 712,36 | 3,7 | 26 | 0,11 |
| 6 | 44 365,81 | 5,7 | 23 | **0,10** |
| 7 | 46 268,90 | 5,4 | 24 | **0,10** |
| 8 | 253445,14 | 2,7 | 44 | 0,30 |
| 9 | 171151,26 | 3,4 | 36 | 0,25 |
| 10 | 34 947,79 | 7,9 | 14 | 0,11 |
| 11 | 79 494,93 | 3,4 | 28 | 0,14 |
| 12 | 77 454,16 | 3,5 | 27 | 0,14 |
| 13 | 336065,36 | 2 | 50 | 0,32 |
| 14 | 253771,47 | 2,7 | 44 | 0,28 |
| 15 | 49 608,53 | 5,6 | 15 | 0,14 |
| 16 | 29 683,59 | 5,9 | 14 | **0,10** |
| 17 | 30 372,30 | 5,6 | 14 | **0,10** |

Tabla 6. Continuación

| Combinación. | VAN (USD) | TRI (años) | TIR (%) | LEC (USD/kWh) |
|---|---|---|---|---|
| 17 | 30 372,30 | 5,6 | 14 | **0,10** |
| 18 | 266538,07 | 2,2 | 45 | 0,28 |
| 19 | 184244,18 | 2,6 | 37 | 0,24 |
| 20 | 77 192,57 | 3,5 | 27 | **0,10** |
| 21 | 63 668,43 | 2,8 | 35 | **0,10** |
| 22 | 73 053,82 | 2,5 | 41 | **0,10** |
| 24 | 149908,75 | 2,9 | 33 | 0,27 |
| 25 | 31 200,99 | 5,5 | 15 | 0,11 |
| 26 | 42 218,94 | 6,1 | 13 | 0,18 |
| 27 | 40 651,44 | 6,3 | 12 | 0,18 |
| 28 | **379754,51** | **1,9** | **52** | 0,38 |
| 29 | 297460,62 | 2,1 | 47 | 0,34 |
| 30 | 101601,16 | 3,7 | 26 | 0,18 |

Como puede observarse en la tabla 6, en todas las combinaciones el Valor Actual Neto (***VAN***) es positivo, por lo que todas las combinaciones se consideran factibles económicamente. Por otro lado, la Tasa Interna

de Retorno (**TIR**) en todas las combinaciones es superior a la tasa de descuento empleada para los cálculos (***12%***), lo cual constituye otro elemento para concluir la que todas las combinaciones son factibles económicamente. Una vez determinados los Indicadores económicos de cada combinación se procede a la selección de la combinación óptima, lo cual se realiza a continuación a través del bloque matemático.

**Determinación de la combinación óptima**

Como se explicó en el segundo acápite, la combinación óptima se obtiene en dos etapas, tal como se muestra en la figura. A continuación, se desarrolla cada una de las etapas de selección de la combinación óptima.

**Primera etapa de la selección de la combinación óptima**

De acuerdo con la figura 4, la primera etapa consiste en analizar cada combinación y aplicar las ecuaciones 5 y 6, las cuales constituyen restricciones del modelo matemático (método de búsqueda exhaustiva). Se analizaron un total de 26 combinaciones, de un total de 30 (se rechazaron cuatro combinaciones al concluir el proceso de determinación de la producción energética, pues las configuraciones ***2***, ***3***, ***4*** y ***23 NO SATISFACEN LA DEMANDA ENERGÉTICA***). De las 26 combinaciones restantes, 10 de ellas satisfacen la ecuación 2.6 (el Tiempo de Recuperación de la Inversión se encuentra entre 5 y 8 años), las cuales se presentan en la tabla 7 con sus respectivos indicadores económicos.

Tabla 7 Combinaciones que satisfacen las restricciones

| Combinación | VAN (USD) | TRI (años) | TIR (%) | LEC (USD/kWh) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 547,02 | 6,8 | 17% | 0,1 |
| 6 | 44 365,81 | 5,7 | 23% | 0,1 |
| 7 | 46 268,9 | 5,4 | 24% | 0,1 |
| 10 | 34 947,79 | 7,9 | 14% | 0,11 |
| 15 | 49 608,53 | 5,6 | 15% | 0,14 |
| 16 | 29 683,59 | 5,9 | 14% | 0,1 |
| 17 | 30 372,83 | 5,6 | 14% | 0,1 |
| 25 | 31 200,39 | 5,5 | 15% | 0,11 |
| 26 | 42 218,94 | 6,1 | 13% | 0,18 |
| 27 | 40 651,44 | 6,3 | 12% | 0,18 |

Por otro lado, se debe comprobar si estas 10 combinaciones satisfacen la ecuación 7. En la tabla 8 se muestran los valores de área disponible de la cubierta y del área que debe ocupar el parque fotovoltaico según la combinación.

Tabla 8 Área de la cubierta que debe ocupar cada combinación

| Combinación | Área disponible de la cubierta $A_{disp.}$ ($m^2$) | Área que debe ocupar el parque fotovoltaico $A_{PF}$ ($m^2$) |
|---|---|---|
| | 723 | |
| 1 | | 440 |
| 6 | | 526,3 |
| 7 | | 526,3 |
| 10 | | 619,2 |
| 15 | | 631,8 |
| 16 | | 588,2 |
| 17 | | 588,2 |
| 25 | | 546 |

| | | |
|---|---|---|
| 26 | | 450,8 |
| 27 | | 450,8 |

Como se observa en la tabla 3.19, en todas combinaciones el área que debe ocupar el parque fotovoltaico es menor que el área de cubierta disponible, por lo que cualquiera de estas combinaciones puede ser instalada, y así queda satisfecha la restricción de la ecuación 7.

**Segunda etapa de la selección de la combinación óptima**

La segunda etapa consiste en determinar el valor de la Función Multi – Criterio (ecuación 2) y realizar el proceso de optimización para obtener finalmente la combinación óptima. Como datos de entrada para la segunda etapa de selección, se necesitan los valores deseados de cada uno de los criterios de la función, definidos por las ecuaciones 3 y 4. La tabla 9 muestra estos valores deseados, previo análisis de todas las combinaciones (26 combinaciones).

Tabla 9. Valores deseados de los indicadores de la Función Multi - Criterio

| Indicador | Valor deseado |
|---|---|
| $VAN^d = VAN_{máx}$ | 379 754,51USD (Combinación 28) |
| $TIR^d = TIR_{máx}$ | 52% (Combinación 28) |
| $TRI^d = TRI_{mín}$ | 1,9 años (Combinación 28) |
| $LEC^d = LEC_{mín}$ | 0,10 USD/kWh (Combinaciones 1, 6, 7, 16, 17, 20, 21 y 22) |

A partir de los valores deseados presentados en la tabla 10, se determinan las diferencias entre los indicadores de la Función Multi – Criterio ***Z*** y sus valores deseados, para cada una de las combinaciones seleccionadas. Adicionalmente, se presentan los valores de la Función Multi – Criterio ***Z***, que corresponden a los valores de las máximas diferencias

Tabla 10. Valores de las diferencias entre los indicadores y valores de la Función Multi – Criterio Z

| Combinación | Diferencias entre los indicadores y sus valores deseados | | | | Z |
|---|---|---|---|---|---|
| | ΔVAN | ΔTRI | ΔTIR | ΔLEC | |
| 1 | -0,919 | **2,579** | -0,675 | 0 | 2,579 |
| 6 | -0,883 | **2** | -0,568 | 0 | 2 |
| 7 | -0,878 | **1,842** | -0,546 | 0 | 1,842 |
| 10 | -0,908 | **3,158** | -0,724 | 0,1 | 3,158 |
| 15 | -0,869 | **1,947** | -0,721 | 0,4 | 1,947 |
| 16 | -0,922 | **2,105** | -0,735 | 0 | 2,105 |
| 17 | -0,920 | **1,947** | -0,724 | 0 | 1,947 |

Tabla 10. Continuación

| Combinación | Diferencias entre los indicadores y sus valores deseados | | | | Z |
|---|---|---|---|---|---|
| | ΔVAN | ΔTRI | ΔTIR | ΔLEC | |
| 25 | -0,918 | **1,895** | -0,715 | 0,1 | 1,895 |
| 26 | -0,889 | **2,21** | -0,7615 | 0,8 | 2,21 |
| 27 | -0,893 | **2,316** | -0,77 | 0,8 | 2,316 |

Como se observa en la tabla 10, los valores sombreados en amarillo corresponden a la máxima diferencia entre los indicadores y sus valores deseados, y por ende, constituyen el valor de la Función Multi – Criterio ***Z***. Para obtener la combinación óptima, los valores de la Función Multi – Criterio ***Z***, presentados en la tabla 10 se ordenan de menor a mayor (es lo que se llama minimizar la máxima diferencia, y constituye el proceso de optimización de la variable ***Z***), y la combinación que queda en primer lugar, es la combinación óptima. La tabla 11 muestra los valores de la variable ***Z*** ordenados de menor a mayor.

Tabla 11. Valores de la variable Z (valor de la Función Multi – Criterio) ordenados de menor a mayor

| Combinación | Diferencias entre los indicadores y sus valores deseados | | | | Z |
|---|---|---|---|---|---|
| | ΔVAN | ΔTRI | ΔTIR | ΔLEC | |

| **7** | **-0,878** | **1,842** | **-0,546** | **0** | **1,842** |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | -0,918 | 1,895 | -0,715 | 0,1 | 1,895 |
| 15 | -0,869 | 1,947 | -0,721 | 0,4 | 1,947 |
| 17 | -0,920 | 1,947 | -0,724 | 0 | 1,947 |
| 6 | -0,883 | 2 | -0,568 | 0 | 2 |
| 16 | -0,922 | 2,105 | -0,735 | 0 | 2,105 |
| 26 | -0,889 | 2,21 | -0,7615 | 0,8 | 2,21 |
| 27 | -0,893 | 2,316 | -0,77 | 0,8 | 2,316 |
| 1 | -0,919 | 2,579 | -0,675 | 0 | 2,579 |
| 10 | -0,908 | 3,158 | -0,724 | 0,1 | 3,158 |

Como se observa en la tabla 11, a partir de la aplicación del modelo de Chebyshov, resulta que la combinación óptima es el número 7 (combinación que queda en primer lugar después de ordenar los valores de la variable ***Z***), pero esto no implica que el decisor no puede seleccionar otra combinación dentro del grupo de las combinaciones más factibles presentadas en la tabla 11. La siguiente tabla 12 muestran características técnicas del equipamiento que compone la combinación óptima (combinación 7).

Tabla 12. Características técnicas del equipamiento que compone la combinación óptima

| Paneles solares | | Inversor (s) | |
|---|---|---|---|
| Modelo | JS182M144HC-550Wp | Modelo | JST90KW |
| Tipo de panel | Monocristalino | Potencia máxima | 135 kW |
| Potencia unitaria | 550 Wp | Cantidad | 1 |
| Cantidad total de peneles | 204 paneles | Rango de voltaje MPPT | 200 – 850 V |
| Potencia total del sistema fotovoltaico a instalar | 112,2 kW (204 paneles) | Frecuencia de la corriente | 50, 60 Hz |
| Cantidad de paneles a conectar en serie | 17 paneles | Voltaje nominal de la red | 400 V |
| Cantidad de paneles a conectar en paralelo | 12 paneles | Eficiencia máxima | 98,7% |
| Eficiencia de un panel | 21,8% | | |

## 10. CONCLUSIONES

El principal propósito del presente trabajo es seleccionar la combinación entre componentes de Sistema Fotovoltaico (paneles e inversor) más factible técnica, energética y económicamente, a partir del empleo del modelo de Chebyshov, para el suministro de electricidad al Policlínico Abel Santamaría Cuadrado, llegándose a las siguientes conclusiones:

**1.** El modelo matemático empleado en el desarrollo del trabajo está diseñado para evitar el sobredimensionamiento excesivo de la instalación energética.

**2.** Se aplicó satisfactoriamente el ***MMSPSF*** al policlínico Abel Santamaría Cuadrado, donde se obtuvieron un total de 30 combinaciones entre componentes de Sistema Fotovoltaico, de ellas, 10 resultaron ser las más factibles desde el punto de vista económico.

**3.** A través del modelo matemático quedó establecida la cantidad óptima de paneles e inversores a emplear para el suministro de electricidad al policlínico.

**4.** El trabajo realizado sienta las bases para llevar a cabo el estudio, dimensionamiento y selección de los Sistemas Fotovoltaicos, facilitando el desarrollo de futuras investigaciones.

.

## REFERENCIAS

1. Medrano Hernández J.A., "Dimensionamiento y selección de Sistemas de Bombeo Eolo – Eléctricos," Tesis doctoral, Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, 2020.

2 Falcón Roque E. J., "Desarrollo de un modelo de planificación energética sostenible usando técnicas de optimización multi-criterio: Una aplicación a la provincia da Cajamarca, Perú," Tesis doctoral, Madrid, España, 2018.

3. Morales Salas J., "Modelo para el dimensionado, simulación y selección de sistemas integrados de energía renovable en zonas aisladas," tesis doctoral, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba, 2015.

4. Arévalo B., Esperanza L., "Diseño de un modelo conceptual de autoorganización para el logro de actuaciones conjuntas en las organizaciones empresariales," 2014.

5. Nasseri S.H., Yazdani A., Salokolaei D.D., "A primal simplex algorithm for solving linear programming problem with grey cost coefficients," Journal of New Researches in Mathematics, vol. 1, No.4, 2016.

6. Corrente S., Greco S., Slowinski R., "Multiple Criteria Hierarchy Process for ELECTRE Tri methods," European Journal of Operational Research, 2015.

7. Martínez Valdés O., Arzola Ruiz. J., "Exploration of variable codes algorithm for linings materials and its thickness selection of steel casting ladles," IEEE Latin America Transactions, vol. 15, No. 8, 2017.

8. Ching Ter C., "Multi-choice goal programming model for the optimal location of renewable energy facilities," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015.

9. Arzola Ruiz J., "Sistemas de Ingeniería," Editorial Félix Varela, 2012

10. Díaz Santos R., Santos Fuentefría A., Castro Fernández M., Vilaragut Llanes Miriam., Castro Fernández M., Vilaragut Llanes Miriam, "Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica," Ingeniería Energética, vol. 39, no. 3, pp. 146 – 156, 2018.

**Sobre los autores**

**José Augusto Medrano Hernández:** Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Auxiliar del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Miembro de la junta directiva provincial de la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar).

**Joel Morales Salas:** Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Auxiliar y director del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

**Conrado Moreno Figueredo:** Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Titular del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Miembro de la junta directiva nacional de la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar) y Vice – presidente de honor de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# UTILIZACIÓN DEL CÁLCULO TÉRMICO NORMATIVO DIGITALIZADO EN EL ANÁLISIS DE REGÍMENES COMPLEJOS

**Alberto E. Calvo-González[1], Cesar J. González-Rondón[1], Luis Aballe-Infante[1], Nelson Reyes-Bécquer[1], José R. Rodríguez Bertrán[2], Roberto Vizcón-Toledo[3]**

[1]CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba,
[2]Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana. La Habana, Cuba
[3]Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba
[1]e-mail: aegcalvog@gmail.com

**RESUMEN**

En este trabajo se realizó el estudio del comportamiento de una caldera de una termoeléctrica en un régimen complejo, fuera de diseño, ya que aprovecha la existencia de una fuente externa de vapor saturado y seco, utilizando la adaptación del modelo del Cálculo Térmico Normativo digitalizado en hoja de cálculo EXCEL. Este vapor se sobrecalentará en el sistema de sobrecalentamiento del vapor de la misma. El análisis se realizó comprobando los resultados del modelo ajustado con los regímenes de carga estipulados, se pasó a calcular el régimen complejo para las cargas máxima y mínima de la turbina y variando el aprovechamiento del vapor externo desde un 20% hasta un 5%, con intervalos de 5%, la sustitución del vapor principal a la turbina. Resultando que el consumo de combustible de la caldera es siempre menor en el régimen complejo que trabajando de forma habitual.

**PALABRAS CLAVES:** Calderas, digitalización, modelación, cálculo térmico normativo, régimen complejo.

## USE OF DIGITIZED NORMATIVE THERMAL CALCULATION IN THE ANALYSIS OF COMPLEX REGIMES

**ABSTRACT**

In this work, the study of the behavior of a Power Plant boiler in a complex regime, out of design, since it takes advantage of the existence of an external source of saturated and dry steam, using the adaptation of the model of the Normative Thermal Calculation digitized in an EXCEL spreadsheet.This steam will be superheated in the steam superheating system of the boiler. The analysis was carried out by checking the results of the model adjusted with the stipulated load regimes, the complex regime for the maximum and minimum loads of the turbine was calculated varying the use of external steam from 20% to 5%, with intervals of 5%, substituing of the main steam to the turbine. As a result, the fuel consumption of the boiler is always lower in the complex regime than in the usual operation.

**KEY WORDS:** Boilers, digitalization, modeling, Normative Thermal Calculations, complex regime.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Cálculo Térmico Normativo de Calderas [1,2] ha sido digitalizado [3], digitalizando a su vez sus diagramas y nomogramas de cálculo y mediante la utilización de la hoja de cálculo EXCEL. Con él se han diseñado y calculado en Cuba muchas calderas de bagazo, asi como también adaptaciones en la industria eléctrica, Con ello se ha obtenido una poderosa herraminta de cálculo. El poder aprovechar en la caldera de una central termoeléctrica una fuente de calor externa, es sumamente ventajoso, porque contribuye a disminuir el consumo de combustible fósil haciendo más barata la generación eléctrica disminuyendo el índice combustible por kilowatt-hora generado, y por ende, la contaminación atmosférica por gases de efecto invernadero que la combustión de éste produce. Si se tiene disponible un flujo de vapor saturado seco que puede ser aprovechado en la central termoeléctrica y dado sus parámetros, éste puede ser aprovechado en la caldera que alimenta a un turbogenerador. Cuando a un sistema de generación de vapor se le suministra un flujo de vapor de una fuente externa, entra en la categoría de régimen complejo, debido a que el sistema trabajará fuera de su régimen nominal de

operación, para el cual fue diseñado. Se desconoce cómo se comportarían los principales parámetros técnicos de la caldera al incorporarle un flujo de vapor saturado y seco, producido por una fuente externa, a su sistema de sobrecalentamiento del vapor y que después también alimentará a la turbina. Esa es la situación problémica de esta investigación.

En la literatura aparecen estudios de regímenes complejos en la generación de vapor. Un estudio en que se pretende aumentar la eficiencia de una central subcrítica de 500MW [4] utiliza la combinación de la caldera con el sistema de extracciones regenerativas de la turbina este sistema es complejo. El vapor extraído se utiliza para elevar la temperatura del aire en el precalentador vapor-aire antes de que el aire se envíe a la caldera. Debido al aumento de la temperatura del aire en la entrada de la caldera, eleva la temperatura de los gases de combustión en la salida de la caldera. El secador de gases de combustión se utiliza para reducir la temperatura de los gases de combustión a 150 °C. Al hacerlo, se reduce el contenido de humedad del combustible, lo que da como resultado en un aumento del rendimiento de la caldera y de la eficiencia global de la central eléctrica. En su análisis parte de las limitaciones originales del diseño del esquema térmico convencional, que no permite la inclusión de otro calentador regenerativo adicional [5] y de las experiencias [6, 7, 8-11] de la utilización del precalentador de aire alimentado con vapor de extracción y la integración con secador de gases [12, 13]. Utiliza para la caldera un modelo desarrollado en [14]. Al final revisa otras formas de llevarlo a cabo [15]. El análisis económico resultante es favorable. Otro caso de sistema complejo es el presentado en Modelación dinámica del domo [16] usando un enfoque del sistema de identificación no lineal La generación de energía térmica desempeña un papel importante para satisfacer las demandas de energía actuales. Los controles eficientes y económicos de elementos cruciales como la sección de la caldera de vapor, necesitan un mecanismo de control superior para garantizar una mejor eficiencia. La identificación de la dinámica del modelo es una tarea importante debido al fuerte acoplamiento de las variables del proceso, las no linealidades en la dinámica y las restricciones en las entradas de control. Se seleccionaron diferentes condiciones de operación para estimar la dinámica no lineal de la caldera para verificar con las técnicas existentes de Hammerstein [17-20, 22] y Wiener [23-26] para estimar la dinámica del domo de la caldera en términos de estructuras de modelos no lineales. Posteriormente se modificó el marco no lineal para estimar otras no linealidades presentes en el sistema. Como resultado fueron presentadas las respuestas estimadas del modelo para comprobar la dinámica de la caldera.
En [27] se plantea otro problema complejo, predecir las futuras incrustaciones, que es un tema importante, decisivo, pero difícil, en la conservación de la energía y por lo tanto la reducción de la contaminación ambiental provocada por las termoeléctricas alimentadas con carbón. Esto es debido a la influencia característica que tiene en la eficiencia de transferencia de calor de sus calderas la escoria de la ceniza. Para la predicción de las áreas grises [18, 23] en áreas calientes, se presenta un sistema híbrido basado en descomposición modal empírica de conjuntos complementarios de modelos grises y redes de memoria a corto plazo. Esto se debe a que la serie temporal de los grados de contaminación por cenizas no es lineal ni uniforme. Los valores proyectados para el factor de limpieza se generaron luego superponiendo las predicciones y los componentes residuales. Los hallazgos experimentales respaldan la precisión y la confiabilidad del modelo y demuestran que el modelo CEEMD-GM-LSTM, funciona muy bien en el pronóstico de la situación de cenizas en la zona calentada.
Dada la situación problémica esbozada más arriba el Objetivo general seria: Determinar los principales parámetros técnicos del generador de vapor trabajando en régimen complejo a cargas mínima, de 35MW y máxima de 60MW del turbogenerador utilizando la herramienta referida al inicio. Los otros posibles regímenes complejos estarían comprendidos entre ellos. Para llevar a cabo este objetivo previamente se validó la herramienta de cómputo de [3] para todas las cargas establecidas en las cartas de régimen es decir 35; 37,5; 40; 42,5; 50; 55; y 60 MW y se comparó con ellas, con resultados satisfactorios.
El Objeto de estudio será la caldera BK-100 que alimenta un turbogenerador de vapor de 60 MW, cuyo corte seccionado aparece en la figura 1.

## 2. DESARROLLO DEL CALCULO NORMATIVO

Sobre la base de las consideraciones publicadas [3] se realizó el cálculo de un conjunto de regímenes complejos para el generador de vapor BK-100, los cuales se calcularán para la generación del vapor de la caldera a un 80%, 85%; 90% y 95% y el 100% de la circulación del flujo de vapor para las cargas extremas de la misma 60 MW y 35 MW. En ela presente ponencia por razones de espacio solo expondrán

los cálculos para la potencia máxima de 60 MW y los resultados para la potencia mínima de 35 MW aparecerán entonces sólo en los gráficos resultantes comparativos.
En este caso no es necesario repetir el cálculo de combustión ya que se parte del mismo combustible. El primer aspecto que se determina en el balance térmico es el calor disponible y posteriormente se pasa a la determinación de las pérdidas de calor que puedan presentarse en los GV, los cuales son: pérdidas con los gases de escape, pérdidas por incombustión química, pérdidas por incombustión mecánica, pérdidas de calor al exterior a través de las paredes del GV. Una vez determinada cada una de las pérdidas que puedan presentarse en el GV, se procede a calcular el valor de la eficiencia bruta. Del total de la energía disponible que entra al GV, una parte la conforman las pérdidas de calor y otra parte es realmente aprovechada por la sustancia de trabajo; esta última es el calor útil, el cual se determina a partir de la eficiencia y del calor disponible. Con el calor útil, los flujos de la sustancia de trabajo y el calor disponible se puede determinar el consumo de combustible; a partir del cual debido a las pérdidas por incombustión mecánica, se determina realmente la cantidad de combustible que se quema en el GV. Es necesario calcular el calor útil que utilizará la caldera para producir los 60 MW, o los 35 según sea el caso.

**Determinación del calor útil**

El calor útil puede ser calculado por la siguiente expresión (1):

$$Q_1 = D_{gv}\left(I_{vsc} - I_{aa}\right) + D_{fe}\left(I_{vs} - I_{aa}\right) + D_p\left(I_{ls} - I_{aa}\right) \qquad (1)$$

Donde: $D_{gv}$ es el vapor generado en la caldera para cada régimen llamado complejo, $D_{fe}$ es el flujo de vapor saturado seco proveniente de fuente externa, $D_p$ es el flujo de la purga continua, $I_{vsc}$ es la entalpia del vapor sobrecalentado, $I_{vs}$ es la entalpia del vapor saturado, $I_{aa}$ es la entalpia del agua de alimentar, $I_{ls}$ es entalpia del liquido saturado.

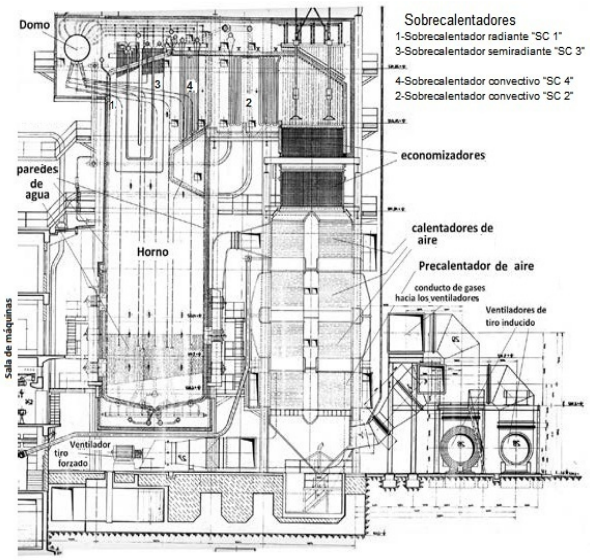



**Figura 1:** Corte seccionado de la caldera objeto de estudio que muestra las superficies principales de cálculo

El cálculo de regímenes complejos, se realizará solamente para los valores extremos de generación, máxima y mínima, del bloque del rango anteriormente empleado, o sea, 60 MW y 35 MW. Los demás quedarán comprendidos entre esos dos extremos. En la tabla 1, se muestran los parámetros necesarios para la determinación del calor útil para 60 MW. Estos datos son: $D_{total}$-Flujo de vapor que llega a la turbina, $D_{gv}$(kg/s)-Vapor generado en caldera, $D_{fe}$(kg/s)-Flujo de vapor de fuente externa, $D_p$(kg/s)-Flujo de la purga continua, $I_{aa}$(kJ/kg)-Entalpia del agua de alimentar, $l_s$(kJ/kg) -Entalpia del liquido saturado, $I_{vs}$(kJ/kg)-Entalpia del vapor saturado, $I_{vsc}$(kJ/kg)-Entalpia del vapor sobrecalentado.

**Tabla 1.** Datos para la determinación del calor útil para 60 MW

| **Parámetros** | 100% | 95% | 90% | 85% | 80% |
|---|---|---|---|---|---|
| **$D_{total}$** | 68,0556 | 68,0556 | 68,0556 | 68,0556 | 68,0556 |
| **$D_{gv}$(kg/s)** | 67,035 | 63,683 | 60,331 | 56,09 | 53,628 |
| **$D_{fe}$(kg/s)** | 0 | 3,4028 | 6,805 | 10,945 | 13,611 |
| **$D_p$(kg/s)** | 1,021 | 0,9698 | 0,9188 | 0,8542 | 0,8167 |
| **$I_{aa}$(kJ/kg)** | 877,8 | 877,8 | 877,8 | 877,8 | 877,8 |
| **$I_s$(kJ/kg)** | 1413,77 | 1413,77 | 1413,77 | 1413,77 | 1413,774 |
| **$I_{vs}$(kJ/kg)** | 2703,41 | 2703,41 | 2703,41 | 2703,41 | 2703,41 |
| **$I_{vsc}$(kJ/kg)** | 3484,86 | 3484,86 | 3484,86 | 3484,86 | 3484,86 |

A partir de los datos de la tabla 1, pueden ser obtenidos los valores del calor útil para cada uno de los regímenes desde el 100%, y los complejos, el 95, 90, 85 y 80% los cuales se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Calor Útil $Q_1$(kJ/s) necesario para cada uno de los regímenes complejos para producir 60 MW

| **Parámetros** | 95% | 90% | 85% | 80% |
|---|---|---|---|---|
| **$Q_1$(kJ/s)** | 169204,9402 | 163098,4818 | 155240,7768 | 150885,5651 |

**Determinación del Consumo de combustible para cada régimen complejo hasta el 20 % de sustitución**

Para calcular el consumo de combustible de cada nuevo régimen es necesario conocer el calor disponible del combustible y la eficiencia bruta del generador de vapor $\eta_b$, entonces se determinará por la siguiente expresión (2) :

$$B = \frac{\frac{Q_1}{\eta_b} - Q_{ext}}{Q_d} \cdot 100 \qquad (2)$$

Calculándose el calor disponible como:

Donde: $Q_d$ Calor disponible, $Q_{at}$ es el calor empleado en la atomización del combustible, $Q_{fc}$ es el calor físico (en función de su temperatura) del combustible, $Q_{pca}$ es el calor físico (en función de su temperatura) del aire en el precalentador de aire, $Q_{ext}$, calor recibido de la fuente externa definido como:

.

**El Consumo de combustible quemado o de cálculo se calcula por la expresión (3):**

$$B_c = B \cdot \frac{100 - q_4}{100} \qquad (3)$$

Donde: *Bc* es el consumo de combustible de cálculo aprovechando corriente exterior, *B* es el consumo de combustible con aprovechamiento de la corriente exterior de vapor saturado, $q_4$ es el calor perdido por la incombustión química. En la tabla 3, se muestran los resultados para el calor disponible $Q_d$, la eficiencia

bruta $\eta_b$, el Consumo de combustible aprovechando la corriente exterior B(kg/s) y el Consumo de combustible, de cálculo, aprovechando corriente exterior Bc(kg/s).

**Tabla 3.** Consumo de combustible aprovechando corriente exterior según % de vapor generado en caldera para producir 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| ***$Q_d$*** | 42893,48 | 42894,08 | 42895,26 | 42895,66 |
| **η** | 0,89073 | 0,89225 | 0,89529 | 0,8963 |
| ***B(kg/s)*** | 4,223 | 3,850 | 3,381 | 3,103 |
| ***Bc(kg/s)*** | 4,097 | 3,735 | 3,280 | 3,01 |

A continuación en la figura 2, se muestra la variación de la eficiencia bruta de la caldera para cada uno de los regímenes complejos calculados para satisfacer la potencia de 69 MW y 35 MW en función del vapor externo aprovechado y en la figura 3, se muestra la variación del consumo de combustible en función también del porcentaje de vapor externo suministrado.

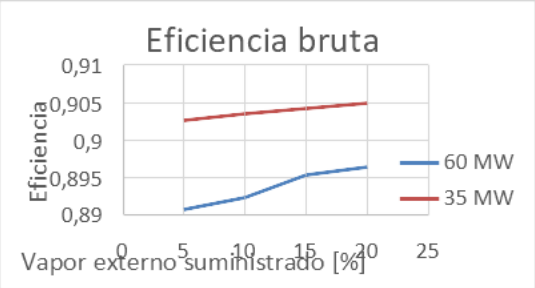



**Figura 2**: Eficiencia bruta del generador de vapor en régimen complejo

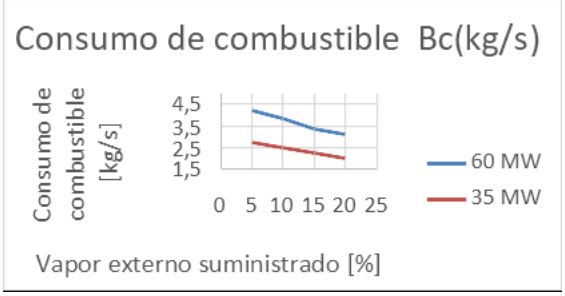



**Figura 3:** Consumo de combustible en régimen complejo

**Balance térmico del horno**

La determinación de las pérdidas de calor en porcentaje para cada uno de los regímenes complejos aparece en la tabla 4, para la potencia de 60 MW, ahí están referidos: $q_2$-Pérdida de calor con los gases de escape, $q_3$-Pérdida de calor por incombustión química, $q_4$ -Pérdida de calor por incombustión mecánica, $q_5$-Pérdida de calor al exterior a través de las paredes del horno.

**Tabla 4.** Pérdidas de calor para cada régimen complejo de 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| **q2(%)** | 7,073 | 6,921 | 6,618 | 6,516 |
| **q 3(%)** | 0,088 | 0,088 | 0,088 | 0,088 |
| **q 4(%)** | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| **q5(%)** | 0,765 | 0,765 | 0,765 | 0,765 |

**Calculo térmico del horno**

Los resultados del cálculo térmico del horno se muestran en la tabla 5, donde aparecen el Calor absorbido en el horno, Qh(KJ/Kg), la Temperatura adiabática, Ta (K), la Entalpia de los productos de la combustión a la salida del horno, I´´h(KJ/Kg), el Calor especifico medio de los productos a la salida del horno, C´´h (KJ/KgK), la Efectividad térmica promedio en el horno, ψh, la Altura relativa del plano de máximas temperaturas, M (m), la Emisividad de la parte luminosa de la llama, a l, la Emisividad de la parte no luminosa de la llama, a nl, Emisividad de la llama, all, la Emisividad térmica del horno, ah, el Coeficiente de conservación de calor, Ψ, la Temperatura calculada a la salida del horno, T´´ hc (K), la Comprobación del cálculo térmico del horno, ΔT´´h, y la Absorción específica de calor en el horno, Qrh(KJ/Kg).

**Tabla 5.** Resultados del cálculo térmico del horno para la potencia de 60 MW

| | **Porcentaje de vapor generado** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| **Qh(KJ/Kg)** | 45161,69 | 45161,69 | 45161,69 | 45161,69 |
| **Ta (K)** | 2113,16 | 2113,16 | 2113,16 | 2113,16 |
| **I´´h(KJ/Kg)** | 25447,66 | 25058,66 | 24721,88 | 24334,07 |
| **C´´h (KJ/KgK)** | 26,21 | 26,20 | 26,20 | 26,19 |
| **ψh** | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| **M (m)** | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| **a l** | 0,788 | 0,785 | 0,782 | 0,779 |
| **a nl** | 0,408 | 0,412 | 0,415 | 0,418 |
| **all** | 0,617 | 0,617 | 0,617 | 0,617 |
| **ah** | 0,745 | 0,745 | 0,745 | 0,745 |
| **Ψ** | 0,9915 | 0,9915 | 0,9915 | 0,9915 |
| **T´´ hc (K)** | 1276,63 | 1264,91 | 1248,77 | 1239,66 |
| **ΔT´´h** | 84,36 | 81,09 | 84,23 | 78,34 |
| **Qrh(KJ/Kg)** | 19546,17 | 19932,14 | 20266,65 | 20651,37 |

En la siguiente figura 4, aparecen las temperaturas a la salida del horno para cada uno de los regímenes complejos de 80, 85, 90, 95 %

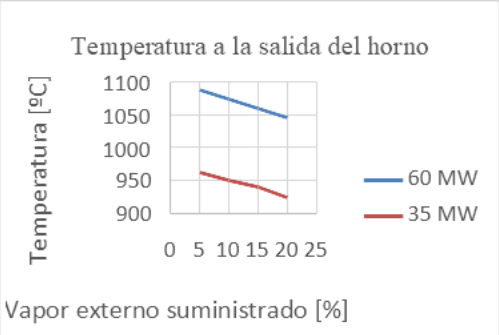



**Figura 4**: Temperaturas de salida del horno para cada uno de los regímenes

**Cálculo del sobrecalentador radiante "SC 1"**

En la tabla 6, se muestran los resultados del cálculo del sobrecalentador radiante. "SC 1"para el régimen de 60MW, donde aparecen el Flujo de vapor por el sobrecalentador de pared "SC1", $D_{scp}$, el incremento de entalpía, $\Delta i_{p}$, el ~~Calor~~ por balance (calor absorbido por el vapor), $Q_b$, la Temperatura del vapor T´´v (°C) a la salida.

**Tabla 6.** Resultados del cálculo del sobrecalentador radiante. "SC 1" para 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| | 58,56 | 58,56 | 58,56 | 58,56 |
| | 170,37 | 167,18 | 161,25 | 159,52 |
| | 2322,44 | 2368,30 | 2408,04 | 2453,76 |
| **T´´v(°C)** | 344,26 | 344,26 | 344,26 | 344,26 |

**Cálculo del sobrecalentador semiradiante "SC 3"**

En la tabla 7, aparecen para 60 MW los resultados del cálculo del sobrecalentador semiradiante. "SC 3", donde son mostrados el Calor absorbido por el vapor ($Q_b$), el Calor por radiación ($Q_r$), el Calor por convección ($Q_c$) y el Calor total transferido, $Q_t$, el Error en el cálculo del calor en porcentaje, ΔQ(%), la Temperatura del vapor, T´´v(°C) y la Temperatura de los gases T´´g(°C)**.**

**Tabla 7.** Resultados del cálculo del sobrecalentador semiradiante. "SC 3" para 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| $Q_b$ | 3324,363 | 3454,709 | 3641,930 | 3751,290 |
| $Q_r$ | 42,946 | 45,272 | 46,439 | 49,196 |
| $Q_c$ | 3281,41 | 3409,43 | 3595,49 | 3702,09 |
| $Q_t$ | 3330,83 | 3395,79 | 3547,49 | 3651,16 |
| $\Delta Q(\%)$ | 1,484 | 0,419 | 1,353 | 1,395 |
| **T´´v(°C)** | 459,749 | 458,394 | 457,074 | 456,685 |
| **T´´g(°C)** | 941,49 | 920,97 | 900,13 | 877,19 |

**Cálculo del festón 1**

El cálculo del festón 1, realizado para 60 MW, arrojó los siguientes resultados expuestos en la tabla 8, donde aparecen la Disminución de temperatura, ΔT, la Entalpia de salida de gases I''$_g$, el Coeficiente conductividad térmica de los gases, ($\lambda_g$), la Densidad de los gases, ($\gamma_g$), el criterio o numero de Prandtl para los gases, ($P_{rg}$), el Calor por convección, Qc, el Calor total por transferencia o transferido, $Q_t$, el Error cometido en el cálculo del calor ΔQ(%).

**Tabla 8.** Resultados del cálculo del Festón 1 de 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| **ΔT** | 14 | 13 | 12 | 11,5 |
| **I''g** | 21704,03 | 21201,92 | 20693,71 | 20120,56 |
| **(λg)** | 0,10807666 | 0,10605346 | 0,10401978 | 0,10177203 |
| **(γg)** | 1,45E-04 | 1,41E-04 | 1,37E-04 | 1,33E-04 |
| **(Prg)** | 0,57043303 | 0,57298870 | 0,57561626 | 0,57858905 |
| **Qc** | 434,433 | 418,618 | 402,647 | 398,500 |
| **Qt** | 427,022 | 418,201 | 411,550 | 401,536 |
| **ΔQ(%)** | 1,75 | 0,100 | 2,163 | 0,756 |

**Cálculo del sobrecalentador convectivo "SC 4"**

La tabla 9, muestra los resultados obtenidos del cálculo del sobrecalentador convectivo. "SC 4" para los regímenes complejos, donde aparecen los valores calculados del Flujo de vapor que circula por él, $D_{sc4}$, el Incremento de entalpía que ocurre en el SC4, $\Delta i_{sec4}$, el Calor por Balance que es igual a Qc por convección, el calor por transferencia o transferido, $Q_t$, el Error en el cálculo del calor, ΔQ (%), la Temperatura del vapor sobrecalentado, T´´vapor (°C), la Temperatura de los gases que se dispone, T´´gases (°C).

**Tabla 9.** Resultados del cálculo del sobrecalentador convectivo. "SC 4" para el régimen de 60 MW

| | **Porcentaje de vapor generado** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| | 67,035 | 67,035 | 67,035 | 67,035 |
| | 337,8942 | 339,968 | 343,824 | 344,948 |
| | 5272,937 | 5513,319 | 5878,031 | 6074,327 |
| | 55238,684 | 5559,041 | 5913,047 | 6060,353 |
| **(%)** | 0,654 | 0,822 | 0,592 | 0,231 |
| **T´´vapor (°C)** | 540 | 540 | 540 | 540 |
| **T´´gases(°C)** | 717,31 | 680,19 | 644,31 | 615,98 |

**Cálculo del festón 2**

Realizado el cálculo del festón 2 para la potencia de 60MW se muestra en la tabla 10, para cada uno de las variables calculadas, a saber el ΔT(ºC) en el equipo, la Entalpía de salida de los gases, I''g, el Coeficiente de conductividad térmica de los gases, (λg), la Densidad de los gases, (γg), el criterio o numero de Prandtl para los gases, ($P_{rg}$), el Calor por convección, Qc, el Calor transferido, Qt y el Error en el cálculo del calor, ΔQ(%).

**Cálculo del sobrecalentador convectivo "SC 2"**

Los valores que arrojan los cálculos del sobrecalentador convectivo "SC 2", aparecen también en la tabla 10, mostrándose cada valor para cada uno de los regímenes complejos cuyas variables son; -Flujo de vapor en el SC2, -Incremento de la entalpía en el SC 2, -Calor por balance (absorbido), -Calor por transferencia total, ΔQ(%)-Error en el cálculo del calor, T´´v(°C)-Temperatura del vapor, T´´g(°C)-Temperatura de los gases.

**Tabla 10.** Valores resultantes del cálculo del Festón 2 y del Sorecalentador convectivo SC2 para 60 MW

| | **Festón 2** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Porcentaje de vapor generado** | | | |
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| **ΔT(°C)** | 20 | 18,5 | 17 | 15,5 |
| **I''g** | 15728,57 | 15018,81 | 14179,30 | 13528,31 |
| **(λg)** | 0,080785466 | 0,082734919 | 0,079518654 | 0,07701264 |
| **(γg)** | 9,39E-05 | 9,75E-05 | 9,17E-05 | 8,72E-05 |
| **(Prg)** | 0,6098308 | 0,6066641 | 0,611917 | 0,616112445 |
| **Qc** | 655,741 | 621,334 | 585,292 | 545,827 |
| **Qt** | 645,039 | 612,920 | 576,773 | 547,585 |
| **ΔQ(%)** | 1,659 | 1,373 | 1,477 | 0,322 |
| | **Sobrecalentador convectivo "SC 2"** | | | |
| $D_{sc2}$ | 58,556 | 58,556 | 58,556 | 58,556 |
| $\Delta i_{sc2}$ | 181,943 | 183,060 | 185,136 | 185,741 |
| $Q_b$ | 2480,148 | 2593,213 | 2764,757 | 2857,086 |
| $Q_t$ | 2434,338 | 2604,126 | 2720,644 | 2885,168 |
| **ΔQ(%)** | 1,882 | 0,419 | 1,621 | 0,973 |
| **T´´v(°C)** | 390,96 | 389,77 | 388,63 | 388,37 |
| **T´´g(°C)** | 580,93 | 546,80 | 504,66 | 473,56 |

**Cálculo térmico del economizador y del calentador de aire**

Los resultados del cálculo térmico del economizador aparecen en la tabla 11, donde se muestran: $D_{eco}$-Flujo de vapor por el economizador, $Q_c$-Calor por convección por el lado vapor, $Q_t$-Calor por transferencia o transferido, $\Delta Q$ *(%)*-Error en el cálculo del calor, $T''_g$ *(°C)*-Temperatura de los gases. En la misma tabla se muestran los resultados del cálculo térmico del calentador de aire donde aparecen los valores de las temperaturas de entrada y salida para cada una de las corrientes, el aire y los gases, el Calor calculado por balance, $Q_{b\ ca}$, Calor total por transferencia o transferido, $Q_{t\ ca}$, y la cuantificación del Error en cálculo del calor.

**Tabla 11.** Valores de las variables obtenidos del cálculo térmico del economizador para 60 MW

| | Porcentaje de vapor generado | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetros** | **95%** | **90%** | **85%** | **80%** |
| | **Economizador** | | | |
| $D_{eco}$ | 64,65 | 61,25 | 56,94 | 54,44 |
| $Q_c$ | 7747,157 | 7339,411 | 7239,556 | 7184,572 |
| $Q_t$ | 7816,164 | 7220,791 | 7200,426 | 7142,522 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***ΔQ(%)*** | 0,883 | 1,643 | 0,543 | 0,589 |
| ***T´´g(°C)*** | 249,3 | 231,8 | 193,0 | 163,5 |
| | **Calentador de aire** | | | |
| ***Aire entrada (K)*** | 363 | 363 | 363 | 363 |
| ***Aire salida (K)*** | 473 | 453 | 410 | 373 |
| ***Gases entrada(K)*** | 522,28 | 504,78 | 465,96 | 436,520 |
| ***Gases salida(K)*** | - | - | - | - |
| ***$Q_{bca}$ (kJ/kg)*** | 1910,213 | 1551,944 | 788,220 | 144,821 |
| ***$Q_{t.ca}$ (kJ/kg)*** | 1933,032 | 1544,998 | 780,379 | 142,391 |
| ***Error (%)*** | 1,180 | 0,450 | 1,005 | 1,707 |

A continuación, la figura 4, muestra la comparación de la variación de la temperatura de los gases de escape para los regímenes complejos calculados, es decir, como se afecta según el porcentaje de vapor sustituido desde cero al 20%.

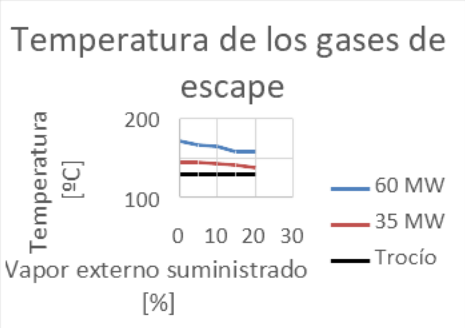



**Figura 4**: Temperatura de gases de escape en régimen complejo

En la figura 5, se muestran la variación de la temperatura del aire a la salida del calentador de aire para cada régimen complejo estudiado, desde ninguna sustitución hasta el 20 por ciento.

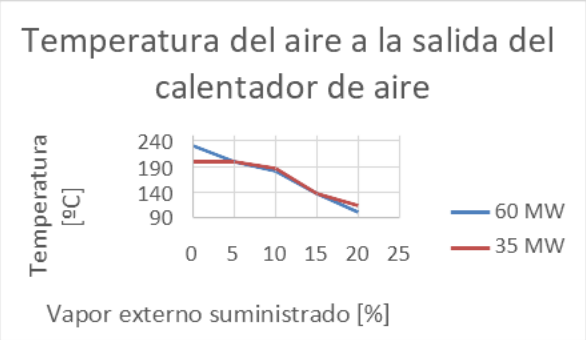



**Figura 5**: Temperatura del aire a la salida de calentador de aire en régimen complejo

## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El consumo de combustible de la caldera es siempre menor cuando se trabaja en régimen complejo que el consumo trabajando de forma habitual, para las condiciones de trabajo de diseño a las mismas potencias de entrega. Se aprecia que, al trabajar las calderas en régimen complejo, suministrando a la misma entre

un 5% y un 20% de vapor saturado y seco proveniente desde una fuente externa, la eficiencia térmica de la misma es superior. También se aprecia como disminuye linealmente el consumo de combustible al incrementarse el porcentaje de vapor suministrado por una fuente externa. Se observa una disminución de la temperatura de los gases de escape a la salida del horno al aumentar el suministro de vapor de una fuente externa y al disminuir la potencia del bloque. La temperatura de los gases de escape disminuyó al disminuir la carga del bloque en régimen complejo. Trabajando en régimen complejo, siempre las temperaturas de los gases de escape fueron superiores a la temperatura de rocío ácido para los regímenes analizados según se puede apreciar en la figura 4.

## 4. CONCLUSIONES

Se determinaron los principales parámetros técnicos del generador de vapor BK-100 trabajando en diferentes regímenes complejos, es decir aprovechando un flujo de vapor saturado y seco, de una fuente externa, a las cargas mínima, de 35MW y máxima de 60MW del turbogenerador, que por razones de espacio solo expusieron los cálculos para la potencia máxima de 60 MW y los resultados para la potencia mínima de 35 MW, entonces sólo en los gráficos resultantes comparativos. Resultando que el consumo de combustible de la caldera es siempre menor en régimen complejo, que el consumo trabajando de forma habitual. Para llevar a cabo este objetivo previamente se validó la herramienta de cómputo basada en la hoja de cálculo Excel, para todas las cargas establecidas en las cartas de régimen es decir 35; 37,5; 40; 42,5; 50; 55; y 60 MW y se comparó con ellas, con resultados satisfactorios.

## RECOMENDACIONES

Efectuar el cálculo hidrodinámico y aerodinámico de la instalación en estos regímenes complejos para conocer su comportamiento y pasar al estudio de factibilidad. Estudiar el mismo fenómeno en otras calderas como la de las máquinas de 100MW y más.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ing. Lozeto Casimiro de Armas, especialista en centrales termoeléctricas, sin su colaboración no hubiese sido posible este trabajo. Al Ing. Renier Domínguez Machado cuya contribución fue decisiva, al igual que el Ernesto López-García, a todos muchas gracias.

## REFERENCIAS

1. KUSNETSOV, M., et al., Calculo Térmico de Calderas (método normativo) (en idioma ruso), Energía, Moscú,1973, http://mgek.by> 2921/01. elima.ru.
2. NORMAS, pdf., Método normativo del cálculo térmico de calderas (en idioma ruso). [ref. de 3 de junio 2024]. Disponible en Web: http://portal.tpu.ru > education.
3. CALVO-GONZÁLEZ, A. E.; REYES-BECQUER, N,; ABALLE-INFANTE, L., et al, Cálculo térmico normativo de calderas digitalizado para el análisis de regímenes estacionarios, Ingeniería Mecánica, vol. 22, núm. 2, 2019, Mayo-Agosto, pp. 100-107 Disponible en: https://www.redalyc.org/ar
4. CHANTASIRIWAN S. Improvement of conventional design of lignite-fired thermal power plant by integrating steam-air preheater and flue gas dryer, Energy Conversion and Management: X 15 (2022) 100272, https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100272
5. AKPAN PU, Fuls WF. Generic approach for estimating final feed water temperature and extraction pressures in pulverised coal power plants. Appl Therm Eng 2018; 141:257–68.
6. HAN X, LIU M, YAN J, KARELLAS S, WANG J, XIAO F. Thermodynamic analysis of an improved flue gas pre-dried lignite-fired power system integrated with water recovery and drying exhaust gas recirculation. Drying Technol 2020;38(15):1971–87.
7. LIU R, LIU M, YAN J. Techno-economic analysis of the lignite-fired power plant integrated with a steam or flue gas dryer. Drying Technol 2021;39(10):1271–84.
8. FAN C, PEI D, WEI H. A novel cascade energy utilization to improve efficiency of double reheat cycle. Energy Convers Manage 2018;171:1388–96.
9. LIU Y, LI Q, DUAN X, ZHANG Y, YANG Z, CHE D. Thermodynamic analysis of a modified system for a 1000 MW single reheat ultra-supercritical thermal power plant. Energy 2018;145:25–37.

10. LIN X, LI Q, WANG L, GUO Y, LIU Y. Thermo-economic analysis of typical thermal systems and corresponding novel system for a 1000 MW single reheat ultrasupercritical thermal power plant. Energy 2020;201:117560.
11. CHANTASIRIWAN S. The improvement of energy efficiency of cogeneration system by replacing desuperheater with steam–air preheater. Energy Rep 2020;6:752–7.
12. TANG C, WANG L, ZHU X, WANG C, LIU Y, CHE D. Investigation on a new lignite predrying power generation system combined with a front air heater. Drying Technol 2020;38(12):1584–96.
13. CHANTASIRIWAN S. Techno-economic analysis of the integration of flue gas dryer and steam-air preheater into biomass power plant. Drying Technol 2022. https://doi. org/10.1080/07373937.2022.2051181.
14. CHANTASIRIWAN S. Optimum installation of flue gas dryer and additional air heater to increase the efficiency of coal-fired utility boiler. *Energy* 2021;221:119769.
15. CHEN H, WU Y, QI Z, CHEN Q, XU G, YANG Y, et al. Improved combustion air preheating design using multiple heat sources incorporating bypass flue in large-scale coal-fired power unit Energy 2019;169:527-41.
16. SUMALATHA, A. ,SUDHA RANI, K., JAYALAKSHMI, Ch., Dynamic modeling of Boiler drum using nonlinear system identification approach, *Measurement: Sensors 28 (2023) 100845, https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100845*
17. LINWEI LI, XUEMEI REN, Adaptive filtering scheme for parameter identification of nonlinear Wiener–Hammerstein systems and its application, Int. J. Control 93 (10) (2020).
18. BROURI ADIL, LAILA KADI, KENZA LAHDACHI, Identification of nonlinear system composed of parallel coupling of Wiener and Hammerstein models, Asian J. Control 24 (3) (2022) 11521164.
19. BROURI Adil, FATIMA-ZAHRA CHAOUIBAND FOUAD Giri, Identification of Hammerstein–Wiener models with hysteresis front nonlinearities, Int. J. Control 95 (12) (2022) 3353–3367.
20. D KAPPATOU1 CHRYSOULA, DOMINIK BONGARTZ, Global dynamic optimization with Hammerstein–Wiener models embedded, J. Global Optim. 84 (2022) 321–347.
21. F. LE, et al., Recursive identification of Hammerstein systems with application to electrically stimulated muscle, Control Eng. Pract. (2012).
22. A. WILLS, et al., Identification of hammerstein-wiener models, Automatica (2013).
23. A.HARYANTO, et al., Maximum likelihood identification of Wiener–Hammerstein models, Mech. Syst. Signal Process. (2013).
24. M. ŁAWRYN´CZUK, Modelling and predictive control of a neutralisation reactor using sparse support vector machine Wiener models, Neurocomputing (2016).
25. K. LI, et al., Hierarchical multi-class classification in multimodal spacecraft data using DNN and weighted support vector machine, Neurocomputing (2017).
26. Y.G. TANG, et al., Identification of nonlinear system using extreme learning machine based Hammerstein model, Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. (2014).
27. SHI, Y., HAN, T., CUI, F., et al., A hybrid prediction approach for enhancing heat transfer efficiency of coal-fired power plant boiler, Energy Reports 9 (2023) 658–668. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.04.337
28. ZHANG Z, SHI Y. Soot blowing optimization of coal-fired boiler based on Gamma accelerated ash accumulation model. J Electron Measur Instrum 2020;34(08):8–14.
29. CHEN Y, LIFENG W, Lianyi L, Kai Z. Fractional Hausdorff grey model and its properties. Chaos Solitons Fractals 2020;138:109915.

**Sobre los autores**

Alberto E. Calvo González, es Ingeniero Mecánico, Dr.CT, Profesor Titular del Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTH, CUJAE; desde 2008 es miembro de la International Society for the Advance of Emergy Research, Cesar Javier González Rondon, Trabajador privado, calle F /26 y 27, Cojimar, La Habana, Colaborador de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTH, CUJAE, Luis Aballe Infante, es Ingeniero Mecánico, Profesor del Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTH, CUJAE, Nelson Reyes Becquer, es Ingeniero Mecánico, Profesor del Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTH, CUJAE, José Ramón

Rodríguez Bertran, es Ingeniero Mecánico, Dr.CT, Profesor Auxiliar, Roberto Vizcon Toledo, es Ingeniero Mecánico, Dr.CT, Profesor Titular de la Universidad de Matanzas, Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR PARA LA INDUSTRIA

**César Arnaldo Cisneros Ramírez[1], Wilfredo Pérez Bermúdez[2], David Ricardo Green Labrada[1]**

[1] Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Calle 114 #11901. Marianao. La Habana. Cuba. [2]Empresa de Refrigeración y Caldera, Calle 31 entre 194 y 208. La Lisa. La Habana. Cuba
[1]e-mail: cesar@mecanica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La necesidad de la reducción del empleo de los combustibles fósiles ha dado paso a la toma de medidas para la aplicación de las fuentes renovables de energía, ello refrendado por decretos emitidos por la dirección del país. Es en este marco que surge la idea de realizar el cálculo de un sistema de calentamiento con energía solar para una industria del sector alimentario ubicada en La Habana. Este sistema emplea colectores concentradores para alcanzar temperaturas de 130 grados centígrados. Debido a la poca área disponible para la colocación del campo solar en la industria de análisis se optó escoger la disposición y distribución del sistema de tuberías que permitiera la mayor cantidad de área captadora. Además, se determinó la influencia de la velocidad de circulación en diferentes indicadores sobre el campo solar como costo, diversidad de diámetros, masa específica, relación potencia de bombeo/potencia térmica y potencia de bombeo. De igual modo, se realizó el cálculo económico y medioambiental del sistema.

**PALABRAS CLAVES:** Energía solar, concentración, integración, industria

## SOLAR HEATING SYSTEM FOR INDUSTRY

Abstract: The need to reduce the use of fossil fuels has led to measures being taken to implement renewable energy sources, which has been endorsed by decrees issued by the country's leadership. It is within this framework that the idea of calculating a solar heating system for a food industry located in Havana arose. This system uses concentrating collectors to reach temperatures of 130 degrees Celsius. Due to the small area available for the placement of the solar field in the industry under analysis, the choice was made to choose the layout and distribution of the pipe system that would allow the largest amount of collector area. In addition, the influence of the circulation speed on different indicators of the solar field was determined, such as cost, variety of diameters, specific mass, pumping power/thermal power ratio and pumping power. Likewise, the economic and environmental calculation of the system was carried out.

**KEY WORDS:** Solar energy, concentration, integration, industry

## 1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de energía es un requisito indispensable para el crecimiento económico y el bienestar del mundo en general. Sin duda alguna, uno de los problemas más formidables y apremiantes que la humanidad encara y que seguramente definirá el futuro de los países es el uso eficiente de los recursos energéticos, así como el de garantizar la disponibilidad de la energía para promover el desarrollo y bienestar en la sociedad moderna. Uno de los elementos cruciales para lograr la sostenibilidad de los sistemas energéticos es la reducción de emisiones de dióxido de carbono y para ello, una contribución relevante lo es el empleo de las fuentes renovables de energía (FRE) las cuales pueden ser utilizadas para el suministro de energía térmica y electricidad tanto para el sector industrial como doméstico.[1].

Valores de temperaturas en el rango de 60 a 150 grados Celsius son frecuentes en diversos sistemas industriales y sobre todo en la industria destinada a la producción de alimentos. Estos valores de temperaturas son factibles de obtener con el empleo de la fuente de energía solar y el empleo de captadores solares sin concentración para baja temperaturas (<100ºC) y captadores concentradores para temperaturas medias (t<200ºC) [2, 3]

En lo que concierne a este trabajo, la entidad escogida para el análisis pertenece a la industria alimenticia y se dedica a la producción de pastas alimenticias y en ella se realizan varios procesos que encaminan a la elaboración y terminación de productos de calidad. Para la realización de estos procesos se utiliza como principal fuente de energía, la quema de combustible diésel para generar vapor. El costo del combustible es alto y, además, es dificultosa su adquisición. Debido a ello surge la necesidad de proyectar una instalación de calentamiento con energía solar que sustituya total o parcialmente el uso de combustible fósil. De aquí, el objetivo del trabajo es concebir una instalación de calentamiento solar para el proceso de producción.

Para cumplir con el objetivo central se realizó el balance energético del proceso de análisis, se determinó el área de captación solar necesaria, los diferentes componentes del sistema de calentamiento y, además, se realizó el cálculo hidráulico, económico y medioambiental. La tecnología de captación solar escogida es por concentración debido al valor de temperatura necesario en el proceso fabril.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Disponibilidad local del recurso solar. Potencia solar disponible

La fábrica se encuentra situada en la provincia de La Habana a los 23.4° de latitud norte y -82.38° de longitud oeste. La zona donde se encuentra ubicada la misma cuenta con una irradiación solar diaria promedio de 900W/m$^2$ [4]. La temperatura ambiente promedio en La Habana oscila entre los 18 y los 32°C, en escasas ocasiones baja menos de los 13°C y sube más de 33°C [4].

**Caracterización de la operación energética de la industria.**
La fábrica opera en tres turnos de 8 horas de trabajo continuo. El combustible fósil es utilizado para la producción de vapor que sirve para el calentamiento del agua que va al proceso de estudio. Las exigencias del proceso definen que la temperatura del agua de calentamiento debe ser de 110ºC y el caudal de agua a emplear es de 11238 l/h (10553 kg/h). La potencia térmica requerida para el proceso es de 177,7 kW.

## 3. CÁLCULO DEL CAMPO SOLAR.

Los principales componentes del campo solar son los colectores solares, bomba, tanque de inercia, intercambiador de calor y tuberías de conexión. Para determinar el campo de colectores se parte del calor necesario o útil a captar para cumplir con los requerimientos energéticos del sistema.

El calor útil en el colector viene dado por la elevación de temperatura del fluido de trabajo y se obtiene según la ecuación (1) [5, 6]

$$q_{útil} = \dot{m} c_p \left(t_{salida} - t_{entrada}\right) [W] \quad (1)$$

Donde: $\dot{q}_{util}$ es el flujo de calor útil, $\dot{m}$ es el flujo másico, $cp$ es el calor específico del fluido, $t_{salida}$ es la temperatura del fluido a la salida del campo solar y $t_{entrada}$ es la temperatura del fluido a la entrada al campo solar.
Este calor útil también viene dado por la ecuación (2), la cual es resultado del balance de energía en el colector, es decir, el calor útil es la diferencia entre el calor absorbido menos las pérdidas térmicas:

$$q_{útil} = G_c A \left(\tau\alpha\right) - U_{pérdidas} A \left(t_c - t_{amb}\right) \quad (2)$$

Donde: $G_c$ es la irradiación sobre el campo colector, $A$ es la superficie total de captación del colector, $\tau$ es el coeficiente de transmisión de la cubierta, $\alpha$ es el coeficiente de absorción del absorbedor, $U_{pérdidas}$ es el coeficiente global de transferencia de calor, $t_c$ es la temperatura del colector y $t_{amb}$ es la temperatura ambiente

La ecuación (2) es común emplearla en la forma de la ecuación (3)

$$q_{útil} = \eta_{col} G_c A_{col} \tag{3}$$

Donde $\eta_{col}$ es la eficiencia del colector.

**Características del colector empleado**

El campo solar se determinó a partir de la oferta de colectores solares tipo concentradores cilíndrico parabólicos (CCP). La ecuación de eficiencia de los mismos es dada por la ecuación (4)

$$\eta = 60.109 - 334.84X + 1234.1X^2 \tag{4}$$

donde el término X viene dado por la ecuación (5):

$$X = \left(\overline{t_c} - t_{amb}\right) G_c^{-1} \tag{5}$$

El área de captación unitaria es 3.06 $m^2$/colector.

**Sistema de tuberías del campo solar**

Las tuberías del campo solar se definieron en tuberías principales y tuberías de ramificación. La primera es aquella por donde circula todo el caudal a manejarse en el sistema y las de ramificaciones son las que distribuyen el fluido a las unidades colectoras. Las tuberías escogidas son de acero galvanizado y el diámetro de las mismas se determinó según el flujo ($m$) por cada una de ellas según la ecuación (6) [7]. El diámetro a escoger es el normalizado.

$$d = \sqrt{\frac{4m}{\pi \rho u}} \left[m\right] \tag{6}$$

**Caída de presión en el campo solar**

El cálculo de la caída de presión en el sistema está compuesto por la caída de presión en las tuberías ( $\Delta p_{tub}$ ), en los accesorios o efectos locales ( $\Delta p_{acc}$ ), en los colectores ( $\Delta p_{colec}$ ) y en el intercambiador de calor ( $\Delta p_{interc}$ ). Cada uno de estos componentes de la caída de presión se determinaron a través de las ecuaciones (7), (8) y (9).

$$\Delta p_{tub} = f \frac{L}{D} \frac{\rho u^2}{2} \left[Pa\right] \tag{7}$$

$$\text{Si} \begin{cases} \text{Re} < 2300 & f = \dfrac{64}{\text{Re}} \\ \text{Re} \geq 2300 & f = (0.790 \ln(\text{Re}) - 1.64)^{-2} \end{cases} \tag{8}$$

$$\Delta p_{acc} = \sum \xi \frac{\rho u^2}{2} [Pa] \tag{9}$$

En esas ecuaciones $u$ es la velocidad del fluido; $L$ es la longitud de la tubería; $D$ es el diámetro de la tubería; $\rho$ es la densidad del fluido, $f$ es el factor de fricción que se determina según la ecuación (8) y $\xi$ es el coeficiente de pérdida local del accesorio correspondiente. $Re$ es el número de Reynolds el cual discrimina el tipo de flujo.

La caída de presión total que debe vencer la bomba viene dada por:

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{tub} + \Delta p_{acc} + \Delta p_{colec} + \Delta p_{interc} [Pa] \tag{8}$$

Para la selección de la bomba que debe vencer la caída de presión total ($\Delta p_{total}$) que impone el sistema, se calcula la potencia que debe tener esta y se determina a partir del flujo total ($m_{total}$) por la ecuación (9)

$$P = \frac{\dot{m}_{total} \Delta p_{total}}{\rho_{fluido} \eta_{bomba}} [W] \tag{9}$$

En esta ecuación $\rho$ y $\eta$ son la densidad del fluido y la eficiencia de la bomba respectivamente

**Acople del campo solar al proceso**

La figura 1 muestra el esquema que se propuso de funcionamiento integrado de la instalación. En el mismo se observan los valores de temperaturas que se deben obtener en cada tramo del sistema. Además, se muestra el tanque de inercia y las válvulas y medidores de flujos necesarios para lograr un funcionamiento estable. Entre el campo solar y el proceso industrial se coloca el tanque de inercia, el cual tiene la misión de absorber los desbalances energéticos entre la producción solar y la necesidad energética del proceso de producción. El intercambiador escogido entre el circuito solar con el circuito de acumulación es del tipo de placa. La válvula 1 es de tres vías y con ella se desvía el agua que sale del proceso directamente a la caldera en caso de que el calor solar (en el tanque de inercia) no sea suficiente para cumplir con la demanda energética.

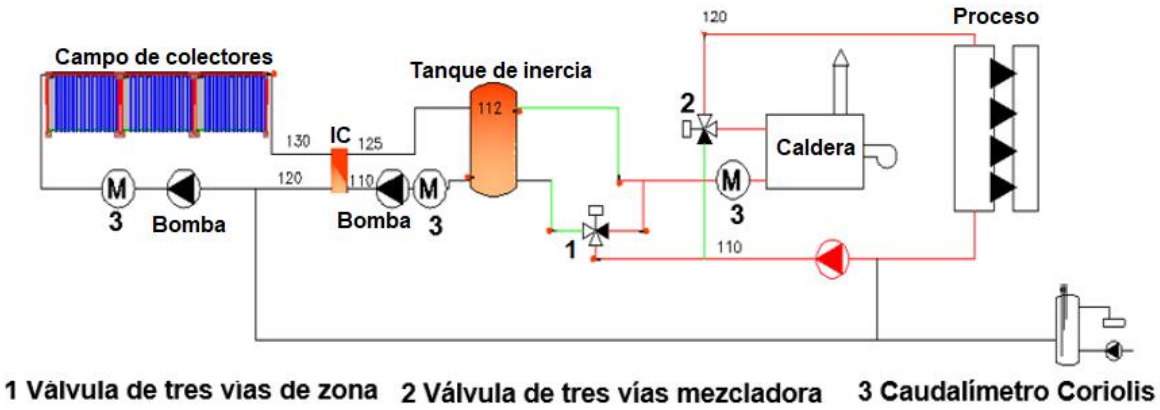



*Figura 1. Acople del campo solar al proceso*

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

**Dimensionado del campo solar de colectores**

El cálculo de la cantidad de colectores arrojó que el área necesaria para cumplir con las necesidades energéticas es de 340m$^2$, lo cual corresponde con 101 colectores. La disponibilidad de área para colocar los colectores es menor que la requerida, por lo cual, solo es posible la ubicación de 75 CCP conformados en 25 unidades colectoras. Cada unidad colectora está formada por tres concentradores. Estas unidades colectoras fueron ubicadas en dos secciones, A y B, figura 2. La sección A esta formada por 5 unidades colectoras y la sección B está formada por 20 unidades colectores. Para estas condiciones existe un déficit de energético de 51,25 90kW, la cual deberá ser cubierta por la caldera existente en la fábrica.

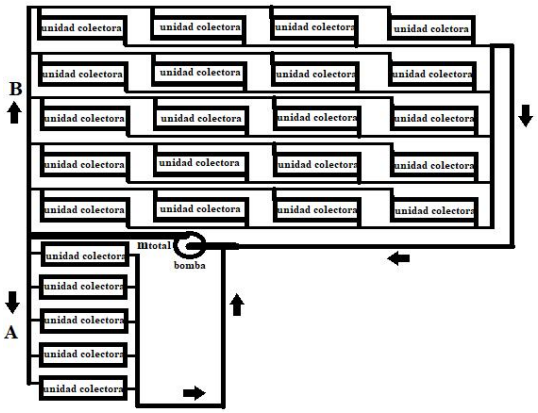



Figura 2. Distribución de los colectores

El cálculo del sistema de tuberías se realizó con el criterio de igualdad de velocidad en todos los tramos de tuberías y, además se escogió el retorno invertido para facilitar la igualdad de flujo en cada tramo. Como las dimensiones de los diámetros de tuberías varía de forma discreta (no continua), entonces se prefirió variar la velocidad escogida y de aquí seleccionar el diámetro de tubería que se acercara a mantener una velocidad similar a la escogida.

Para la determinación de la longitud de la tubería se partió de las dimensiones de los colectores y separación recomendada entre ellos. Otro aspecto que se tuvo en cuenta en el diseño del campo solar fue considerar todas las unidades colectoras en circuito paralelo.

Los cálculos se realizaron para velocidades de circulación del fluido de entre 0.5 y 3m/s, valores que son característicos en estos sistemas[8, 9]. El número de Reynolds siempre se mantuvo en valores de régimen turbulento (>$10^4$) lo cual favorece el proceso de transferencia de calor en los colectores. Se obtuvo que para velocidad de 0.5m/s la diversidad de diámetros de tubería en el campo fue de 7 valores de diámetros y para 3m/s este valor fue disminuido a 3 valores de diámetros. Esta disminución del número de valores de diámetros favorece a la simplificación del suministro de materiales y a su vez ayuda a la disminución de los costos. Por otro lado, el aumento de la velocidad favorece a una mayor caída de presión en las tuberías con su consiguiente elevación del consumo de energía por bombeo.

Se determinaron, además, dos indicadores que se tienen en cuenta al evaluar o comparar los campos solares[2, 10]. Estos indicadores son: la masa específica ($kg/m^2_{col}$), que se define como la masa de componentes respecto al área total de colectores; y la relación entre la potencia hidráulica y la potencia térmica.

## 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la evaluación económica se partió de la determinación de los costos de los principales componentes del sistema, o sea, colectores solares, tanque de almacenamiento, bombas, tuberías y accesorios e intercambiador de calor.

Costo de los concentradores 2500$/unidad.
Costo del sistema de seguimiento 5200$/unidad.
Costo del tanque de inercia 4000$/unidad.

Los costos de tubería y accesorios se determinaron a partir del costo base de una tubería de diámetro de 25.4mm (1 pulgada). Del análisis de diferentes firmas comercializadoras de tuberías, accesorios, aislamiento y equipos de bombeo se logró obtener el conjunto de ecuaciones para determinar sus costos, obteniéndose las ecuaciones más abajo mostradas.

$$C_{Tee} = \left(4.3192 \cdot d^2 - 7.1561 \cdot d + 3.5931\right) C_{d=1} \text{; } R^2=0.9972 \quad (10)$$

$$C_{codo45} = \left(2.2133 \cdot d^2 - 2.2578 \cdot d + 0.951\right) C_{d=1} \text{; } R^2=0.988 \quad (11)$$

$$C_{codo90} = \left(4.2793 \cdot d^2 - 5.894 \cdot d + 2.432\right) C_{d=1} \text{; } R^2=0.994 \quad (12)$$

$$C_{tubería} = \left(0.1827 \cdot d^2 + 1.0207 \cdot d - 0.2036\right) C_{d=1} \text{; } R^2=1 \quad (13)$$

$$C_{uniones} = \left(4.0839 \cdot d^2 - 6.0833 \cdot d + 2.6428\right) C_{d=1} \text{; } R^2=0.9884 \quad (14)$$

$$C_{bombas} = \begin{cases} 252.12P^{0.538} & \text{si P<5kW} \\ 0.069P^2 - 4.0042P + 116.66 & \text{si P>5kW} \end{cases} \quad (15)$$

$$C_{aislamiento} = 15.765 \cdot e^{0.009d} \text{; } R^2=0.9925 \quad (16)$$

En las ecuaciones 10 a la 16 los términos d y P son el diámetro de la tubería y la potencia de la bomba respectivamente.

El indicador de evaluación económica que se tomó en consideración fue el costo nivelado de la energía térmica ($CNE_{térmica}$), el cual se determinó según la ecuación (17)

$$CNE_{térmica} = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^{N} \left(C_{O\&M} + C_{fijos}\right)\left(1+i\right)^{-t}}{\sum_{t=1}^{N} E_{térmica}\left(1+i\right)^{-t}} \quad (17)$$

Este indicador está constituido por la inversión inicial ($I_o$), el costo de operación y mantenimiento ($C_{O\&M}$), el interés (i) y la energía térmica (E). En el análisis se consideró el costo de la energía dejada de emplear, la cual está directamente relacionada con la cantidad de combustible dejado de utilizar.

### Ahorro de portadores energéticos y efecto medioambiental

Con la instalación solar se presume una reducción de consumo de combustible fósil la cual es de 25565 l/año. Esta cantidad de combustible ahorrado, con un índice de 3.05kg de $CO_2$ por litro quemado [11] resulta

anualmente en 77974kg de $CO_2$ (78 toneladas/año) dejados de emitir al ambiente. Valorando el precio del barril de petróleo a un costo medio de 113 dólares actualmente la cantidad de combustible ahorrado representa aproximadamente 18169 dólares/año dejados de invertir.

En la tabla 1 se muestra un resumen, para cada velocidad de referencia, del costo total, masa específica, relación la potencia de bombeo/potencia térmica y, por último, la potencia de bombeo.

Tabla 1: Resultados del cálculo del campo solar

| Veloc. | Costo total [$] | Masa específica [kg/m$^2_{col}$] | Pot hid/térm [-] | Pot bombeo [W] | CNE [$/kWh$_{térmico}$] |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 328093 | 105.782 | 0.00014 | 28.4 | 0.23 |
| 1 | 326669.8 | 103.125 | 0.00058 | 120.3 | 0.23 |
| 1.5 | 326129.7 | 101.806 | 0.0013 | 269.9 | 0.23 |
| 2 | 325978.7 | 101.653 | 0.0022 | 461.3 | 0.23 |
| 2.5 | 325796.7 | 101.298 | 0.0036 | 748.8 | 0.229 |
| 3 | 325750.3 | 101.262 | 0.00501 | 1041.5 | 0.229 |

Considerando como valores de referencia los obtenidos para el caso de velocidad de 0.5m/s, se puede extraer de los resultados mostrados en la tabla 1 que el costo total experimenta un aumento de 0.6 a 1% a medida que se aumenta la velocidad de referencia. Similar comportamiento experimenta la masa específica del campo solar, la cual aumenta de 2.5 a 4.2%. Con relación a la relación potencia de bombeo/potencia térmica y a la potencia de bombeo se detecta que ambos indicadores experimentan un aumento pronunciado llegando a ser de 4 hasta 36 veces respectivamente.

Respecto al costo nivelado de la energía térmica, en la tabla 1 se observa que se obtuvo que este indicador no experimenta variaciones significativas con la variación de la velocidad. Este costo, para un valor de $50 por barril de petróleo, arrojó ser de 0.23$/kWh$_{térmico}$. El costo del barril ha tenido un alza en los últimos tiempos y ello también se tuvo en cuenta en este trabajo. Se consideraron dos valores de alza, $90 y $113 por barril. Para estos valores se obtuvo que el costo nivelado de la energía alcanza un valor de 0.206 y 0.192 $/kWh respectivamente.

De aquí se observa que un aumento de 1.8 y 2.26 veces del costo del barril de petróleo conlleva a una disminución del costo nivelado en un 10 y 16% respectivamente.

## 6. CONCLUSIONES

La necesidad de la disminución del consumo de combustible fósil ha conllevado a ingentes esfuerzos por la introducción de las fuentes renovables de energía en la industria. Este trabajo forma parte de los estudios encaminados a lograr esa meta en una industria del sector alimenticio. Del trabajo se obtuvo:

- La distribución de los colectores concentradores que cumpliera la condición de mayor área de captación posible de energía solar.
- El aumento de la velocidad de circulación del fluido provoca una disminución del costo total de la instalación.
- la relación potencia de bombeo/potencia térmica y a la potencia de bombeo se detecta que ambos indicadores experimentan un aumento pronunciado llegando a ser de 4 hasta 36 veces respectivamente

- El incremento del precio del petróleo de 1.8 y 2.26 veces conlleva a una disminución del costo nivelado en un 10 y 16% respectivamente

**REFERENCIAS**

1. Franco, A., *Methods for the Sustainable Design of Solar Energy Systems for Industrial Process Heat.* Sustainability 2020. **12**.
2. *IEA-SHC-T55-C-D.1.3-FACT-SHEET-Collector-types-for-large-collector-fields-thermal-performance*. 2019, International Energy Asociation.
3. Holler, S., et al., *Feasibility study on solar thermal process heat in the beverage industry.* Energy 2021. **233**.
4. *Instituto de Meteorologia de Cuba, Datos Climaticos promedio la Habana*. [cited mayo 2022; Available from: https://www.google.com/_Datos+Climaticos+promedio.
5. Duffie, J.A., W.A. Beckman, and N. Blair, *Solar Engineering of Themal Processes, Photovoltaics and Wind*. Fifth ed. 2020: John Wiley & Sons- Inc. 919.
6. Bravo, J., C. Romero, and J. Baltrusaitis, *Design of a parabolic trough collector solar field for a pilot CO2 capture plant from natural gas combined cycle power plant flue gas.* ACS Omega, 2023. **8**: p. 44920-44930.
7. Munson, B.R., et al., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2021, United State of America.
8. Kelly, B. and D. Kearney, *Parabolic Trough Solar System Piping Model*. 2012, National Renewable Energy Laboratory.
9. Jensen, A. and L. Sifnaios, *Modeling, validation and analysis of a concentring soalr collectr field integrated with a distritic heating network.* Solar, 2022: p. 234-250.
10. *IEA-SHC-Task 45 Large Systems Requirements & guidelines for collector loop installation*. 2012, International Energy Asociation.
11. Peregalli, J.P., *Manual para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos de infraestructura*. 2021, Corporción Nacional para el Desarrollo: Uruguay.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO DE PEQUEÑO AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL TIPO HÉLICE PARA LAS CONDICIONES CUBANAS DE 1500 W DE POTENCIA NOMINAL

Conrado Moreno Figueredo[1], José Augusto Medrano Hernández[1]

[1,] Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE.
[1]e-mail: conradomor2014@gmail.com

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados del proyecto dirigido a desarrollar un prototipo de pequeño aerogenerador para cargar baterías usando generadores eléctricos comerciales de imanes permanentes con potencia nominal de 1,5 kW (1500 W) apto para alcanzar altas prestaciones (en términos de energía generada, resistencia a condiciones ambientales severas, facilidad para desmontar o abatir) y adecuados para los emplazamientos de más interés en Cuba, caracterizados por vientos predominantes de bajas velocidades, ambientes altamente corrosivos, riesgos frecuentes de embates por tormentas locales y huracanes, y difícil accesibilidad.

Finalmente se logró diseñar y fabricar el prototipo y sus resultados se han visto en la generalización del resultado a través de un proyecto sectorial del Grupo de la Industria Sidero – Mecánica que plantea la fabricación de estos equipos en la Empresa Metalmecánica Varona en la Habana

Este trabajo es el resultado de un proyecto CITMA en el programa titulado Programa de Desarrollo Energético Integral y Sostenible (PNDEIS) en su primera convocatoria 2021 - 2023

**PALABRAS CLAVES:** energía eólica, aerogenerador pequeño.

## DESIGN AND MANUFACTURE OF A PROTOTYPE OF A SMALL HORIZONTAL AXIS PROPELLER-TYPE WIND TURBINE FOR CUBAN CONDITIONS WITH A NOMINAL POWER OF 1500 W

**ABSTRACT**

This paper aims present the results of the project focused to develop a prototype of small wind generator for charging batteries using commercial permanent magnet generator with 1,6 kW (1500 W nominal power suitable of achieving high performance in terms of energy generated, resistance to severe environmental conditions and ease disassembly or lowering. The machine must be suitable for the locations of greatest interest in Cuba, characterized by predominantly low wind speeds, highly corrosive environments, frequent risks of hurricanes and local storms, and difficult access.

Finally, the prototype was designed and manufactured and the results have been seen in the generalization of the result through a sectoral Project of the Sidero – Mechanics Industry Group that proposes the manufacture of this equipment at the Varona Metal mechanics Enterprise in Havana

This work is the result of a CITMA Project within the program entitled Program of Integral and Sustainable Energy Development (PNDEIS) in its first call 2021 - 2023

**KEY WORDS:** wind energy, small wind generator.

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados del proyecto titulado *Diseño, construcción y pruebas de un prototipo de pequeño aerogenerador (PAG) de eje horizontal tipo hélice para las condiciones de baja velocidad del viento* asociado al Programa Nacional de Desarrollo Energético Integral y Sostenible (PNDEIS) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) como un sistema de energía eólica para consumidores autónomos en lugares remotos aunque pudiera emplearse en consumidores conectados a la red con algunos cambios básicamente en los equipos electrónicos auxiliares. Es un proyecto de innovación que responde a la fórmula que plantea que "*para salir la situación que tenemos es empleando la ciencia, introduciendo sus resultados, innovando en todos los aspectos, más que una opción la ciencia y la innovación son el camino a seguir*" (Granma, 6 de junio, página 4)

Al igual que la energía fotovoltaica este equipo puede jugar el mismo papel que hoy está jugando la fotovoltaica, aunque los bajos costos de la fotovoltaica y las condiciones climatológicas de Cuba con una alta radiación solar lo situa en desventaja. Es más, practico el empleo de la fotovoltaica ya que es la tecnología más barata para generar electricidad hoy en día. El costo del kWh se ubica entre 4 y 5 centavos de dólares. El sistema objeto de presentación en este artículo se hizo para producir electricidad con energía eólica solamente. No obstante, si se instalaran estos pequeños aerogeneradores en los techos en las ciudades o en sitios rurales aislados de la red eléctrica combinados con paneles fotovoltaicos, (sistemas híbridos) los ahorros anuales serían mayores. El costo se encontraría entre 3 y 4 centavos de dólares por kWh. El trabajo de la instalación sería más estable y la productividad seria mayor. Mayor cantidad de toneladas de petróleo se evitarían con estos sistemas híbridos al ser mayor la producción de electricidad y sustituir el uso de la electricidad convencional que se produce con combustibles fósiles ya sea producida en plantas termoeléctricas o con grupos electrógenos.

Si bien *Cuba avanza en el desarrollo de equipos y médicos y dispositivos que benefician a pacientes de diferentes patologías según trascendió en la reunión de expertos y científicos en temas de salud* (Periódico Granma del martes 23 de julio, página 4), lo mismo no se puede decir en el tema de las energías renovables. Poco se avanza y poco se trabaja en el tema del desarrollo de equipos y dispositivos para este sector. Prácticamente todo se importa. Este equipo que vamos a exponer en este trabajo es un ejemplo de un equipo que murió al nacer. Se diseñó, se fabricó y ahí quedó. Funcionó todo el año 2022 y 2023, mostro su potencialidad y alta fiabilidad y nada. Ahí quedó. Eso pone en evidencia los problemas que subsisten para introducir los resultados en este sector.

En este trabajo se presentará el desarrollo de un proyecto de pequeño aerogenerador que se llevó a cabo durante los años 2021 y 2022 cuando se logró el diseño y fabricación del aerogenerador, algo no común en nuestro país. Se le conoce como Aerogenerador Tornado 1.5 kW.

El aerogenerador posee dos palas o aspas que mueven directamente un generador de imanes permanentes. El diseño de las palas se concibió para que la maquina trabaje con las bajas velocidades que caracterizan a la mayor parte del país. A los efectos de facilitar el montaje al aerogenerador en la base se le agrego un mecanismo que lo hace abatible o plegable, cuestión que facilita la seguridad ante la presencia de huracanes. Ejemplo de ello son los aerogeneradores del parque eólico Los Canarreos en la Isla de la Juventud que son ejemplo por su facilidad de ser abatibles y han subsistido ante innumerables huracanes. [1]

Participaron en el proyecto: el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), el Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas, CIPEL de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE, el Centro de Estudio de Energía y Tecnología de Avanzada CETA de la Universidad Central de las Villas Marta Abreu, El actor industrial que participo en la fabricación de la maquina es la empresa GEDEME

TORRES perteneciente al grupo GELECT del Ministerio de Industrias en Vento y Línea del Ferrocarril en el municipio Cerro, la Habana .[2]

## 2. MATERIALES Y METODOS

En este acápite se presenta el contexto en que se desarrolla el trabajo, la evaluación del recurso eólico necesario inevitable para llegar a los resultados además de los elementos fundamentales del diseño que permitieron la elaboración de los planos de fabricación y finalmente la puesta en marcha del equipo. Se presentan además las etapas del proyecto y detalles de las aspas o palas del aerogenerador como elemento esencial para alcanzar las prestaciones a que se aspiran.

### Contexto

El empleo de sistemas autónomos de energía eólica es (SAEE) uno de las formas más eficientes de tratar las necesidades de electrificación de los miles de consumidores aislados de la red eléctrica en cualquier lugar del mundo. Estos SAEE comprenden un pequeño aerogenerador y una batería como elemento de almacenamiento además del correspondiente equipamiento electrónico (regulador e inversor). Considerando que existe en el país un adecuado potencial eólico para este tipo de maquina demostrado por el uso generalizado de los molinos de viento para el bombeo de agua desde hace más de un siglo y que existen también estudios basados en mediciones a largo plazo hechos en Cuba desde los años 90 vistos estos en el Mapa Eólico de Cuba de 2006 y en el Atlas Eólico de Cuba de 2013, ambos elaborados bajo la dirección del Instituto de Meteorología de Cuba, se puede aseverar que existen datos suficientes para la configuración optima de SAEE a lo largo de todo el país. [3] [4]

Desde los comienzos del siglo 21, casi todos los habitantes de Cuba tienen acceso al suministro de electricidad permanente pero aún quedan miles de habitantes que no tienen ese suministro continuo y con calidad. A pesar de los avances tecnológicos de las últimas tres décadas y de la bajada de los costos de la energía solar fotovoltaica aún quedan muchos de hogares que no tienen el acceso a la electricidad que se desea a lo que se le agrega las decenas de estaciones de telecomunicaciones, faros, bases militares remotas, instalaciones turísticas, etc. que necesitan de la electrificación cuestión que resuelven actualmente con plantas eléctricas movidas con combustibles convencionales, fundamentalmente el diésel. La decisión de no estar conectado a la red eléctrica es prácticamente obligatoria debido a la no existencia de red eléctrica local en muchas zonas como ocurre en los cayos o zonas montañosas o debido a los altos costos de la conexión a la red eléctrica más cercano que puede estar entre los 10 000 dólares, 15 000 dólares por kilómetro o más.

### El recurso eólico

Uno de los aspectos más importantes para la generación de electricidad con energía eólica de pequeña potencia es la caracterización del recurso eólico. Lo que se ha hecho de manera habitual en cualquier lugar y durante los últimos años ha sido caracterizar el recurso eólico como se hace con los grandes aerogeneradores en parques eólicos lo cual resulta demasiado costoso. Esto difiere notablemente de las aplicaciones típicas de la pequeña eólica. En Cuba, como se mencionó al principio, se han elaborado un mapa eólico y un atlas eólico para todo el país que pueden de ser usados en aplicaciones de pequeña eólica. Como alternativa, se sugiere consultar las bases de datos internacionales de acceso libre como el Atlas Eólico Global o Global Wind Atlas por sus siglas en inglés (https://globalwindatlas.info). Esto no quita que si existen medios y recursos para medir durante un tiempo determinado esto sea lo más aconsejable. En la Figura 1 se muestra un ejemplo del uso del Global Wind Atlas [3] [5] [6]

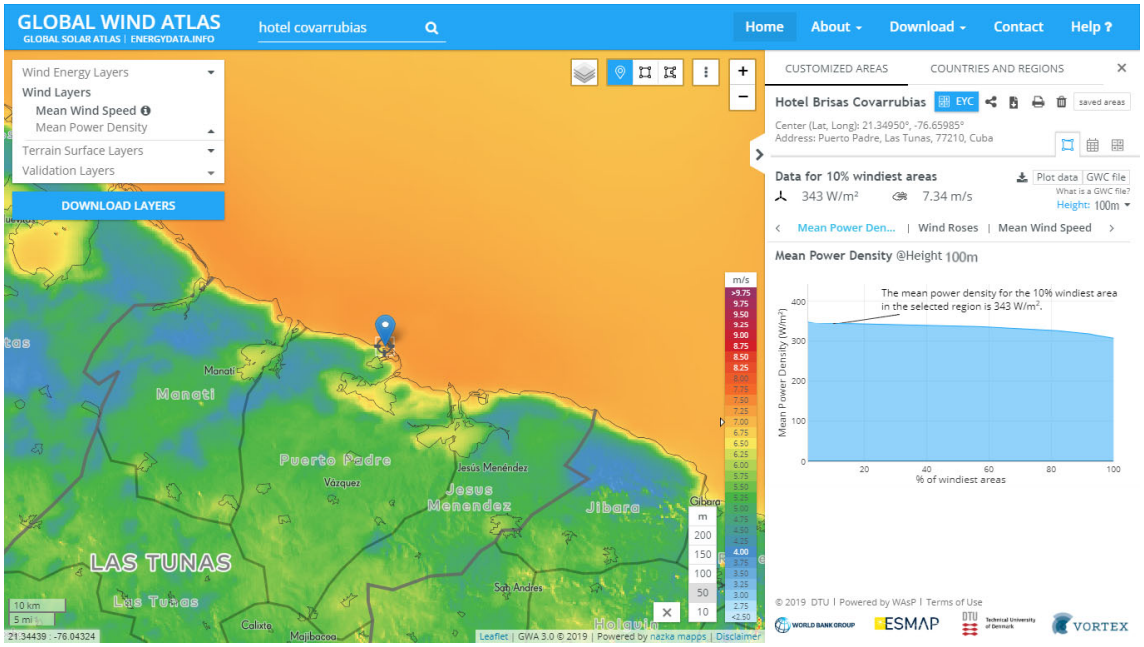



Figura 1. Ejemplo del uso del Global Wind Atlas [7]

Por otro lado, en muchas de esas zonas aisladas existe un recurso eólico favorable a lo largo de todo el año con adecuados valores de velocidad media excepto en los meses de septiembre y octubre cuando las velocidades son más bajas además con relativamente cortos periodos de calma (Figura 2). Además de esto durante los últimos 30 años, los SAEE han alcanzado la suficiente madurez tecnológica mientras que una mejora considerable ha tenido lugar en las baterías y en los equipos electrónicos. [3] [8]

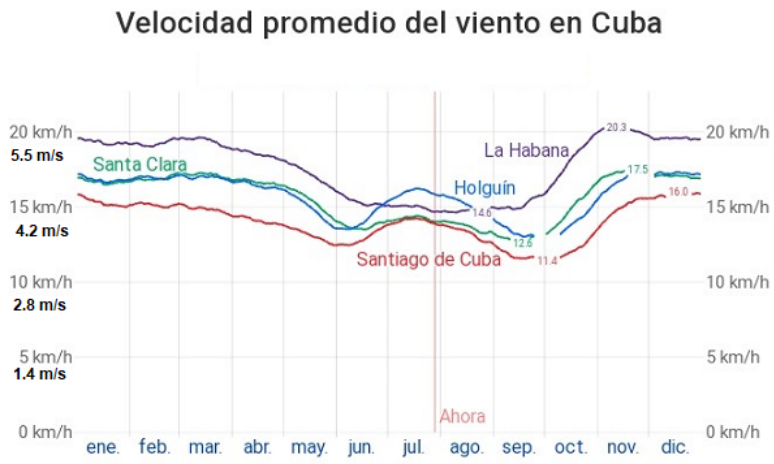



Figura 2. Velocidades promedio del viento a 10 metros de altura

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es reconocido que los SAEE son una solución para enfrentar las necesidades de electricidad para consumidores remotos contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes.

En este epígrafe se presentarán los resultados que se alcanzaron en el desarrollo del trabajo que trajeron como resultado la fabricación del aerogenerador

**Configuración del sistema**

Para satisfacer la demanda de electricidad de consumidores en áreas remotas se recomienda un sistema autónomo de energía fotovoltaica o eólica. Si es eólica pura este es similar al que se presenta en la Figura 3. Este sistema se compone de los siguientes componentes:

1. Un pequeño aerogenerador o turbina eólica con un generador de electricidad que produce corriente trifásica alterna
2. Un banco de baterías
3. Un regulador (rectificador y controlador de la carga de las baterías)
4. Un inversor CD/CA

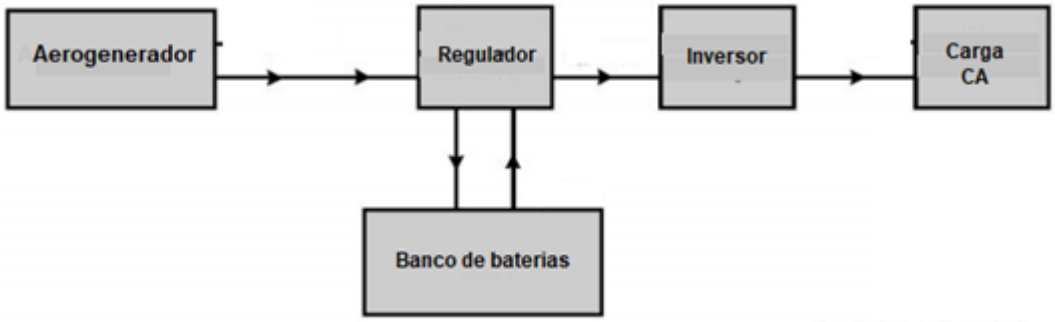



Figura 3. Configuración del sistema autónomo de energía eólica propuesto [4] [9]

El sistema funciona de la siguiente manera:

El pequeño aerogenerador (PAG) de una potencia nominal determinada que produce corriente alterna (CA) trifásica proveniente de un generador de electricidad de imanes permanentes, se conecta a la carga de corriente alterna (CA) a través del banco de baterías pasando por el regulador que rectifica la corriente (la convierte en corriente directa CD) y controla la carga de dichas baterías además del inversor que transforma la CD en CA y la condiciona para ser usada en el objeto a electrificar que puede ser una viviente (Figura 2).
La potencia nominal del PAG depende de la demanda de electricidad, el potencial eólico disponible y las características operacionales de la máquina.
Hay que tener en cuenta que la potencia que entregue la turbina eólica propuesta de ser lo suficientemente mayor para enfrentar la máxima demanda (demanda pico) del sistema.
Considerando que se va a electrificar un objetivo que consume entre 250 y 300 kWh/mes la potencia nominal del aerogenerador es aproximadamente 1 500 W o lo que es lo mismo 1,5 kW.
Una vista general del sistema se presenta en la Figura 4

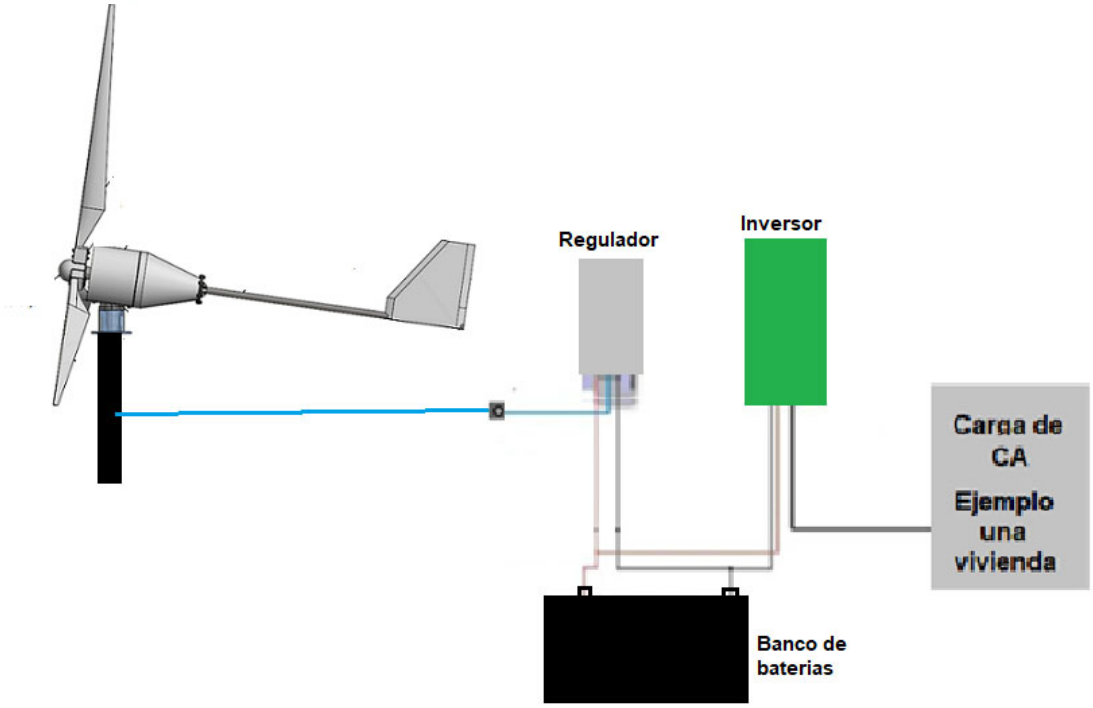



Figura 4. Vista general del sistema [10]

**Etapas del proyecto**

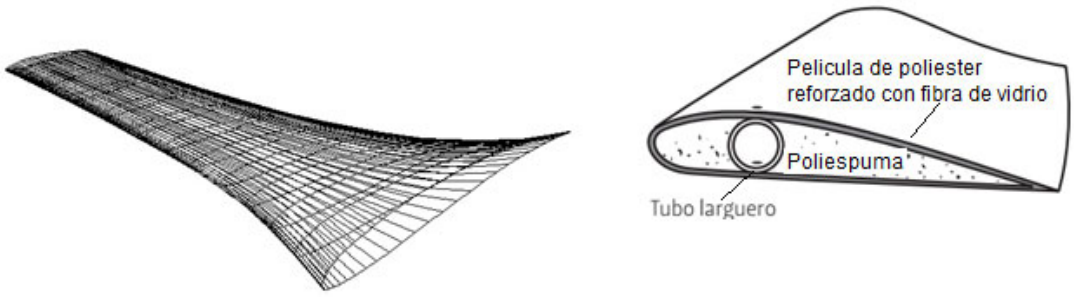
El proyecto se desarrolló en 12 etapas: [2]

Etapa 1. Diseño conceptual, definiendo la topología del prototipo a partir de emplear un generador de imanes permanentes (GIP) de 1500 W factible de adquirir en el mercado. El diseño y fabricación de GIP no se incluye en este proyecto. En la topología se incluyen otras características tales como:

- Cantidad de palas y diámetro de rotor
- Longitud y área de timón de cola;
- Métodos de control de la velocidad de giro y de protección contra vientos extremos;
- Sistema o principio de regulación de carga de las baterías;
- Tipos, alturas y otras características relevantes de las torres soportantes

Etapa 2. Diseños aerodinámico y mecánico del conjunto del rotor (buje y palas) para el prototipo según la potencia nominal definida de 1500 W y las características de diseño y operacionales del generador que se adquiera, con el objetivo de lograr un rotor de alta captación de energía para vientos de baja velocidad.
Etapa 3. Diseño mecánico del conjunto tornamesa / sistema de orientación, con solución de acoplamiento del generador al bastidor y de este conjunto a la torre soportante, con el objetivo de lograr alta robustez que asegure su resistencia a vientos extremos causados por tormentas locales y eventualmente por el embate de huracanes de poca intensidad.
Etapa 4. Diseño eléctrico del sistema de transmisión de corriente del generador hacia la torre, compatible con la solución de acoplamiento del conjunto a la torre soportante
Etapa 5. Diseño aerodinámico y mecánico del sistema de orientación por veleta de cola con solución de acoplamiento al bastidor, en función de elevar la estabilidad del rotor de frente al viento en condiciones de vientos de baja a mediana turbulencia,
Etapa 6. Diseño mecánico de la torre soportante que asegure su resistencia a vientos extremos causados por tormentas locales y eventualmente por el embate de huracanes de poca intensidad. Diseñar también

sistemas de elevación o izaje y a la vez de desmontaje del aerogenerador que permitan su preservación por medios locales ante la posible aparición de huracanes. Una tesis de diploma se defendió con este tema.
Etapa 7. Diseño civil de cimientos que aseguren su resistencia a vientos extremos causados por tormentas locales y eventualmente por el embate de huracanes de poca intensidad.
Etapa 8. Elaborar las plantillas y la carta tecnológica de fabricación de las palas del material compuesto seleccionado, dígase, poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
Etapa 9. Elaborar cartas tecnológicas de los componentes de los aerogeneradores que se pueden fabricar en Cuba incluyendo las torres soportantes
Etapa 10. Fabricar un juego de palas con la calidad requerida bajo subcontrato con una empresa con experiencia en trabajo del PRFV
Etapa 11. Fabricar las partes y componentes del prototipo incluyendo las torres soportantes y su sistema de levantamiento o izaje y desmontaje.
Etapa 12. Elaborar y aplicar los protocolos de las pruebas de obtención de la curva de potencia
De todo el diseño previamente explicado lo más interesante fue el diseño de las aspas que se realizó desde el punto de vista aerodinámico y desde el punto de vista estructural.
Un diseño aerodinámico eficiente repercute en un aumento de la potencia generada, y en la disminución de las cargas sobre el rotor y el aerogenerador en general. Para esto se elaboró un modelo matemático que tuvo en cuenta el diseño geométrico de la pala y el diseño estructural donde se tuvieron en cuenta todos los tipos de cargas que sobre el rotor actúan. Es precisamente en esta parte del diseño es donde se tiene en cuenta el elemento que lo hace apto para trabajar a bajas velocidades. Igualmente, una tesis de diploma se defendió con este tema. En la Figura 5a se muestra una vista tridimensional del aspa diseñada.




(a) (b)

Figura 5. Vista espacial del aspa diseñada

Las aspas deben ser de bajo peso y tener un comportamiento mecánico adecuado durante su vida útil y los materiales compuestos son los que cumplen todos estos requisitos, por eso se han impuesto. Se utilizó el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con un tubo larguero que atraviesa el aspa desde la base hasta la punta como se muestra en la Figura 5b [4]

## 3. RESULTADOS

Después de una intensa búsqueda bibliográfica de las mejores experiencias mundiales y del estudio de las diferentes variantes que se comercializan se llegó a que el aerogenerador a diseñar y fabricar debía tener las siguientes características:

**Características técnicas**

De acuerdo a las diferentes variantes existentes, finalmente se decidió diseñar y fabricar un aerogenerador de 1500 watts con las siguientes características:

- Rotor de tipo hélice de eje horizontal con dos palas o aspas de frente al viento (a barlovento) y un diámetro de rotor de 3,80 metros de acuerdo con las características del generador eléctrico.
- Las palas van unidas al eje del generador a través del buje. El buje es de tipo rígido.

- El rotor se conecta directamente a un generador de imanes permanentes que produce corriente alterna trifásica.
- Se orienta con respecto a la dirección del viento por una veleta de cola.
- Posee un sistema de regulación de velocidad de las palas por perdidas aerodinámicas (stall).
- La torre soportante es tubular es de 12 metros de altura, con una bisagra en la base hace que el equipo sea abatible o plegable y atirantada en cruz. El diámetro del tubo de la torre es de 6 pulgadas.
- El sistema posee un cuadro de control/regulador que en primer lugar transforma la corriente alterna trifásica generada por el alternador en corriente continua 24 V para la carga del banco de baterías. Además, controla el estado de las baterías evitando sobrecargar la misma y controla el funcionamiento del aerogenerador [1]

Una vista lateral del aerogenerador y sus partes se presenta en la Figura 6

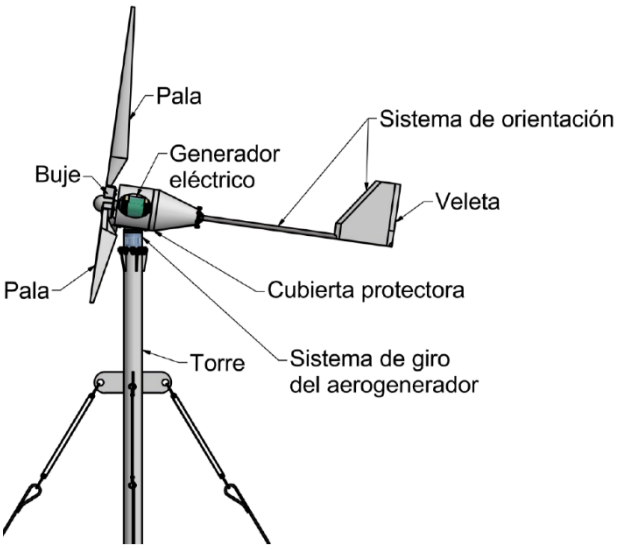



Figura 6. Vista lateral del aerogenerador

En la Figura 7 se muestra el aerogenerador ya montado donde se observa la torre, los cimientos y la bisagra que lo hace abatible o plegable.

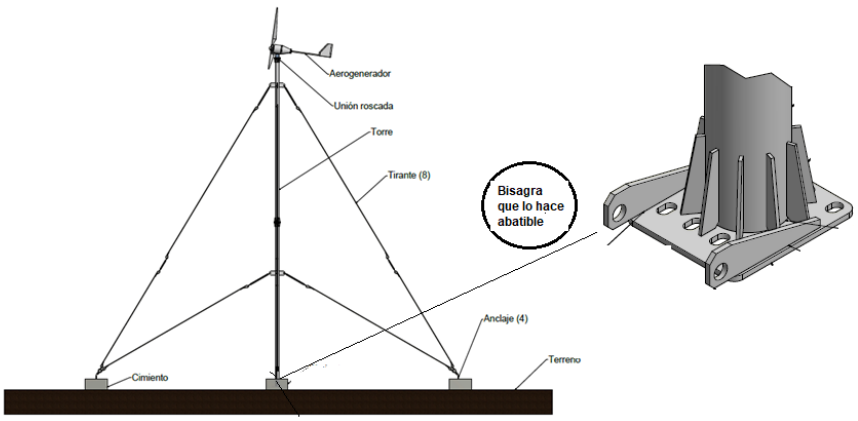



Figura 7. Montaje del aerogenerador

De todas las etapas del proyecto la única que no se cumplió fue la última, la numero 12 que no se completó por problemas con los instrumentos de medición. Una curva de potencia similar a la que se debió llegar se muestra en la Figura 8 [1]

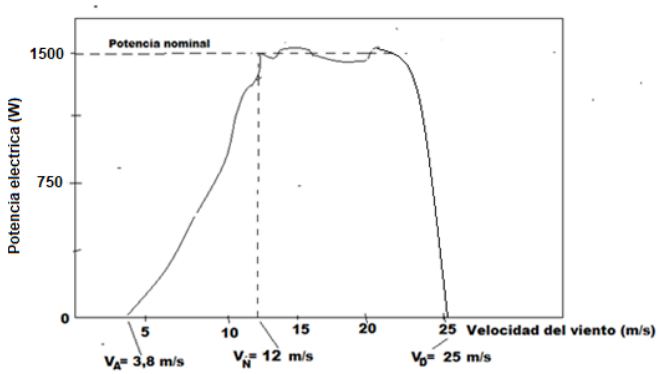



Figura 8. Curva de potencia estimada

## 4. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y fabricado un prototipo de pequeño aerogenerador que es lo más difícil de alcanzar en nuestras condiciones. De obtenerse finalmente la curva de potencia y decidirse su producción en serie pudiera convertirse en un producto exportable lo cual respondería a la política de introducir los resultados innovadores y convertirlos en productos exportables. Se ha ganado en experiencia tanto en el diseño como en la fabricación lo que permite su producción en serie reduciéndose así los costos de producción, aumentando la productividad y mejorándose la calidad del producto. En el área del Caribe y Centroamérica no se fabrica este equipo. Tiene la ventaja este diseño de pequeño aerogenerador que combina su uso en zonas de baja velocidad del viento y a la vez que posee facilidades tecnológicas (bisagra en la base) que le permiten resguardarse de fuertes vientos incluyendo los huracanes mediante un sistema de abatimiento lo cual es característico de nuestra área caribeña. Hace casi dos años resistió los embates de los altos vientos del huracán Ian, de categoría 3, durante la madrugada y parte del día 27 de septiembre de 2022 lo que demuestra la alta fiabilidad del diseño y fabricación. La participación de la fábrica GEDEME TORRES perteneciente al Grupo GELECT fue decisiva por cuanto llevo a cabo, con sus técnicos, la fabricación, ensamblaje y montaje de todas las partes y componentes aportando además la mayor parte de los materiales necesarios para ello. Se demostró que más de la mitad de sus partes y componentes es factible de fabricar en Cuba por lo que el ahorro por sustitución de importaciones es evidente. El alcance de este trabajo no permite profundizar en este aspecto, pero es evidente, sin sacar cuentas, que sustituye importaciones y que en un taller sin mucha sofisticación puede realizarse como se hizo en GEDEME TORRES. Como este taller hay innumerables en Cuba.

Además, esta experiencia demuestra que Cuba está en posibilidad de aplicar la adquisición de tecnologías extranjeras mediante la denominada Transferencia de Tecnología de los PAGs. Esta tiene una gran importancia para el desarrollo económico y social de los países en desarrollo ya que se refiere a toda operación que contemple la transmisión de los conocimientos y permita a la entidad receptora fabricar en las mismas condiciones que la entidad proveedora de la tecnología o innovar a partir del conocimiento adquirido. Es decir, estamos en condiciones de asumir un convenio de transferencia de tecnología con fabricantes de otros países con experiencia en estos equipos.

## REFERENCIAS

1. MORENO, C; MEDRANO J.A. "Anexo 14. Modelo Informe Final del Proyecto Diseño, construcción y pruebas de un prototipo de pequeño aerogenerador (PAG) de eje horizontal tipo hélice para las condiciones de baja velocidad del viento Código: PNXXXLH005-010" Programa PNDEIS,, La Habana, Diciembre 2023, 46 pp.
2. MORENO, C; MEDRANO J.A "Anexo 3. Guía metodológica para la elaboración y presentación de Proyectos de I+D+i de los Programas Nacionales, Sectoriales, Territoriales y Proyectos No Asociados a Programas. del Proyecto Diseño, construcción y pruebas de un prototipo de pequeño aerogenerador (PAG) de eje horizontal tipo hélice para las condiciones de baja velocidad del viento Código: PNXXXLH005-010" Programa PNDEIS,,La Habana, Enero 2021, 27 pp.
3. MORENO, C. et al. *Doce Preguntas y Respuestas sobre Energía Eólica:* Editorial Cubasolar, 2018. 602 pp. ISBN: 978-959-7113-51-5
4. MORENO, C., *Energía Eólica, tecnologías y aplicaciones*, Editorial Academia, 2012. 256 pp., ISBN: 978-959-7113-51-5
5. HERNANDEZ, Efrén. "Diseño preliminar de un parque eólico para la zona especial de desarrollo Mariel (ZEDM)". Director Conrado Moreno. Tesis de Diploma. Facultad de Ingenieria Mecánica, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2023
6. TORRES DURAN, Armando. "Evaluación del potencial eólico en el Consejo Popular de Cojimar ". *Revista Cubana de Meteorología*. 2018, vol. 24, núm. 3, pp. 14 -21
7. ENERGY DATA INFO. *Global Wind Atlas*[en linea 12 Abril 2021]. Disponible en https: globalwindatlas.info
8. Westher Spark, Clima y tiempo promedio durante todo el año en Cuba. Disponible en https: //weatherspark.com
9. ARRIBAS, Luis M., *Aerogeneradores de pequeña potencia Material Educativo*, Editorial CIEMAT, 2020.
10. CATALOGO BORNAY 2024, Disponible en https://www.bornay.com

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELACIÓN CON EL MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS DE LA GASIFICACIÓN DE BIOMASA

**Elbis D´Espaux Shelton**[1]

[1]Universidad de Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba
[1]e-mail: eshelton@uci.cu

## RESUMEN

En este trabajo se modela el proceso de gasificación con el objetivo de predecir la composición de los gases generados a la salida del reactor utilizando residuos de madera como biomasa con base en la composición termofísica. Para ello se utiliza el enfoque de las ecuaciones de balance de energía y especies, se empleó la metodología de volúmenes de control y el método de diferencias finitas el cual se aplica para resolver ecuaciones diferenciales parciales que describen el comportamiento del proceso de gasificación. Esto permitirá elevar la calidad del gas producido, teniendo en cuenta el incremento de su poder calórico y la disminución de su contenido de alquitrán, a partir del control de la cinética de las reacciones y considerando también el tamaño de la biomasa. Teniendo en cuenta una serie de consideraciones de gasificación, se llega a una forma discretizada de las ecuaciones diferenciales, generando la solución, logrando una mayor precisión en la descripción de los fenómenos físicos y químicos involucrados en el proceso. Este modelo permite analizar la dinámica del proceso de gasificación, incluyendo la evolución temporal y espacial de las variables involucradas, determinando los perfiles de temperatura y la composición del gas generado a través de la evaluación termodinámica y el control de las variables del proceso sin necesidad de utilizar un analizador de gases.

**PALABRAS CLAVES:** biomasa, ecuaciones diferenciales, gasificación, método de diferencias finitas, modelación

## FINITE DIFFERENCE MODELING OF BIOMASS GASIFICATION

## ABSTRACT

In this work, the gasification process is modeled with the aim of predicting the composition of the gases generated at the reactor outlet using wood waste as biomass based on the thermophysical composition. To do this, the approach of the energy and species balance equations is used, the methodology of control volumes and the finite difference method are used to solve partial differential equations that describe the behavior of the gasification process. This will allow to increase the quality of the gas produced, taking into account the increase in its calorific value and the decrease in its tar content, based on the control of the kinetics of the reactions and also considering the size of the biomass. Taking into account a series of gasification considerations, a discretized form of the differential equations is reached, generating the solution, achieving greater precision in the description of the physical and chemical phenomena involved in the process. This model allows the analysis of the dynamics of the gasification process, including the temporal and spatial evolution of the variables involved, determining the temperature profiles and the composition of the gas generated through thermodynamic evaluation and control of the process variables without the need to use a gas analyzer.

**KEY WORDS:** biomass, differential equations, gasification, finite difference methods

## 1. INTRODUCCIÓN

La gasificación de biomasa es un fenómeno complejo en el que se presenta transferencia de calor y de masa de manera simultánea. El desarrollo de pruebas experimentales que permitan evaluar la influencia de cada uno de los parámetros que intervienen en el proceso enfrenta desventajas significativas, se requiere un alto número de ensayos y, por ende, de una gran disponibilidad de tiempo para optimizar condiciones operativas, recursos, personal calificado y dinero. Los resultados pudieran ser inconsistentes

al no tenerse siempre las mismas condiciones experimentales. Además, la variabilidad de la composición de la biomasa pudiera afectar los resultados.

No se conoce para una biomasa dada la composición del gas a obtener ni el valor de la eficiencia del proceso en un gasificador tipo downdraft, a partir de condiciones específicas del gasificador como temperatura del lecho, y características termofísica de la biomasa, a la hora de diseñar o evaluar una instalación de gasificación. Se necesita predecir la composición de los gases generados a la salida del gasificador, a partir de la composición termofísica de la biomasa, la temperatura del lecho y otras propiedades pues no siempre se tienen los analizadores de gases.

Actualmente hay una tendencia del uso de la modelación de la gasificación para describir el este proceso sin necesidad de desarrollar experimentos, los cuales pueden resultar costosos. Es por eso que en este trabajo se desarrolla un modelo matemático que permite predecir con mayor exactitud la composición del gas generado en un gasificador downdraft usando residuos de madera a través del control de las variables que intervienen en el proceso.

Los modelos matemáticos reportados en la literatura revisada para analizar el comportamiento de un gasificador a escala de laboratorio aplicando el balance de masa y de energía y la minimización de la energía libre de Gibbs no pronostican satisfactoriamente la composición de los gases generados en la gasificación de biomasa a través del control de las variables que intervienen en el proceso lo que introduce un error en la estimación, cálculo y diseño de estas instalaciones.

Las metodologías que utilizan modelos de equilibrio termodinámico suelen ser más simples, por tanto, las predicciones de la composición del gas son menos precisas.

En la revisión de los principales modelos de gasificación se conoce que los investigadores han trabajado con modelos Cero-Dimensionales (0-D) que relacionan variables de entrada y salida prediciendo la composición final del gas obtenido y la temperatura de equilibrio en función de parámetros de entrada: tipo de biomasa (análisis elemental e inmediato), poder calorífico, humedad, temperatura, entre otros. El estudio del proceso de gasificación bajo un planteamiento 0-D, se basa en equilibrio químico y termodinámico [1].

Modelos dimensionales de 1, 2 y 3 dimensiones se utilizan para determinar la evolución de parámetros del proceso termoquímico a través de su paso por el gasificador según el nivel de complejidad y tiempo computacional que se desee invertir en las simulaciones.

Entre los trabajos estudiados están: Pandey et al, el cual referencia al modelo para gasificador de lecho fijo downdraft basado en el equilibrio termodinámico [2], donde a partir de la ecuación de la energía mínima de Gibbs obtiene predicciones de la composición del gas producto en la gasificación de la madera de Eucalipto, también fue estudiado el modelo basado en la minimización de la energía libre de Gibbs de Altafini y Mirandola para la gasificación del carbón, Ruggiero y Manfrida presentan un modelo que permite estudiar el proceso de gasificación variando los parámetros de entrada al modelo [3].

En el presente trabajo se presentan las herramientas necesarias para analizar el desarrollo de un modelo matemático que permite el cálculo de los procesos termoquímicos que se presentan en el interior de un gasificador downdraft y también la determinación de los perfiles de temperatura. El modelo se basó en el planteamiento de las ecuaciones de balance de energía y de especies y se empleó el método de los volúmenes de control. Para ello se utilizó el método numérico de diferencias finitas a través de la discretización de las ecuaciones de balance que fueron determinadas en el proceso analizado.

Los resultados esperados serían un modelo capaz de predecir con mayor precisión la composición del gas generado en el proceso de gasificación, lo que podría permitir obtenerse un gas con mayor poder calórico, a partir del control de la cinética de las reacciones y considerando la formación de alquitrán, la formación de hidrocarburos y el tamaño de la biomasa y valoración económica de las ventajas por la aplicación de la gasificación para obtener energía eléctrica en sustitución de combustible convencional.

La modelación de la gasificación constituye una vía económica a la hora de diseñar un gasificador, con el propósito de describir el proceso dando la composición de los gases a obtener sin tener que desarrollar experimentos, pues se requieren equipos costosos para llevar a cabo la experimentación y no es factible siempre su adquisición [4].

La gasificación es la conversión de un caudal sólido en un combustible gaseoso o líquido que puede ser quemado para liberar energía o ser utilizado para la producción de sustancias químicas valiosas y constituye uno de los recursos que permite sustituir una parte importante de los combustibles fósiles; requiere de un agente gasificante para reordenar la estructura molecular de la biomasa y convertirla en un combustible útil con una relación mayor de la relación hidrógeno-carbón (H/C) [5]. La calidad del gas producido en la instalación depende no solo de las características del flujo de gas, del agente gasificante utilizado, del tipo de biomasa experimental y del diseño del reactor, sino también de los parámetros de operación [6].

El proceso está conformando por varios fenómenos complejos que van desde los mecanismos de transferencia de masa y energía en un sistema reactivo heterogéneo, derivando las etapas de secado y devolatilización del combustible para dar paso a la oxidación de los volátiles y el carbón, con el consecuente cambio del diámetro de las partículas y las pérdidas de presión en el lecho [7].

El proceso de gasificación se realiza en los gasificadores. Estos reactores son apropiados para la producción de energía a pequeña y mediana escala. Debido a las características del mismo es difícil mantener una temperatura de operación uniforme al interior del reactor. Por ello es que resulta impredecible conocer la composición del producto [8].

La biomasa a medida que va atravesando el reactor sufre varias transformaciones hasta su total devolatilización ya que va descomponiéndose hasta convertirse en gas y en otros subproductos que resultan desechables en el proceso final.

Los modelos matemáticos de la mayoría de sistemas, ya sean térmicos, mecánicos, hidráulicos, etc, se representan mediante ecuaciones diferenciales parciales y ordinarias que en la mayoría de los casos requieren de soluciones numéricas. Estas ecuaciones nacen de los balances de masa, de cantidad de movimiento, de energía y de especies (cuando se tienen reacciones químicas) para el sistema a modelar [9]

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo matemático que permita predecir con mayor exactitud la composición del gas generado en un gasificador downdraft usando residuos de madera de Algarrobo a través del control de las variables que intervienen en el proceso.

## 2. MÉTODOS

El proceso de gasificación se modela utilizando ecuaciones diferenciales para describir los fenómenos de combustión y las reacciones químicas involucradas.

Se identifican las especies gaseosas involucradas en el proceso de gasificación, como monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano, nitrógeno, oxígeno, alquitranes, agua y otros productos de gasificación. Se formulan las ecuaciones de balance de masa para cada especie involucrada y las ecuaciones de balance de energía para describir cómo se cambia la energía en el reactor de gasificación. Luego se integran las ecuaciones diferenciales para obtener las soluciones que describen cómo cambian las concentraciones de las especies y la energía en el gasificador en función del tiempo y del espacio.

Los procesos de transformación de biomasa que se presentan al interior del gasificador de lecho fijo se presentan de manera independiente y secuencial a medida que la biomasa va fluyendo a lo largo del gasificador e incrementa su temperatura. Estos procesos al tener dos fases se pueden modelar de manera independiente y luego ser vinculados en el desarrollo del modelo general.

Por tal motivo, la metodología para determinar el gas que se obtiene consiste en emplear primeramente el método de los volúmenes de control, el cual se basa en la aplicación de los balances de masa, de energía y de cantidad de movimiento para cada uno de estos [10].

Este método permite llegar a una forma discretizada de las ecuaciones diferenciales y no requiere de conocer previamente las formulaciones que se aplican en cada volumen de control. Cabe destacar además que demanda de un menor manejo matemático y permite una mayor comprensión de los fenómenos físicos presentes. Luego para cada uno de los volúmenes se aplica el método numérico que más se ajusta que son los elementos finitos y dentro de estos el método de Diferencias Finitas [11].

**Ecuaciones para los balances de especies y energía en las fases gaseosa y sólida**

Se debe tener en cuenta que las propiedades de la fase sólida no tienen influencia sobre las propiedades de la fase gaseosa, excepto en la dispersión.

Las ecuaciones de balance de especies se desarrollan para la cantidad de movimiento en la dirección radial ya que se supone que la velocidad en tubo vacío para la sección transversal del reactor es constante.

Se utiliza convenientemente las coordenadas cilíndricas para plantear las ecuaciones de balance de energía y de masa por la geometría cilíndrica del reactor. De este modo se eliminan algunas raíces cuadradas que se involucran y resulta un modelo más sencillo. El sistema de coordenadas es mostrado en la Figura 1.

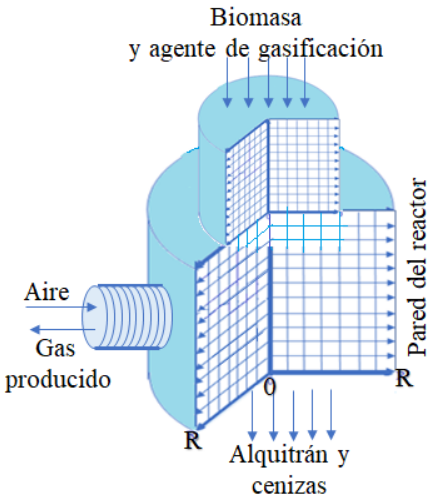



**Figura 1. Representación en coordenadas cilíndricas. Fuente: Elaboración propia.**

En las ecuaciones de balance de la fase gaseosa se considera que la presión total dentro del gasificador permanece constante y es igual a la presión atmosférica.

El balance de energía de esta fase se simplifica suponiendo que la transferencia de calor por dispersión en la dirección axial es despreciable por ser mucho menor que la transferencia de calor por convección debido al alto flujo de gas y la velocidad de los gases en la dirección radial es despreciable y por lo tanto la transferencia de calor por convección en esa dirección también lo es. La ecuación general de balance de energía para la fase gaseosa es:

$$(cC_{p,m})^g \frac{\partial T^g}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rD^g_{r,th}\frac{\partial T^g}{\partial r}) - (cC_{p,m})^g w^g_{ax}\frac{\partial T^g}{\partial z} - (\frac{h_{GP}A_{esp}}{\varepsilon_b})(T^g - T^s_{\sup}) - q^g_{th} \quad (1)$$

Donde $\left(cC_{p,m}\right)^g$ corresponde a los gases albergados en los poros de la fase sólida, $C_{p,m}$ es el calor específico molar (J/molK ), c refiere las concentraciones molares, $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rD^g_{r,th}\frac{\partial T^g}{\partial r}\right)$ es la transferencia de calor por dispersión en la dirección radial, $\frac{\partial}{\partial z}\left(D^g_{ax,th}\frac{\partial T^g}{\partial z}\right)$ es transferencia de calor por dispersión en la dirección axial, D es coeficiente de difusión, T es la temperatura, t es el tiempo, $\left(cC_{p,m}\right)^g w^g_r\frac{\partial T^g}{\partial r}$ es la transferencia de calor por convección en la dirección radial, $\left(cC_{p,m}\right)^g w^g_{ax}\frac{\partial T^g}{\partial z}$ es transferencia de calor por convección en la dirección axial, c es la concentración total de la fase gaseosa, $C_{p,m}$ la capacidad calorífica del gas, w es la velocidad, $\frac{h_{GP}A_{esp}}{\varepsilon_b}(T^g - T^s_{\sup})$ la transferencia de calor por convección entre la fase sólida y gaseosa teniendo en cuenta la porosidad del lecho, $\varepsilon_b$ es la porosidad del lecho y h es el coeficiente convectivo de calor. Este término apunta a la resolución simultánea de la ecuación en ambas fases [9], $q^g_{th}$ refiere la generación por las reacciones químicas al interior del reactor en la fase gaseosa y $A_{esp}$ es el área específica de transferencia, representa el área de transferencia de calor entre las fases sólida y gaseosa por unidad de volumen.

$$q^g_{th} = \sum_{j=1}^{n}\Delta h_{r,m}r_{v,i} \tag{2}$$

$$A_{esp} = \frac{A_p n_p}{V_{total}} \tag{3}$$

$$A_p = \pi d_p^2 \tag{4}$$

$$n_p = \frac{V^s}{V_p} \tag{5}$$

El término $\Delta h_{r,m}$ es la entalpía de reacción de la fase gaseosa y $r_{v,i}$ la velocidad de reacción. El área superficial de las partículas es $A_p$, las partículas son consideradas esféricas.

A partir del sistema de coordenadas es posible establecer las condiciones de frontera. En el punto medio del gasificador, el gradiente de temperatura desaparece debido a la simetría térmica, por tanto, se tiene r=0 lo cual significa que $\frac{\partial T^g}{\partial r} = 0$.

La transferencia de calor por convección entre la pared y el gas en la pared del gasificador cuando r=R significa que:

$$\lambda^g_r\frac{\partial T^g}{\partial r} = h_{WG}(T_W - T_R{}^g) \tag{6}$$

La letra λ es la conductividad térmica. A la entrada del gasificador la fase gaseosa se encuentra a una temperatura establecida z=0 que significa $T^g = T_0$.

A la salida del gasificador no se presenta transferencia de calor. z=L significa que $\frac{\partial T^g}{\partial z} = 0$.

Como condición inicial se tiene que la temperatura de la fase gaseosa es conocida, t=0 significa que $T_{m,n}{}^g = T_{in}{}^g$.

La ecuación de balance de especies para cada componente i de la fase gaseosa es:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rD_{i,r}\frac{\partial c_i}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_{i,ax}\frac{\partial c_i}{\partial z}\right) + \frac{\partial (w_r^g c_i)}{\partial r} - \frac{\partial (w_{ax}^g c_i)}{\partial z} - \frac{\beta A_{esp}}{\varepsilon_b}(c_i{}^g - c_{i,\sup}{}^s) \tag{7}$$

Donde $\frac{\partial c_i}{\partial t}$ representa la concentración para cada especie, $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rD_{i,r}\frac{\partial c_i}{\partial r}\right)$ es transferencia de masa por dispersión en la dirección radial, $D_{i,r}$ es la constante de difusión másica en esa dirección y β es el coeficiente de transferencia de masa. Además, se tiene $\frac{\partial}{\partial z}\left(D_{i,ax}\frac{\partial c_i}{\partial z}\right)$ como la transferencia de masa por dispersión en la dirección axial, $D_{i,ax}$ es la constante de difusión másica en esa dirección, $\frac{\partial (w_r^g c_i)}{\partial r}$ es la transferencia de masa convección en la dirección radial, $\frac{\partial (w_{ax}^g c_i)}{\partial z}$ transferencia de masa por convección en la dirección axial y $\frac{\beta A_{esp}}{\varepsilon_b}(c_i{}^g - c_{i,\sup}{}^s)$ es la transferencia de masa por convección entre la fase sólida y gaseosa teniendo en cuenta la porosidad del lecho.

En el balance de especies supone que la transferencia de masa por dispersión en la dirección axial se desprecia por ser mucho menor que la transferencia por convección debido al alto flujo de gas y la velocidad de los gases en la dirección radial es despreciable, por tanto, la transferencia de masa por convección también lo es. En el punto medio del gasificador, el gradiente de concentración desaparece debido a la simetría del equipo.

A la entrada del reactor la fase gaseosa se encuentra con una composición de entrada establecida z=0 que significa que $c_i{}^g = c_{i,in}{}^g$ y a la salida del gasificador no se presenta transferencia de calor por tanto z=L significa que $\frac{\partial c_i^g}{\partial z} = 0$.

La ecuación general del balance de energía para la fase sólida es:

$$\left(cC_{p,m}\right)_e^s \frac{\partial T^s}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial z}\right) + \left(cC_{p,m}\right)_e^s w_r^s \frac{\partial T^s}{\partial r} - \left(cC_{p,m}\right)_e^s w_{ax}^s \frac{\partial T^s}{\partial z} - \frac{h_{GP}A_{esp}}{1-\varepsilon_b}(T^g - T_{\sup}^s) - q_{th}^s \tag{8}$$

Donde $\left(cC_{p,m}\right)_e^s \frac{\partial T^s}{\partial t}$ representa la acumulación, $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial r}\right)$ transferencia de calor por conducción en la dirección radial efectiva, $\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial z}\right)$ es transferencia de calor por conducción en la dirección axial efectiva, $\left(cC_{p,m}\right)_e^s w_r^s \frac{\partial T^s}{\partial r}$ transferencia de calor por convección en la dirección radial, $\left(cC_{p,m}\right)_e^s w_{ax}^s \frac{\partial T^s}{\partial z}$ es la transferencia de calor por convección en la dirección axial, $\frac{h_{GP}A_{esp}}{1-\varepsilon_b}(T^g - T^s_{\text{sup}})$ es la transferencia de calor de fase sólida a gaseosa teniendo en cuenta la porosidad del lecho y $q_{th}^s$ representa la generación debido a las reacciones químicas al interior del reactor en la fase sólida, consumo energético.

En el balance de energía de la fase sólida se supone que la transferencia de calor en la dirección radial se presenta solo por conducción, ya que no se presenta flujo de partículas en esa dirección.

La transferencia de calor en la dirección axial se presenta por conducción y convección, obteniendo la ecuación:

$$\left(cC_{p,m}\right)_e^s \frac{\partial T^s}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_e^s \frac{\partial T^s}{\partial z}\right) - \left(cC_{p,m}\right)_e^s w_{ax}^s \frac{\partial T^s}{\partial z} - \frac{h_{GP}A_{esp}}{1-\varepsilon_b}(T^g - T^s_{\text{sup}}) - q_{th}^s \qquad (9)$$

En el punto medio del gasificador, el gradiente de temperatura desaparece debido a la simetría del equipo, r=0 significa que $\frac{\partial T^s}{\partial r} = 0$.

La transferencia de calor por conducción y radiación entre la pared y las partículas, en la pared del gasificador se manifiesta cuando r=R.

A la entrada del gasificador la biomasa se encuentra con la temperatura del ambiente circundante. A la salida del gasificador no se presenta transferencia de calor, z=L. La condición inicial es que la temperatura de la fase sólida es conocida.

Según referencia [9], el balance de especies para la fase gaseosa contenida en los poros de la fase sólida se simplifica en la siguiente expresión:

$$r_{v,i} = \frac{\varepsilon_b}{1-\varepsilon_b}\beta A_{esp}(c_i^g - c_{i,\text{sup}}^s) \qquad (10)$$

Esta ecuación representa la transferencia de masa entre la fase gaseosa y los gases contenidos en los poros de la fase sólida y es válida suponiendo que no existen gradientes de concentración al interior de las partículas, es decir cuando la fase sólida se considera homogénea.

Para la condición inicial se tiene que la composición de la fase gaseosa contenida en los poros de la fase sólida es conocida e igual a la del agente de gasificación empleado.

**Aplicación del método de diferencias finitas**

A continuación, se presentan los pasos generales para su aplicación:

Primeramente, se divide el espacio en intervalos finitos, creando una malla que cubre el dominio del problema. Cada nodo en la malla se conoce como un punto de control. Luego se utilizan las ecuaciones del modelo para describir el comportamiento del proceso de gasificación. Estas ecuaciones se aplican a cada nodo en la malla y a cada intervalo de tiempo.

Estas ecuaciones se discretizan, lo cual implica reemplazar las derivadas parciales por diferencias finitas, transformando las ecuaciones en sistemas de ecuaciones algebraicas. Posteriormente se resuelve el sistema de ecuaciones algebraicas utilizando el método de Gauss para las matrices y el método de Newton. De este modo se obtiene la temperatura y la composición del gas.

Al final se comparan los resultados numéricos con datos experimentales para validar la precisión del modelo.

Para comenzar con los cálculos necesarios para la utilización del modelo deben determinarse primeramente las propiedades físicas y químicas en las fases sólida y gaseosa de la biomasa. Además, deben tenerse los coeficientes de transferencia de calor y masa en función de la temperatura y composición. Se empleó residuo de madera de Algarrobo, por la disponibilidad de cinéticas de reacción y de pruebas experimentales para la validación del modelo.

Inicialmente, para cuantificar la producción de gas se caracterizó la biomasa. El algarrobo es un árbol común de madera dura, muy usado para producir carbón de buena calidad. Las características de esta biomasa se obtuvieron por termogravimetría en el laboratorio de la Universidad de Hasselt en Bélgica.

La termogravimetría (TG) es una técnica de análisis térmico en la cual se mide la masa de una muestra a lo largo del tiempo mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica. La masa se mide de forma continua a medida que cambia la temperatura [12].

Las experiencias se desarrollaron en un equipo estándar TGA (Modelo TG-v5.2B) a presión atmosférica y en atmósfera de Nitrógeno, m=10.32 mg. Luego de tener tabulados los resultados se realizó un procesamiento estadístico de la data para caracterizarla utilizando el programa Statistica 12 [13].

Pérdida total de masa: 98,44 %  Contenido de cenizas: 1,56%  Humedad: 12%.

La biomasa presenta excelentes características para emplear como combustible por su bajo contenido en cenizas y de humedad en la calidad de las fracciones orgánicas analizadas

Como variables independientes se tienen la presión y la temperatura de un sistema, ya que, al ser variables intensivas, nunca serán dependientes para el modelo presentado; también las propiedades del sólido son independientes, debido a que únicamente dependen del material del solido cuya condición no se evalúa en el presente modelo.

Como variables dependientes se presentan la entalpia de reacción de la fase gaseosa, las propiedades del gas, la velocidad del gas y el coeficiente de película, debido a que todos dependen del cálculo de la temperatura para poder conocer su valor.

Se determinó que el modelo posee un grado de libertad, lo cual significa algebraicamente que este sistema posee infinitas soluciones, pero como el modelo requiere de una suposición inicial para la temperatura, debido a que es necesario el cálculo de la misma para poder obtener las demás condiciones del modelo y a continuación realizar la cantidad de iteraciones necesarias hasta que el modelo converja, entonces, la obtención de la solución final depende de la suposición inicial de temperatura realizada. O sea, que se refiere a un problema con condiciones iniciales.

La realización de una suposición para una variable desconocida en un sistema con 1 grado de libertad reduce el mismo a 0 grados de libertad, llevando el modelo matemático a que posea una única solución y que cumpla con la condición básica que permite su resolución.

Se finaliza cuando los cambios en las variables calculadas son tan despreciables que se considera que se ha alcanzado el estado estacionario. El error se calcula como la diferencia entre los valores absolutos de cada variable en cada iteración.

Las ecuaciones discretizadas planteadas se satisfacen cuando los residuos calculados para cada nodo, para las dos fases son cero. Sin embargo, los errores de redondeo entre iteración e iteración hacen que estos valores nunca lleguen a serlo. Si se tuviera una máquina con precisión infinita, se llegaría a un residuo nulo después de cierto número de iteraciones. En la práctica, si se trabaja con variables definidas con doble precisión, el residuo descenderá entre iteración e iteración hasta estabilizarse en un valor muy pequeño ($10^{-15}$-$10^{-16}$).

Se puede decir que el método iterativo convergerá para un determinado instante de tiempo, cuando todos los residuos calculados sean menores a un valor previamente establecido.

La solución en este estudio se fijó con 3 cifras decimales exactas, quiere decir esto que se detienen las iteraciones cuando el error sea menor que 0,0005.

Para integrar se especifican perfiles de variación de la variable dependiente entre los puntos de la malla para evaluar las integrales resultantes. La solución obtenida del sistema de ecuaciones discretizadas resultante satisface en forma exacta las ecuaciones consideradas, sin depender del tamaño de la malla.

Se definen los nodos superiores np=0, $0 \leq mp \leq m$. Para estos la temperatura de las fases sólida y gaseosa será constante e igual a la temperatura ambiente. La discretización de la ecuación de balance de masa para la fase gaseosa se realiza de manera similar a las ecuaciones de balance de energía, teniendo en cuenta las ecuaciones de balance y condiciones de frontera planteadas.

$$\frac{D^g_{r,th}}{r}\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta r}+S(T)\left(\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta r}\right)^2+D^g_{r,th}\left(\frac{T_{m+1,n}-2T_{m,n}+T_{m-1,n}}{\Delta r^2}\right)^2+\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta r}-(cC_{p,m})^g w^g_{ax}\frac{T_{m,n+1}-T_{m,n}}{\Delta z}-\frac{h_{GP}A_{esp}}{\varepsilon_b}(T^g-T^s_{\sup})-q^g_{th} \tag{11}$$

Análogamente para la fase sólida la ecuación queda:

$$\frac{\lambda^s_e}{r}\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta r}+\lambda^s_e\left(\frac{T_{m+1,n}-2T_{m,n}+T_{m-1,n}}{\Delta r^2}\right)+\lambda^s_e\left(\frac{T_{m,n+1}-2T_{m,n}+T_{m,n-1}}{\Delta z^2}\right)^2-(cC_{p,m})^s_e w^s_{ax}\frac{T_{m,n+1}-T_{m,n}}{\Delta z}-\frac{h_{GP}A_{esp}}{1-\varepsilon_b}(T^g-T^s_{\sup})-q^g_{th} \tag{12}$$

Así se va haciendo para todas las ecuaciones diferenciales y esto genera una matriz.

Se calcula la matriz de temperatura en cada posición mediante las ecuaciones obtenidas en el balance de energía utilizando la discretización. Se realiza este procedimiento y se analiza el cambio de la temperatura entre iteración e iteración hasta que la desviación está definida por una función de error y este debe ser menor al error prefijado, en este punto se deja de iterar.

En este método, cada nodo es visitado en cierto orden y se calcula el nuevo valor de la variable de interés a partir de las ecuaciones discretizadas. Para los nodos vecinos que ya han sido visitados durante la iteración actual, el valor de la variable de interés es el de esa iteración, sin embargo, para aquellos nodos vecinos que aún no han sido visitados, su valor es el de la iteración anterior.

**Comparación con otros resultados obtenidos**

Si se compara la metodología usada para la modelación con otras empleadas en otras literaturas revisadas se tienen los siguientes resultados:

Empleando datos de la literatura revisada, según Cabrera [14] y Contreras [15], se tiene la composición química aproximada del Algarrobo (Tabla 2):

**Tabla 2. Características fisicoquímicas del Algarrobo.**

| Característica | Algarrobo [14] | Algarrobo [15] |
|---|---|---|
| DPP efectivo (mm) | 1,63 | |
| C | 48% | 46,62% |
| H | 6,23% | 5,73% |
| N | 0,49% | 0,20% |
| O | 43,56% | 32,52% |
| S | 0,05% | 0,08% |
| $c_T$ | 1,20 | 2,82 |
| $\rho$ (g.m.L$^{-1}$) | 0,539 | |
| Humedad (%) | 10,8 | 12,03 |

La comparación de la composición del gas producto resulta para r=R/2=4,125 según lo mostrado en la Figura 2.

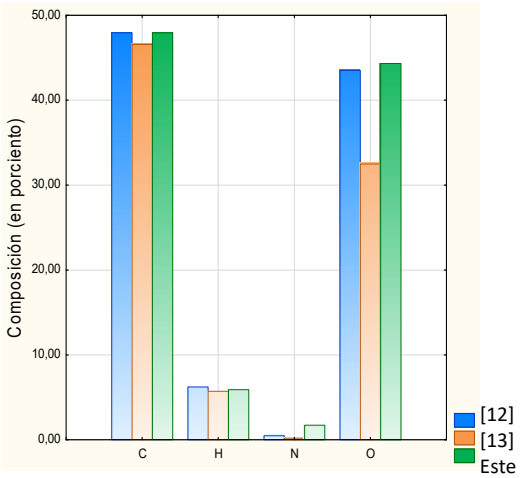



**Figura 2. Composición del gas producto según otras literaturas y este trabajo. Fuente: Elaboración propia.**

Se tiene una desviación igual a 2,63 y 0,41 con [14] y [15] respectivamente. En el segundo caso el porciento de humedad fue el mismo y de ahí que la desviación típica fuera menor. O sea, que la semejanza indica que realmente el modelo resulta más preciso respecto a otros analizados y que no utilizaron esta metodología.

Al comparar con el resultado obtenido por Acosta en [11], quien hace uso también del método numérico de diferencias finitas para obtener sus logros utilizando este gasificador para datos reales con residuos de madera se tiene mediante una técnica estadística de comparación de medias que la desviación standart fue de 0.63 para el producto final, indicando que la diferencia entre el resultado real y el obtenido a través del modelo no es significativa.

## 3. CONCLUSIONES

Este modelo permitió analizar la dinámica del proceso de gasificación, incluyendo la evolución temporal y espacial de las variables involucradas, determinar los perfiles de temperatura y la composición del gas generado a través de la evaluación termodinámica y el control de las variables del proceso sin tener que utilizar un analizador de gases.

Al comparar con las metodologías empleadas en estudios previos pudo constatarse que los resultados son más certeros al validarse con datos experimentales pues se llega a un mejor resultado y más cercano a lo que en realidad ocurre. Esto evidencia la precisión del modelo a pesar de que requiere para su implementación de un mayor conocimiento técnico para desarrollar la discretización espacial y temporal.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias a los datos ofrecidos por los laboratorios de la Universidad Hasselt de Bélgica en colaboración con el Centro de Estudios de Energías Renovables de la Universidad de Oriente y la ejecución se realizó gracias al Proyecto CAPES-MES, en especial al grupo de investigación que coordina el Profesor Dr. José Luz Silveira, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Estadual Paulista en Brasil.

## REFERENCIAS

1. R. Lesme Jaen, L. Rodriguez Ortiz, O. Lesme Jaen, «Modelo simplificado para evaluar las pérdidas de calor al medioambiente en la zona de gasificación de un reactor de flujo descendente» Rev. Tecnología Química. Vol. 42, nº 2, pp. 286-303, Mayo, 2022.
2. S. Pandey, B. Baral, S. Karki y Aadar, « Prediction of Syngas Composition from Biomass Gasification using Thermodynamics Equilibrium Model,» Rentech Symposium Compendium, vol. 3, September 2013.
3. Q. Chen, R. Yang, B. Zhao, Y. Li, S. Wang y H. Wu , «Investigation of heat of biomass pyrolysis and secondary reactions by simultaneous thermogravimetry and differential scanning calorimetry,» Fuel, nº 134, p. 467–476, 2014.
4. A. Caballero-Chavarría, M. P. Rojas-Soto, M. M. Villalobos-Barquero y A. Davis-Barquero, «Simulación de gasificación de biomasa enriquecida con hidrocarburos,» Tecnología en marcha, vol. 32, pp. 60-70, Octubre-Diciembre 2019.
5. E. R. Gutiérrez-Gualotuña, J. A. Soria -Amancha, P. M. Tafur-Escanta y N. Rodríguez-Trujillo, «Modelos matemáticos de los parámetros energéticos de desempeño de gasificadores tipo downdraft mediante técnicas de regresión,» Científica, vol. 23, nº 1665-0654, pp. 69-81, enero-junio 2019.
6. L. I. Cristian, «Diseño del proceso de gasificación para los combustibles sólidos recuperados procedentes de una planta de tratamiento mecánico biológico,» p. 92, 2019.
7. M. R. Muñoz, «Evaluación de un proceso factible para la producción de syngas,» Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra, pp. 390-398, 2019 – 2020.
8. J. d. L. Briseño Escalante, C. Felipe Mendoza , F. López Sánchez y E. Lima Muñoz , «Valorización energética de los residuos sólidos mediante la tecnología de gasificación por plasma,» Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química, vol. 6, nº 191, p. 6, 2020.
9. L. F. Contreras y J. Galvis, "Métodos de diferencias finitas y elementos finitos para ecuaciones diferenciales parciales sobre dominios fractales", Revista integración, vol. 40 nº 2 pp 169-190, Mayo 2023.
10. E. R. Gutierrez Gualotuña, J. C. Almeida y J. Arzola Ruiz, «Modelado de indicadores de operación de un gasificador downdraft por redes neuronales para biomasa Eichhornia Crassipes», Ingeniería Energética, vol 40 nº 3, pp. 212- 222, 2019.
11. P. A. Acosta Camargo y L. A. Chipatecua Hernández, «Modelación del Proceso de Gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo con calentamiento indirecto,» Fundación Universidad de América, vol. BOGOTÁ D.C, 2018.
12. J. A. Sarmiento O´Meara, «Técnicas de caracterización de polímeros: análisis térmico-termogravimetría», https://www.researchgate.net/publication/357656644, 2022.
13. E. D´Espaux Shelton, J. R. Copa Rey y J. Luz Silveira, «Characterization of the Syngas obtained from Carob Tree Wood to Run an Internal Combustion Engine,» XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, Sao Paulo, Brasil, 2015.

14. G. Cabrera, S. Mandriñan y D. Muñoz, «Evaluation the rates of Energy Conversion in the production of biomass fuel gas», Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, nº 2, pp. 118 - 125, 2013.
15. J. R. Contreras O, Eficiencia del carbón activado de la Hymenaea courbaril para la adsorción de niquel en aguas sintéticas a través de un sistema continuo., Maracaibo, Venezuela: Trabajo de Grado MAGÍSTER SCIENTIARUM en ciencias ambientales, Marzo, 2010.

**Sobre los autores**

Elbis D´Espaux Shelton. Graduada de Licenciatura en Matemáticas en la Universidad de Oriente. Maestría en Ciencias en Eficiencia Energética desde 2019. Doctorado Sandwich en la Universidad Estadual Paulista en el Laboratorio de Optimización de la Facultad de Ingeniería Mecánica en Brasil. Profesora de la carrera de Matemáticas en la Universidad de Oriente participando en varios proyectos de Investigación científica. Jefa del departamento de Matemáticas de la Universidad de Ciencias informáticas. Profesora auxiliar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROGRAMA DE EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

**Guillermo Eliecer Valencia Ochoa[1], Giovanni De Jesús Valencia Ochoa[1]**

Universidad Del Atlántico, Carrera 30 Número 8-49, Puerto Colombia, 080007, Colombia.
[1]e-mail: guillermoevalencia@mail.uniatlantico.edu.co

**RESUMEN**

El cambio climático, impulsado por las emisiones de gases de efecto invernadero, es un problema global que requiere atención urgente, gran parte de estas emisiones provienen de los procesos industriales, lo que hace fundamental mejorar la eficiencia energética en este sector. Por su parte, la norma ISO 50001 ofrece un marco para que las empresas reduzcan su consumo energético y emisiones mediante la implementación de prácticas sostenibles. Este estudio analiza el desempeño energético de una planta de producción de pastas. Se emplearon un diagrama energético productivo y un análisis de Pareto para identificar los equipos de mayor consumo. Asimismo, se determinó la huella ecológica de energía capaz de absorber los residuos producidos. En adición, se evaluó el desempeño energético utilizando líneas base y meta, considerando el análisis mes a mes y los indicadores de desempeño energético. Los resultados indican que se necesita aproximadamente 776 hectáreas para absorber todas las emisiones generadas. Además, se encontró un potencial de ahorro mensual de 11,195 kWh, lo que equivale a un 3.44% del promedio mensual, representando aproximadamente $4,646,146 COP. Se recomienda implementar cambios operativos que permitan optimizar el consumo energético, tales como la reducción de tiempos muertos en producción, ajustes en los cambios de referencia y la disminución de reprocesos, entre otros.

**PALABRAS CLAVES:** gestión energética, ISO 50001, transición energética, huella ecológica.

## INTEGRATED ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT ASSESSMENT PROGRAM FOR THE FOOD INDUSTRY

**ABSTRACT**

Climate change, driven by greenhouse gas emissions, is a global problem that requires urgent attention, and much of these emissions come from industrial processes, making it essential to improve energy efficiency in this sector. The ISO 50001 standard provides a framework for companies to reduce their energy consumption and emissions by implementing sustainable practices. This study analyzes the energy performance of a pasta production plant. A production energy diagram and a Pareto analysis were used to identify the equipment with the highest energy consumption. The ecological energy footprint capable of absorbing the waste produced was also determined. In addition, energy performance was evaluated using baselines and targets, considering month-to-month analysis and energy performance indicators. The results indicate that approximately 776 hectares are needed to absorb all the emissions generated. In addition, a monthly savings potential of 11,195 kWh was found, which is equivalent to 3.44% of the monthly average, representing approximately COP $4,646,146. It is recommended to implement operational changes to optimize energy consumption, such as reducing downtime in production, adjustments in reference changes and reducing reprocessing, among others.

**KEY WORDS:** energy management, ISO 50001, energy transition.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero se consideran los principales responsables del cambio climático global [1, 2]. Estos gases, que intensifican el calentamiento global, se acumulan en la atmósfera, y la mayor parte de las emisiones provienen de los procesos de conversión de energía. Por esta razón, tanto la industria como la investigación deben centrarse en mejorar la eficiencia en la producción, lo que no solo permitirá ahorrar energía, sino también reducir de manera significativa los costos de producción y el impacto

ambiental [3,4,5]. Diversos investigadores en todo el mundo han trabajado en mejorar la eficiencia de los procesos industriales mediante una gestión energética adecuada, que se reconoce como la estrategia más eficaz para disminuir las emisiones contaminantes en la industria [6,7,8].

Para lograr estos avances, se han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir el comportamiento energético en instalaciones industriales y optimizar su rendimiento [9]. Una forma esencial de evaluar el desempeño energético de equipos o plantas es a través del uso de líneas base, mientras que las meta líneas permiten establecer objetivos energéticos en la gestión de operaciones [10,11]. Además, la implementación de una gestión energética eficiente no solo reduce los gases de efecto invernadero, sino que también genera ahorros en combustibles y servicios energéticos. En varios países, estas prácticas reciben incentivos fiscales, mientras que, en otros, las empresas que no adopten estas medidas pueden enfrentar impuestos adicionales [12].

Por otro lado, la gestión energética tiene un impacto positivo en la seguridad económica, ya que disminuye la dependencia de energía importada, estabiliza la economía, reduce las presiones inflacionarias y mejora la salud de la población [13]. Dentro de los equipos que pueden beneficiarse de una gestión operativa se incluyen compresores, calderas, refrigeradores y chillers, cuyo consumo energético puede minimizarse mediante ajustes operativos [14,15]. Un estudio relevante realizado en Hunan, China, aplicó análisis cuantitativos para evaluar la eficiencia energética de calderas industriales, estableciendo un estándar regional de eficiencia [16]. En Cuba, un algoritmo computacional mejoró el rendimiento energético de una caldera en una central térmica, reduciendo el consumo de combustible y los costos de mitigación [17].

Este artículo presenta una caracterización energética de una planta de producción de pastas en Barranquilla, Atlántico, Colombia. Se elaboró un diagrama energético productivo, se utilizó un análisis de Pareto para identificar los equipos con mayor consumo energético, y se evaluó el desempeño a través de líneas base y meta líneas. Además, se identificó oportunidades de ahorro que permitieron proponer un sistema de gestión energética conforme a la norma ISO 50001.

## 2. METODOLOGÍA

La empresa de pastas cuenta con 2 líneas de producción de pastas cortas, una línea de producción de especialidades y una línea de producción de pastas largas, con una capacidad instalada de 5000 kg/hora y alrededor de 160 empleados que conforman su fuerza laboral.

### Diagrama energético productivo

Actualmente, la empresa ha venido en un proceso de instalación de un sistema de tele medición el cual le permite obtener datos del consumo en tiempo real. Este sistema está siendo implementado desde mediados de septiembre y la organización en el marco de sus políticas de sostenibilidad ambiental se ha planteado como meta la reducción de la huella de carbono y como ruta esta la gestión energética, la cual la ha motivado a hacer partícipe de este programa. En la Fig. 1 se detalla el diagrama energético productivo de la empresa de pastas en el cual se evidencia la dosificación de la materia prima en 4 líneas (A-B-C-D).

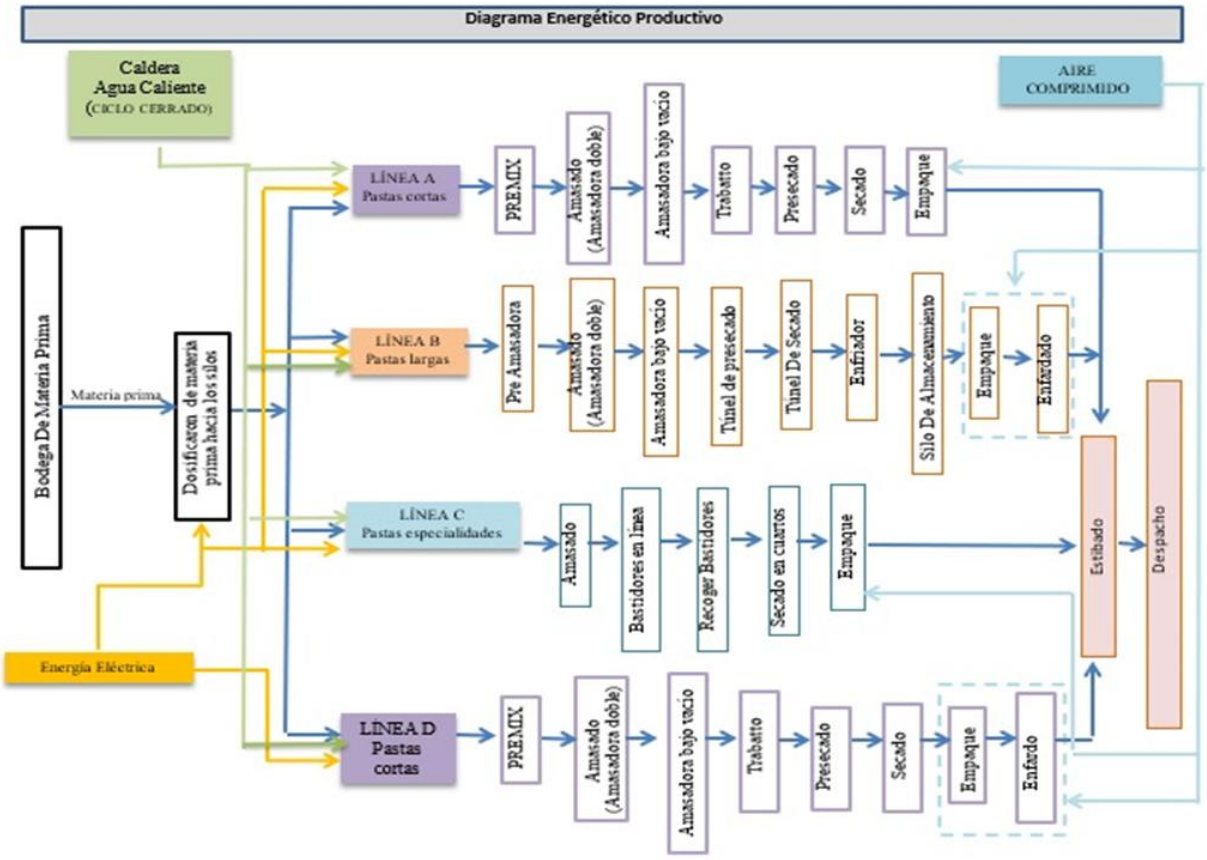



Figura 1: Diagrama Energético Productivo

**Matriz energética**

La empresa cuenta con dos energéticos primarios, energía eléctrica y gas como se observa en la Fig. 2. Por un lado, el gas constituye el 68.38% del total de energía primaria, esta energía es usada para la generación de agua caliente y vapor requerido en las etapas de producción de las pastas. Por otro lado, la energía eléctrica (31.68%), se usa para generar aire comprimido y el resto de energía es usada en las etapas del proceso de cada línea y uso administrativos, iluminación y ventilación.

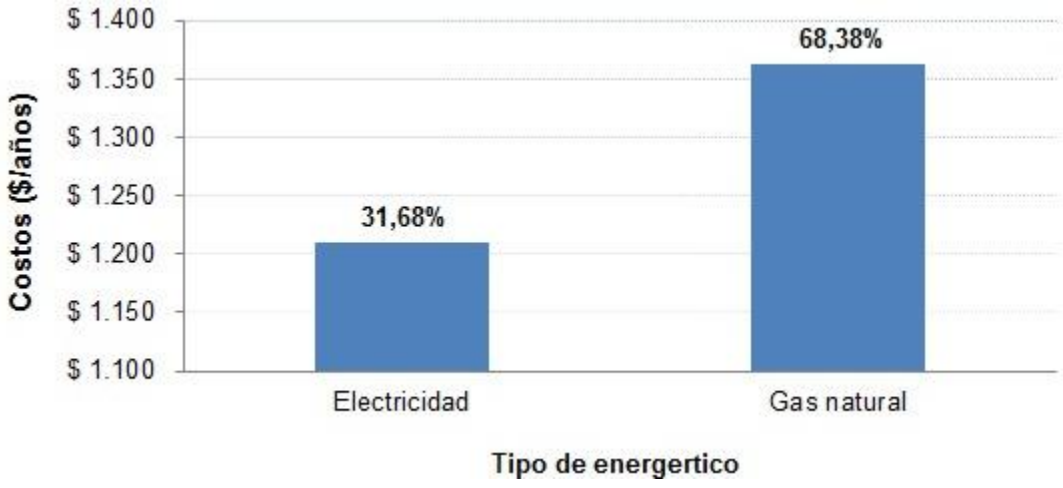


Figura 2: Costos energéticos primarios.

**Identificación de variables significativas de los USES**

Las variables significativas son aquellas variables del proceso que impactan significativamente en consumo energético en los USES o a nivel global. En la Tabla 1 se muestran las principales variables por USE para energía eléctrica.

Tabla 1: Variables significativas del proceso.

| Variables | Sistema de refrigeración | Sistema Aire comprimido |
|---|---|---|
| Variables independientes de la operación y mantenimiento | Producción, temperatura y humedad externa | Producción, temperatura y humedad externa |
| Dependientes de la operación. | Tiempos muertos por limpieza/carga de vacío en motores | |

**Análisis del desempeño mes a mes**

El análisis del desempeño mes a mes es una metodología que se basa en realizar una comparación del consumo absoluto de energía de un mes respecto al mes anterior. El mes a evaluar es $n$ y el mes de referencia es $n_{+1}$. El consumo absoluto de energía de un mes con respecto al siguiente mes puede cambiar por cambios en la cantidad de producción realizada o por cambios en la eficiencia energética con que se realiza la producción. El cambio total absoluto del consumo de energía es igual a la suma del cambio del consumo por producción más el cambio del consumo por eficiencia energética.

## 3. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Existen indicadores que permiten evaluar cuál es el desempeño del uso y del consumo de energía de la planta. La confiabilidad del desempeño ( $CD$ ), la frecuencia perdida del desempeño ( $FPD$ ), el tiempo promedio de recuperación del mal desempeño ( $TPRMD$ ), y la efectividad del desempeño ( $ED$ ), se definen en las siguientes ecuaciones.

$$CD = \frac{TiempoDeBuenDesempeño}{TiempoTotalDeEvaluación} \quad (1)$$

$$FPD = \frac{TiempoTotalDeEvaluación}{VecesQueSe\,\mathrm{Re}\,cuperaDeMalDesempeño} \quad (2)$$

$$TPRMD = \frac{TiempodeMaldesempeño}{VecesQueSe\,\mathrm{Re}\,cuperaDeMalDesempeño} \quad (3)$$

$$ED = EnergíaAhorradaEnElPeriodoDeEvaluaciónPorGestion \quad (4)$$

**Huella ecológica de energía**

Tanto el consumo de recursos, como la generación de residuos pueden ser convertidos en la superficie productiva necesaria para mantener estos niveles de consumo, o, en otros términos, en la huella ecológica (HE). La HE es definida como la superficie de tierra productiva o ecosistema acuático necesario para mantener el consumo de recursos y energía y absorber los residuos producidos por una determina población humana o economía, considerando la tecnología existente. La huella ecológica, es subdivida en distintas sub-huellas como cultivos, pastos, bosques, mar, construcción, y energía. En este sentido, la

huella de energía se define como el área de bosque necesaria para absorber las emisiones de $CO_2$ procedentes de la quema de combustible fósiles.

De acuerdo a la Resolución 843-2016 de la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (UPME) se generan $0.41 TonCO_2$ por cada mega watt ( $MW$ ) de energía producida. Así mismo, según el Panel internacional sobre cambio climático (IPCC,2001), el indicador para calcular las hectáreas requeridas para absorber las $TonCO_2$ es de $2.6 TonCO_2 / Ha / año$ .

**Línea base y línea meta de energía eléctrica**

La línea base nos representa el modelo lineal significativo del consumo de energía para la empresa. Al realizar la representación gráfica del modelo con los valores reales, se puede identificar valores de consumo de energía mejores que la tendencia de la línea base.

Estos valores permiten plantear metas con aquellos consumos por debajo de la línea base, debido a que en estos consumos se mantuvieron bajo control las variables diferentes a producción que afectan el consumo de energía de la compañía.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las mediciones de producción y consumo de energía de cada una de las líneas se calcularon los indicadores de desempeño energético que permitieron identificar las oportunidades de ahorro para dar cumplimiento a la etapa de decisión estratégica de un sistema de gestión integral de la energía en una compañía del sector alimenticio, cuyos resultados se muestran a continuación.

**Determinación y justificación de los uses**

En la Tabla 2 se muestran los equipos o procesos identificadas por áreas en la planta de producción. Debido a que a la fecha de toma de datos la empresa aún no había completado el sistema de medición, se optó por estimar el consumo de energía mensual a partir de la potencia instaladas de los equipos y las horas de operación diaria suministrada por la organización.

Tabla 2: Estimación de carga instalada.

| .Proceso o Equipo | Consumo [kWh/Mes] | Cusum |
|---|---|---|
| LÍNEA PL-B | 86832.03 | 21.21 |
| LÍNEA PC-A | 62496.10 | 36.48 |
| LÍNEA PC-D | 130895.79 | 68.46 |
| LÍNEA STC-C | 15551.98 | 72.26 |
| Comprensor de aire | 11189.97 | 75.00 |
| Rotopulidor | 4463.01 | 76.09 |
| Calderas 200-150 BHP | 74371.94 | 94.26 |
| Lavadores de aire planta | 2248.28 | 94.81 |
| Lavamoldes | 1655.45 | 95.21 |
| Politastos generales | 456.36 | 95.32 |
| Extractores de aire planta | 4778.44 | 96.49 |
| Iluminación | 5637.49 | 97.87 |
| Acondicionamiento | 5476.42 | 99.21 |
| Otros ( equipos cómputos, etc.) | 3221.42 | 100 |
| **TOTAL** | 409274.75 | |

La Fig. 3 muestra un diagrama Pareto de consumo, costos y eficiencia, en el cual, se observa que el 20% de los elementos que provocan el 80% del consumo de energía, de los costos y de las perdidas.

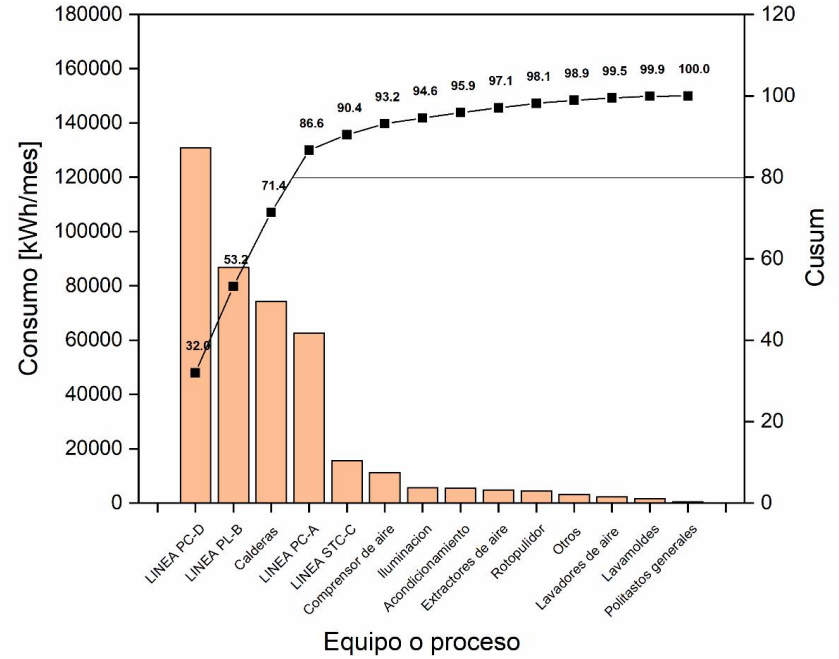



Figura 3: Diagrama de Pareto.

**Producción vs tiempo**

La Fig. (4a) muestra los cambios en el consumo de energía y los cambios de producción realizada mes a mes. Se observa que la variación del consumo de energía no tiende a seguir los cambios en la producción para algunos meses. Podemos notar que entre los meses de marzo y abril hay un aumento de producción y la energía disminuye un poco. La tendencia en el consumo de energía es disminuir. Esto se debe a que existe dos factores que fundamentalmente influyen el consumo absoluto de energía del mes: la producción realizada y la eficiencia con la cual fue realizada dicha producción, es pertinente mencionar que la misma situación descrita anteriormente se repite para los mismos meses en el siguiente año.

La Fig. (4b) muestra el grafico de tendencia anualizada del consumo de energía y producción. Se observa que la empresa a partir del mes de diciembre del 2020 disminuye en la producción y por consíguete en el consumo de energía, permaneciendo en este comportamiento hasta el mes de julio del año 2021, en el cual muestra un repunte en la producción y en el consumo de energía. Además, la intensidad del año 2020 fue de 225,752 kWh/Ton, y de lo que va corrido del 2021 es de 226,80 kWh/ Ton.

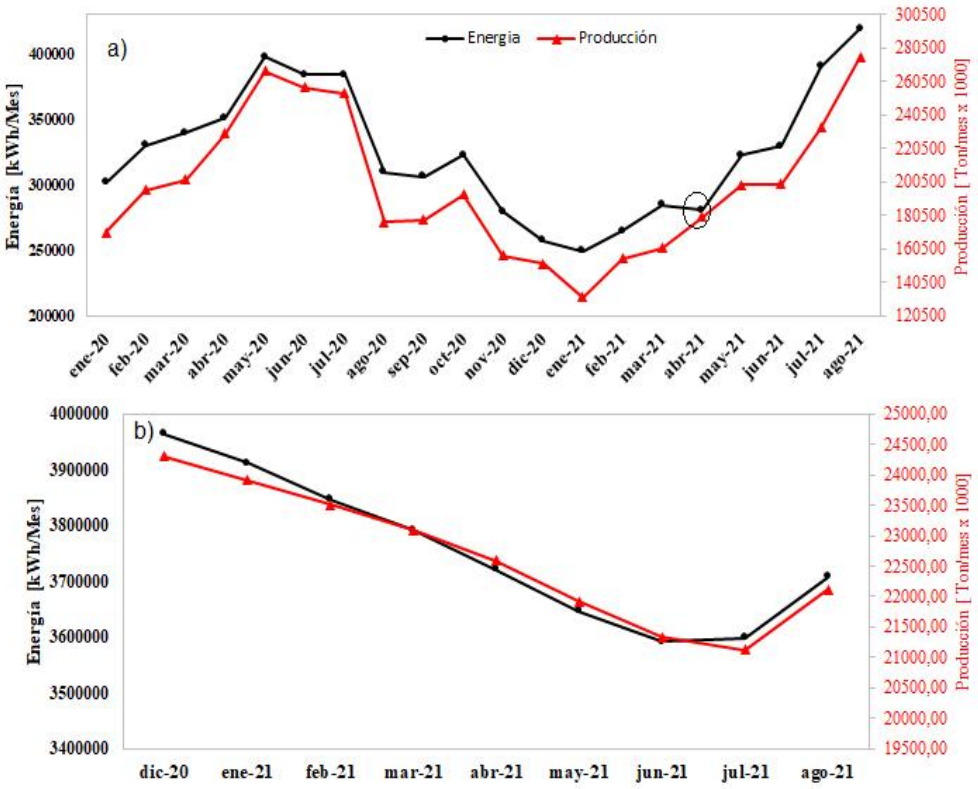



Figura 4:

Relación del consumo de energía y producción: a) gráfico de consumo y producción; b) gráfico de tendencia anualizada.

**Análisis del desempeño mes a mes**

En la Tabla 3 se muestran los principales resultados obtenidos en el análisis del desempeño mes a mes.

Tabla 3: Resultados del análisis en el periodo de estudio.

| Valor promedio del consumo promedio de energía | Valor promedio de la producción realizada en el periodo | Valor promedio del IC en el periodo | Factor de carga promedio en el periodo | Variación total del consumo de energía en el periodo | Variación promedio mensual del consumo de energía en el periodo | % de la variación promedio mensual del consumo promedio de energía mensual en el periodo | Numero de meses de buen desempeño en el periodo | Numero de meses de mal desempeño en el periodo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 325314.74 | 1981.49 | 166.13 | 71.99 | -74514.27 | -3921.80 | -1.21 | 10 | 9 |

Se evaluó el consumo y uso de la energía en un periodo de 20 meses. En el periodo el factor de carga promedio de la producción fue de 71.99%, con un consumo especifico promedio de energía de 166.13 kWh/Ton de producción realizada. Con un máximo de 189.652 kWh/Ton y un mínimo de 148.938 kWh/Ton.

Del periodo de estudio se encontró que 10 meses tuvieron buen desempeño; mientras que 9 meses fueron de mal desempeño. Además, predomino el buen desempeño energético con un ahorro en el consumo de energía de 74514.27 kWh, es decir, un promedio de ahorro mensual de 3921.80 kWh/mes, lo que representa el 1.21% del consumo promedio mensual.

**Indicadores de desempeño energético**

Con el fin de comprender los tiempos de buen y mal desempeño, se graficó la desviación por eficiencia en cada uno de los meses, los cuales se muestran en la Fig. 5.




Figura 5: Variación del consumo de energía de un mes respecto al anterior por variación de la eficiencia energética.

La Fig. 5 muestra las desviaciones del consumo de energía de un mes a otro por eficiencia. Los meses que están por debajo de cero son los meses de buen desempeño energético; mientras que los meses por encima de cero los meses de mal desempeño.

Cuando la línea del grafico pasa de un valor que está por encima de cero a otro debajo de cero, significa que hubo una recuperación del mal desempeño. Si no pasa la línea por debajo de cero, pero reduce su valor significa que mejoro su desempeño, pero aún sigue con mal desempeño ya que está en la zona de mal desempeño. Por otro lado, cuando la línea del grafico pasa de un mes debajo cero a otro inmediato por encima de cero significa que hay una pérdida de desempeño. Si se reduce el valor negativo, pero no cruza la línea de cero indica que empeoro el desempeño, pero aún tienen buen desempeño porque está en la zona de buen desempeño (por debajo de cero).

Con base en los criterios definidos en la metodología, se determinaron los indicadores de gestión del desempeño de la empresa, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Indicadores de desempeño energético.

| Descripción | Valor |
|---|---|
| Tiempo de buen desempeño | 10 |
| Tiempo total de evaluación | 19 |
| Veces que se recupera del mal desempeño | 5 |
| Tiempo de mal desempeño | 9 |
| Confiabilidad del desempeño (**CF**) | 52.64 |
| Frecuencia de pérdida del desempeño (**FPD**) | 3.8 |
| Tiempo promedio de recuperación del desempeño (**TPRMD**) | 1.8 |
| Efectividad del desempeño (**ED**) | -74514.27 |

Con base a los resultados obtenidos de la Tabla 4, se observa que la empresa mantiene un buen desempeño energético el 52.64% de su tiempo de trabajo y el 47.36% mantiene un mal desempeño. Además, la empresa pierde un buen desempeño energético cada 3.8 meses en promedio, lo cual puede considerarse como una frecuencia baja en comparación al periodo de estudio considerado. Sin embargo, el tiempo que la empresa demora en recuperarse de un mal desempeño es de 1.8 meses aproximadamente lo cual se considera aceptable.

Finalmente, en cuanto a la efectividad del desempeño, se observa que la variación total del consumo de energía en el periodo es negativa, lo cual indica que hubo un ahorro de energía de 74514.27 kWh que representa el 1.21% del consumo promedio mensual.

**Huella ecológica de energía**

Con base a los criterios definidos en la metodología, se calcula las emisiones en $TonCO_2$ que la empresa emite mensualmente debido a su actividad productiva, como se observa en la Fig. 6.

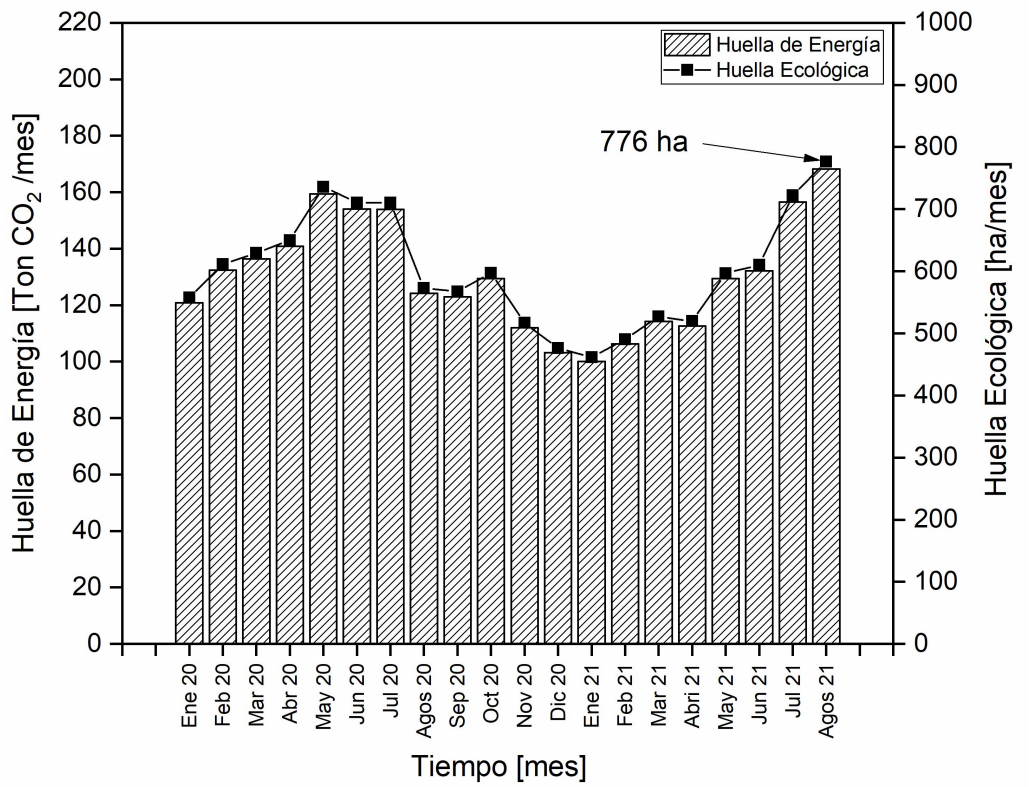



Figura 6: Huella de energía de la empresa.

La Fig. 6 muestra las emisiones mensuales de la empresa, así como la cantidad de bosque necesaria para absorberlos. Por lo tanto, en el periodo de estudio la empresa necesita aproximadamente 776 hectáreas para absorber todas las emisiones generadas, tanto los meses de mayor como de menor emisión, y poder lograr el cero neto de emisiones.

**Línea base y línea meta de energía eléctrica**

En la Fig. 7 se observa la line base y meta para el periodo de estudio. Se observa que 94468 kWh/mes es la energía no asociada a la producción, el cual representa el 38% de consumo promedio mes.

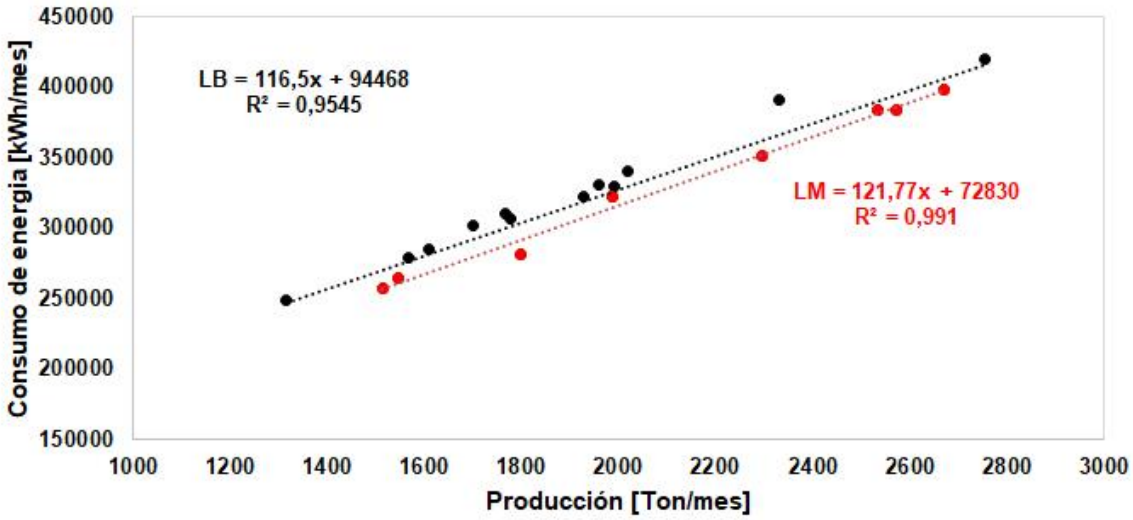



Figura 7: Línea base (LB) y meta (LM) del consumo de energía electica a nivel de empresa.

También se observa la línea meta, la cual arrojo un potencial de ahorros estimado mensual de 11195 kWh/mes lo que representa un 3.44% del promedio mensual, equivalente a $ 4.646.146 COP/mes.
Para alcanzar la línea meta se deben establecer cambios operacionales que permitan obtener ahorros significativos en el consumo de la energía, como los tiempos muertos de producción, los cambios de referencia, los reprocesos entre otros.

En la Tabla 5 se muestran los potenciales de ahorros calculados.

Tabla 5: Indicadores de desempeño energético

| Mes | Producción Total [Ton/mes] | Gas Teórico [$m^3$/mes] | Gas Real [$m^3$/mes] | Real-Teórico | Consumo Meta [ $m^3$/mes] | Potencial de ahorro [$m^3$/Mes] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ene-20 | 1700 | 62030.71 | 62998 | 967.29 | 59724.80 | 2305.91 |
| feb-20 | 1958 | 69037.78 | 71559 | 2521.22 | 66401.20 | 2636.58 |
| mar-20 | 2019 | 70706.27 | 75249 | 4542.73 | 67990.96 | 2715.32 |
| abr-20 | 2296 | 78245.14 | 79892 | 1646.86 | 75174.06 | 3071.08 |
| may-20 | 2670 | 88427.48 | 88563 | 135.52 | 84875.89 | 3551.59 |
| jun-20 | 2572 | 85768.47 | 86772 | 1003.53 | 82342.36 | 3426.11 |
| jul-20 | 2534 | 84738.90 | 88003 | 3264.10 | 81361.38 | 3377.52 |
| ago-20 | 1767 | 63837.42 | 65865 | 2027.58 | 61446.25 | 2391.17 |
| sep-20 | 1778 | 64137.23 | 64031 | -106.23 | 61731.91 | 2405.32 |
| oct-20 | 1927 | 68216.28 | 71631 | 3414.72 | 65618.47 | 2597.81 |
| nov-20 | 1566 | 58375.09 | 61666 | 3290.91 | 56241.69 | 2133.40 |
| dic-20 | 1514 | 56965.93 | 55086 | -1879.93 | 54899.03 | 2066.90 |
| ene-21 | 1315 | 51539.27 | 52324 | 784.73 | 49728.45 | 1810.81 |
| feb-21 | 1547 | 57847.64 | 53984 | -3863.64 | 55739.13 | 2108.51 |
| mar-21 | 1609 | 59532.36 | 57802 | -1730.36 | 57344.35 | 2188.01 |
| abr-21 | 1798 | 64683.46 | 60256 | -4427.46 | 62252.36 | 2431.10 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| may-21 | 1986 | 69810.05 | 67934 | -1876.05 | 67137.03 | 2673.02 |
| jun-21 | 1991 | 69951.92 | 67388 | -2563.92 | 67272.20 | 2679.72 |
| jul-21 | 2331 | 79204.95 | 76867 | -2337.95 | 76088.57 | 3116.37 |
| ago-21 | 2753 | 90684.57 | 86144 | -4540.57 | 87026.47 | 3658.10 |
| **Promedio** | | | 69701 | | | 2667.22 |
| **% Ahorro promedio** | | | | | | 3,83 |

## 5. CONCLUSIONES

Se resalta la necesidad urgente de implementar estrategias de reducción de emisiones y eficiencia energética, con el objetivo de reducir la huella ecológica, y así, la planta logre una producción más sostenible, en base a esto, se recomienda adoptar medidas como la optimización del consumo energético y la inversión en fuentes de energía más limpias.

El estudio ha demostrado que la implementación de medidas de gestión energética, como el control de los tiempos muertos, los cambios de referencia y la optimización de los procesos, puede generar un ahorro significativo en el consumo de energía de la planta de producción de pastas. Este ahorro estimado es del 3.44% mensual, lo que contribuye de manera importante a la eficiencia operativa.

Además, la reducción del consumo energético, que se traduce en un ahorro económico aproximado de $4,646,146 COP por mes, no solo disminuye los costos operativos, sino que también favorece la sostenibilidad de la planta al reducir su huella de carbono. Esto mejora el desempeño ambiental y refuerza el compromiso de la empresa con la producción sostenible.

Adicionalmente, la adopción de prácticas energéticas alineadas con la norma ISO 50001 es fundamental para mejorar el desempeño energético. Estas acciones permiten a la empresa optimizar el uso de sus recursos y mantener su competitividad, promoviendo una gestión energética eficiente y responsable

## REFERENCIAS

1.M. Jakučionytė-Skodienė, R. Krikštolaitis, y G. Liobikienė, “The contribution of changes in climate-friendly behaviour, climate change concern and personal responsibility to household greenhouse gas emissions: Heating/cooling and transport activities in the European Union,” Energy, 246, 123387, 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123387
2. L. Lu, S. Chiu, Y. Chiu, y T. Chang, “Sustainability efficiency of climate change and global disasters based on greenhouse gas emissions from the parallel production sectors – A modified dynamic parallel three-stage network DEA model,” Journal of Environmental Management, 317, 115401, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115401
3. N. Jaiboon, W. Wongsapai, S. Daroon, R. Bunchuaidee, C. Ritkrerkkrai, y D. Damrongsak, “Greenhouse gas mitigation potential from waste heat recovery for power generation in cement industry: The case of Thailand,” Energy Reports, 7(S-5), 638-643, 2021, https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.089
4. S.A. Javed, y D. Cudjoe, “A novel grey forecasting of greenhouse gas emissions from four industries of China and India,” Sustainable Production and Consumption, 29, 777-790, 2022 https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.017
5. S. Li, L. Niu, Q. Yue, y T. Zhang, “Trajectory, driving forces, and mitigation potential of energy-related greenhouse gas (GHG) emissions in China’s primary aluminum industry,” Energy, 239(Part-B), 122114, 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122114
6. F. Kalantzis, y H. Niczyporuk, “Labour productivity improvements from energy efficiency investments: The experience of European firms,” Energy, 252, 123878, 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123878.
7. M.Y Raza, y B. Lin, “Energy efficiency and factor productivity in Pakistan: Policy perspectives. Energy,” 247, 12346, 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123461
8. J. García-Quevedo, y E. Jové-Llopis, “Environmental policies and energy efficiency investments. An industry-level analysis,” Energy Policy, 156, 112461, 2021, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112461

9. W. Cai, Y. Li, L. Li, K. Lai, S. Jia, J. Xie, Y. Zhang y L. Hu, "Energy saving and high efficiency production oriented forward-and-reverse multidirectional turning: Energy modeling and application," Energy, 252, 123981, 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123981
10. J. Wang, J. Zhang, L. Liang, A. Huang, G. Yang, y S. Pang, "A line-based flash heating method for numerical modeling and prediction of directed energy deposition manufacturing process," Journal of Manufacturing Processes, 73, 822-838, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.11.041
11. C. Vrionis, V. Tsalavoutis, y A. Tolis, "A Generation Expansion Planning model for integrating high shares of renewable energy: A Meta-Model Assisted Evolutionary Algorithm approach," Applied Energy, 259, 114085, 2020, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114085
12. J. Gan, y C. T. Smith, "A comparative analysis of woody biomass and coal for electricity generation under various CO2 emission reductions and taxes. Biomass and Bioenergy," 30(4), 296-303, 2006, https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.07.006
13. L. Ryan, y N. Campbell, "Spreading the net: The multiple benefits of energy efficiency improvements," IEA Energy Papers, 8. OECD/ IEA, 2012, https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/04/Spreading_the_Net.pdf
14. K. Chang, C. Tsai, C. Wang, C. Chen, y C. Lin, "Optimizing the energy efficiency of chiller systems in the semiconductor industry through big data analytics and an empirical study," Journal of Manufacturing Systems, 60, 652-661, 2021, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.004
15. M. Khaljani, A. Vennard, J. Harrison, D Surplus, A. Murphy, y Y. Mahmoudi, "Experimental and modelling analysis of efficiency enhancement in a liquid piston gas compressor using metal plate inserts for compressed air energy storage application," Journal of Energy Storage, 43, 103240, 2021, https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103240
16. B. Chen, X. Ye, J. Shen, S. Wang, S. Deng, y J. Yang, "Investigations on the energy efficiency limits for industrial boiler operation and technical requirements—taking China's Hunan province as an example," Energy, 220, 119672, 2021, https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119672
17. Y. Camaraza-Medina, Y. Retirado-Mediaceja, A. Hernandez-Guerrero, y J. Luviano-Ortiz, "Energy efficiency indicators of the steam boiler in a power plant of Cuba," Thermal Science and Engineering Progress, 23, 100880, 2021, https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100880

**Sobre los autores**

Guillermo Eliécer Valencia Ochoa
Doctor en Ingeniería. Docente de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería en la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. E-mail: guillermoevalencia@mail.uniatlantico.edu.co ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5437-1964

Giovanni de Jesús Valencia Ochoa, Ingeniero Electrónico, especialista en gestión eficiente de la energía, Facultad de ingeniería en la Universidad de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. E-mail: valochoa@mail.uniatlantico.edu.co

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY cujae

# RECYCLING OF RENEWABLE TECHNOLOGIES IN CUBA: PHOTOVOLTAIC

**Joel Morales Salas[1], Elier Cañete Bent[1], Carla Viamonte Fernández[1]**

[1]Study Center of Renewable Energy Technologies, Technological University of Havana, 114 street, 11901, Cuba.
[1]e-mail: jmorales@mecanica.cujae.edu.cu

## ABSTRACT

This paper is based on the recycling of renewable technologies in Cuba, spe-cifically photovoltaic solar systems, a topic that is truly of utmost im-portance due to the awareness that humanity has taken with respect to the search for clean energy and care for the environment. The recycling of this technology emerges as an essential component in the transition towards a sustainable and circular economy. First, the available recycling methods are examined in detail, from chemical and mechanical processes to emerging technologies such as pyrolysis and material recovery. Both their effective-ness in the recovery of valuable materials and their environmental impact are evaluated, including considerations on CO2 emissions and toxic waste. In addition, the economic viability of solar panel recycling is analyzed, consid-ering the costs associated with collection, transportation and processing, as well as the potential economic benefits derived from the recovery of materi-als such as silicon, aluminum and glass. In addition, the role of solar panel recycling in the context of the circular economy is addressed, highlighting its contribution to the reduction of electronic waste and the conservation of natural resources. The objective of this work is to obtain the best and most efficient way of recycling photovoltaic solar technology in Cuba through dif-ferent variants according to the country's new business management policy, always taking into account the most viable, economic option that fits the care and protection of the environment.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ

**Josué Imbert González[1], Rolando Santos Guillén Machado[1], Beatriz Bu Alba[1], Elena Gómez Domecq[1], Amilcar Roldan Ruenes[1]**

[1]Universidad de Oriente, Ave. Las Américas s/n. Santiago de Cuba
[1]e-mail: imbert@uo.edu.cu

**RESUMEN**

La aplicación de la gestión total eficiente de la energía en numerosas industrias empleando indicadores de desempeño ha logrado demostrar la efectividad de estos, como sistemas de monitoreo y control energético. En el presente trabajo se establecieron indicadores de desempeño de energía térmica en una de las industrias torrefactora de café que cubren el mercado nacional. La metodología empleada se basó en el modelo de Gestión Integral de la Energía, aplicando para ello las herramientas de la Norma ISO 50001-2011, actualizada en 2019. Fue desarrollada una revisión energética de las instalaciones para evaluar la correspondencia de los consumos eléctricos con los niveles productivos. En la revisión energética, inicialmente se realizó una inspección previa de todas las áreas para conocer las condiciones técnicas eléctricas, y operativas de su equipamiento tecnológico. Como resultado de la aplicación de la metodología fueron identificadas oportunidades de mejora, que permitan reducir los consumos de energía eléctrica, lo que conllevará a mejorar el índice de consumo eléctrico. Finalmente se exponen los resultados de la disminución del consumo energético en el año 2023, por la implementación de un conjunto de medidas derivadas de las propuestas de este estudio.

**PALABRAS CLAVES:** eficiencia energética, gestión integral de la energía, indicador de consumo energético, torrefactora de café

## INDICATOR CONSUMPTION EVALUATION IN ROASTER COFFEE PLANT

**ABSTRACT**

The application of efficient total energy management in numerous industries using performance indicators has demonstrated the effectiveness of these, as energy monitoring and control systems. In this work, thermal energy performance indicators were established in one of the coffee roasting industries that cover the national market. The methodology used was based on the Comprehensive Energy Management model, applying the tools of the ISO 50001-2011 Standard, updated in 2019. An energy review of the facilities was developed to evaluate the correspondence of electrical consumption with the productive levels. In the energy review, initially a prior inspection of all areas was carried out to know the electrical and operational technical conditions of their technological equipment. As a result of the application of the methodology, opportunities for improvement were identified that allow reducing electrical energy consumption, which will lead to improving the electrical consumption index. Finally, the results of the reduction in energy consumption in 2023 are presented, due to the implementation of a set of measures derived from the proposals of this study.

**KEY WORDS:** energy efficiency, behavior energy, energy consumption indicator, roaster coffee plant

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo económico en la actualidad ha tenido como consecuencia severos daños al ambiente, producto del excesivo uso y consumo de recursos naturales con exponencial crecimiento demográfico, respecto a las reservas mundiales. Esta situación ha traído como consecuencia que nuestra civilización enfrenta la necesidad de replantear los procesos de producción e implementar prácticas orientadas a la sustentabilidad [1].

Dada la difícil definición absoluta sobre el concepto de desarrollo sustentable, las múltiples discusiones han contribuido, al menos, a la aceptación de que el desarrollo sustentable constituye un concepto multidimensional que involucra, dimensiones económicas, sociales y ambientales, es decir, se trata de una idea compleja que requiere abordarse desde un ángulo interdisciplinario y de intercambio racional de ideas [2]. La Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo ha definido el concepto de sustentabilidad, como aquel desarrollo que permite a la generación actual satisfacer sus necesidades sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades propias (*World Commission on Environment and Development, 1987*) [3].

La eficiencia energética es considerada un factor clave, para la mitigación del cambio climático y la continua búsqueda de un desarrollo sostenible. La implementación de proyectos de eficiencia energética en el sector industrial contribuye a la reducción de consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. Por la parte competitiva organizacional, promueve el aumento de las utilidades, y la disminución de los costos de operación [4, 5].

En el contexto de la transición energética y el impulso a la gestión eficiente de la energía como parte de la respuesta a la demanda, los escenarios de participación del usuario final en la cadena energética están cambiando. Bajo este panorama, las empresas y los consumidores finales adquieren un rol activo con oportunidades de interactuar con los sistemas energéticos desde la fuente hasta el uso útil de la energía. El enfoque involucra responsabilidades específicas que incluyen las partes interesadas, así como la construcción de indicadores de desempeño energético que permitan evaluar la mejora de la organización en función de una línea de base energética y los planes de acción establecidos [6, 7].

Los indicadores de desempeño energético, son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y supervisar cambios en el rendimiento de la energía, reduciendo pérdidas energéticas en los procesos productivos lo que permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos para alcanzar metas a corto, mediano y largo plazo, así como obtener y mantener altos niveles de eficiencia energética [8].

Los indicadores energéticos deben estar basados en información específica con relación al proceso en el tiempo y medir cambios en una condición a |través del tiempo, facilitando la observación de los resultados de la implementación de iniciativas o acciones. Estos indicadores deben estar basados en informaciones confiables y verificables, lo que los convierte en instrumentos valiosos para determinar cómo se pueden alcanzar mejores resultados en proyectos de desarrollo [9]. Con este enfoque hacia el impacto en el medio ambiente, los indicadores permiten expresar los resultados relativos al desempeño ambiental y acompañar la evolución de las empresas en la implementación de acciones que conllevan a mejorar en el camino de la sustentabilidad [10].

Las empresas en el escenario actual, han venido enfrentando diferentes presiones ciudadanas, que abarca aspectos no solo económico-financiero y de compromiso social; sino que además precisa de un análisis de los distintos grupos de interés y de la visión de las generaciones futuras en la gestión del compromiso ambiental, como parte del eje de la que hoy se hace llamar “empresa sustentable” [11, 12].

En el presente trabajo tiene como objetivo analizar el desempeño de los portadores energéticos, actualizando el índice energético y establecer pautas que pueden ser tomadas en consideración para el enfoque adecuado de la dirección técnica. Esto contribuirá a la obtención de mejores resultados en una de las catorce industrias torrefactoras de café que abastecen el mercado interno cubano.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Unidad Empresarial de Base (UEB) Torrefactora de Café de Santiago de Cuba es una de las catorce UEB pertenecientes a la Empresa de Torrefacción y Comercialización de Café (CUBACAFE), que se subordinan a su vez al Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL). La misma se encuentra ubicada en la Avenida Juan Gualberto Gómez (Yarayó) No 251, Reparto los Olmos, municipio cabecero de la Provincia de Santiago de Cuba.

La entidad cuenta con una línea de producción para la elaboración de café mezclado con 2 tostadores, con veinte años de explotación, entre los que resaltan los equipos de tostado con su respectiva cuna de enfriamiento, diferentes silos para la recepción de la materia prima y el producto en proceso en cada parte de su elaboración, el equipo de molido con una tecnología avanzada y que posee buen estado técnico, el equipo de mezclado y siete máquinas envasadoras del producto terminado.

Esta planta posee en cada una de sus producciones un destino planificado, en el que se aprovechan al máximo todos los productos obtenidos. Entre las principales producciones, se encuentran el café mezclado (con materia prima de 50 % café y 50% de chícharo) y café puro, teniendo como destinos la canasta básica familiar, el turismo y la exportación.

Dado que el desempeño energético se relaciona con la manera en que la energía es empleada, la cantidad de energía que es consumida, y la eficiencia con la que la energía se usa para lograr un resultado deseado, es importante notar que rara vez este puede ser representado con un solo valor o medida [13], en el caso de la entidad objeto de estudio usa como índice de consumo de energía los kWh/toneladas de café procesadas.

En este centro se utiliza como variable fundamental las toneladas de café tostado y molido para la distribución en la canasta básica de la población, es por esto que el control y la planificación del consumo de energía eléctrica que se debería tener para la producción de estas toneladas tienen vital importancia para la entidad y para el país. Actualizar el índice de consumo de energía eléctrica en esta instalación es uno de los principales retos que se proponen para así llevar un mayor control de eficiencia sobre este portador energético.

Por lo general, el establecimiento incumple los planes de consumo de la electricidad y los índices de consumo planificados en el periodo analizado de los años (2018-2022) a pesar de realizar varios esfuerzos en la implementación de medidas de ahorro. A partir de encuestas a trabajadores con experiencia y directos a la producción se pudo comprobar que el deterioro de los índices tiene como causa fundamental la desactualización de los mismos, ya que en la instalación fueron introducidos cambios en su equipamiento tecnológico en este periodo.

Para desarrollar este estudio se partió de las herramientas de la Norma ISO 50001-2011, actualizada en 2019, se realizó una revisión energética para el control de los niveles de eficiencia energética en la entidad, así como la evaluación de la correspondencia del consumo eléctrico con los niveles productivos. En la revisión energética, inicialmente se realizó una inspección previa de todas las áreas para conocer las condiciones técnicas eléctricas, y operativas de su equipamiento tecnológico.

Como parte de la revisión energética se utilizó un analizador de redes Modelo Chauvin Arnoux modelo CA-8334 serie 26141, seguidamente se realizará un análisis por cada parámetro medido, con la finalidad de identificar muchos factores que inciden en el consumo de la energía eléctrica. Esto permitirá encontrar oportunidades de mejora, que permitan reducir los consumos de energía eléctrica, lo que conllevará a mejorar el índice de consumo eléctrico. Finalmente se realizará una evaluación económica de las propuestas planteadas, esto con la finalidad de lograr el ahorro y la eficiencia energética en la entidad.

Los indicadores de desempeño energético, se establecieron siguiendo la metodología la metodología de Rodríguez. et al., 2014 [4] y tomando en cuenta valoraciones anteriores desarrolladas en este mismo tipo de instalaciones [14]

A partir de visitas técnicas realizadas al proceso productivo y entrevistas al personal de la planta y tomando en cuenta el comportamiento del consumo de los portadores energéticos en la empresa, fue analizada la distribución, el uso y/o consumo de la energía térmica en el proceso productivo en el periodo 2019-2022. Con el objetivo de delimitar subsistemas para la aplicación de medidas efectivas que permitan el uso eficiente de la energía.

**Gráficos de control**

Como parte de las herramientas que ofrece la NC ISO 50001, se utilizan los gráficos de control para establecer un sistema de monitoreo de las variables en función de ciertos límites establecidos, los cuales permiten determinar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso.

Comportamiento de la tendencia en el consumo de la energía eléctrica (*E*) vs producción (*P*) en el tiempo. Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción o servicio realizado en el tiempo.

Comportamiento del consumo de la energía eléctrica (*E*) vs producción (*P*). En este caso se gráfica como variable dependiente el consumo mensual de energía eléctrica en kWh y como variable independiente las toneladas producidas mensuales. El modelo matemático que correlaciona ambos elementos, fue definido tomando datos de consumo de Energía térmica y producción mensual desde el mes de enero 2018 a diciembre de 2022. Fueron filtrados el 15% de datos atípicos que presentaron mayor grado de dispersión o variabilidad absoluta entre las variables, por el método estadístico de residual y se generó el gráfico de dispersión y la función que expresa el consumo real de energía frente a la producción.

$$E = mP + E_o \qquad (1)$$

Donde:
*E* - Energía eléctrica en kWh
*M* - Pendiente de la recta en kWh/T y significa la razón de cambio del consumo de energía eléctrica respecto a la producción.
*P* - Toneladas de café procesadas en la entidad, T
$E_0$ - Energía eléctrica no asociada a la producción en kWh.

Una vez obtenida la línea de tendencia o línea base conforme al periodo de estudio, se establecieron los indicadores de desempeño energético: Índice de Consumo (IC), Tendencia o Sumas Acumulativas (CUSUM) e Indicador base 100 (IDE100). Estos indicadores se representaron a través de gráficas que simbolizan diferentes comportamientos que impactan la eficiencia energética. Los indicadores en este estudio fueron expresados en unidades de kW/t de café.

**Gráfico de tendencia del indicador de consumo (IC) vs Producción**

Este indicador que mide el nivel de eficiencia y/o ineficiencia asociada a la producción. La curva de referencia con asíntota en el eje de las abscisas (x); se construyó con valores de consumo de energía obtenido en la ecuación (1).

$$IC = \left(\frac{E}{P}\right) = m + \left({}^{E_0}/_{P}\right) \qquad (2)$$

Donde:
IC - Índice de consumo (IDE)

El gráfico *IC* vs. *P* obtenido de la ecuación 2, es una hipérbola equilátera con asíntota en el eje x, al valor de la pendiente (m) y existe un punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones. Este punto se puede denominar punto crítico. Producciones por debajo del punto crítico no cambian significativamente el índice de consumo; sin embargo, por encima del punto crítico éste se incrementa rápidamente.

**Gráfico de sumas acumulativas (CUSUM).** Este es un indicador del desempeño energético que se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa, área o equipo en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base dado [28, 29 y 30]. Se determina a partir de la siguiente expresión matemática:

$$CUSUM = [(E_{Real} - E_{Tendencia})\, I + (E_{Real} - E_{Tendencia})\, I - 1] \quad (3)$$

Donde
$E_{Real}$ - Energía consumida en el período actual.
$E_{Tendencia}$ - Energía consumida en el período base si la producción hubiera sido igual a la del período actual.
$(E_{Real} - E_{Tendencia})$ - Diferencia entre la energía consumidos en el período actual y la que se hubiera consumido en el período base para igual producción.

**Gráfico del comportamiento del Indicador de Eficiencia Base 100 (IDE 100).** Es un indicador de gestión energética que refleja el comportamiento de los resultados del desempeño energético respecto a la línea de base energética, tomando como cumplimiento el valor 100 [15]. Este indicador permite conocer en qué porcentaje se aumentó o disminuyó el desempeño energético por causa de un cambio en la eficiencia energética de la tecnología o el proceso, un cambio en las prácticas de uso de la energía o un cambio en el consumo, influenciado por el estado técnico o del mantenimiento de la tecnología. Este indicador se forma por la siguiente expresión:

$$IDE100 = \left({}^{E_{Tendencia}}/_{E_{Real}}\right) 100 \quad (4)$$

$E_{tendencia}$ - Energía que teóricamente se debió consumir según (1).

$E_{real}$ -Valor real del consumo medido (kW)
$P$ - Producción realizada medida para el valor de consumo $\boldsymbol{E_r}$. ( t )

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una correcta caracterización energética de la UEB Torrefactora de café Santiago objeto de estudio, se realiza la estratificación del consumo de diferentes portadores energéticos. Ateniendo a que los portadores analizados se encuentran en diferentes unidades de medida, se realizó la conversión de unidades para llevar los portadores energéticos a toneladas equivalente de petróleo (TEP), utilizando los correspondientes factores de conversión, para luego determinar qué porcentaje representa.

Como se puede apreciar la torrefactora tiene como portador fundamental la electricidad que representa el 54,16 % del consumo total de los portadores en el periodo analizado como se observa en la Figura. 1, por esta razón para este centro de producción continua, resulta imprescindible lograr ahorros significativos de consumo de energía eléctrica. No obstante, son imprescindibles enfoques orientados al ahorro del combustible Diesel ya que representa el 44 % del consumo de portadores energéticos

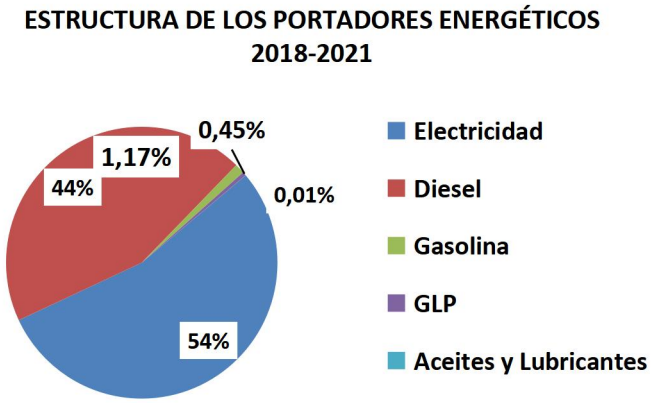



Figura 1: Estructura de los portadores energéticos.

En el periodo analizado de los años (2018 -2021) se muestran los siguientes valores de consumos eléctricos en kWh y las tendencias anuales y mensuales como aparecen reflejados en la Figura 2.

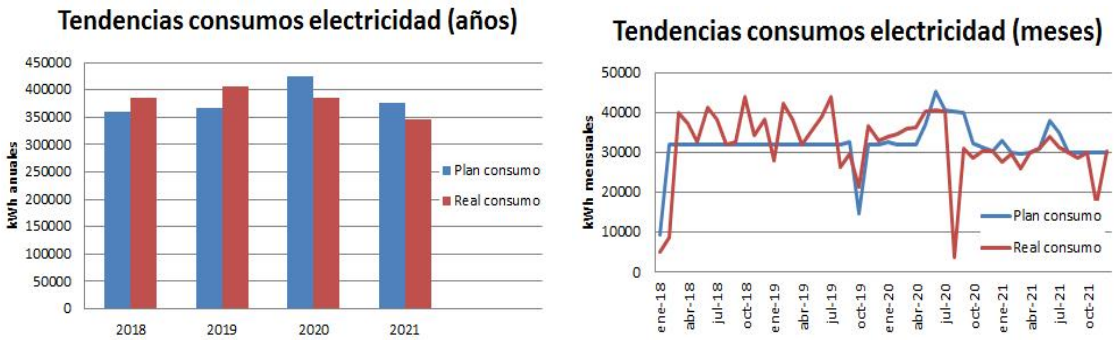



Figura 2: Comportamiento de la tendencia del consumo de electricidad anual y mensual.

A pesar que la entidad presentó incumplimientos de su plan de consumo en los años 2018 y 2019, se observa que a partir del año 2020 hasta el 2021 se enmarca en los planes de energía asignados, como muestra del cumplimiento de medidas de ahorro adoptadas en la entidad y por ende la tendencia en el consumo de electricidad es a la disminución.

**Usos significativos de la energía (USE).**

Se consideran usos significativos de la energía aquellos equipos, o procesos que tienen mayor peso en el consumo de energía. En la determinación de los mismos se empleó el criterio de Pareto, o sea, el 20% de las Áreas o líneas productivas que consumen el 80% de la energía [16, 17]. Posteriormente se estratificó para determinar la muestra que representa el 20 % de las áreas cual es el 20 % de los equipos que consumen dicha energía.

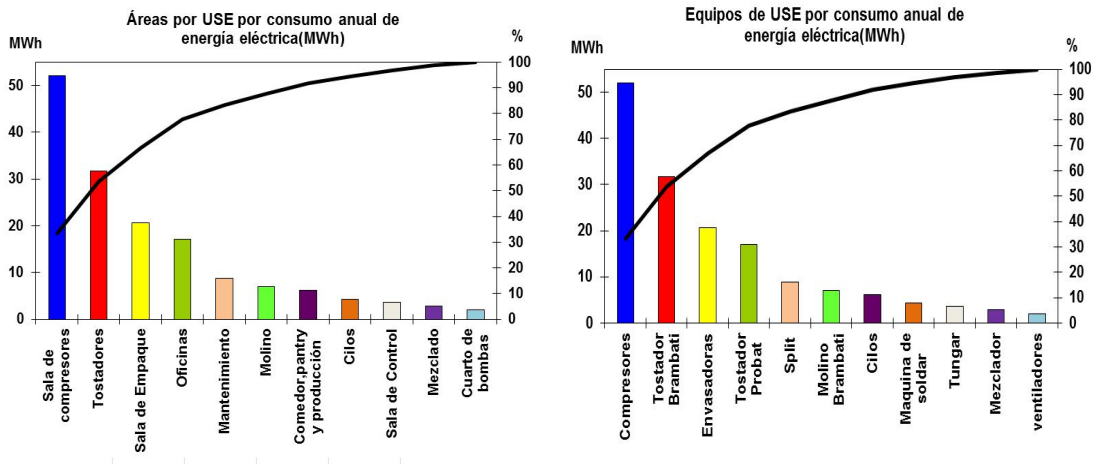



Figura 3: Uso Significativo por área y equipos en la Planta Torrefactora Santiago

Se observa que las áreas que consumen la mayor parte de la energía eléctrica, son la sala de compresores y tostadores, siendo entre los equipos los compresores el equipo de mayor uso significativo de la energía eléctrica en la UEB Torrefactora de café Santiago.

**Gráfico de energía eléctrica (E) vs producción (P) en el tiempo**

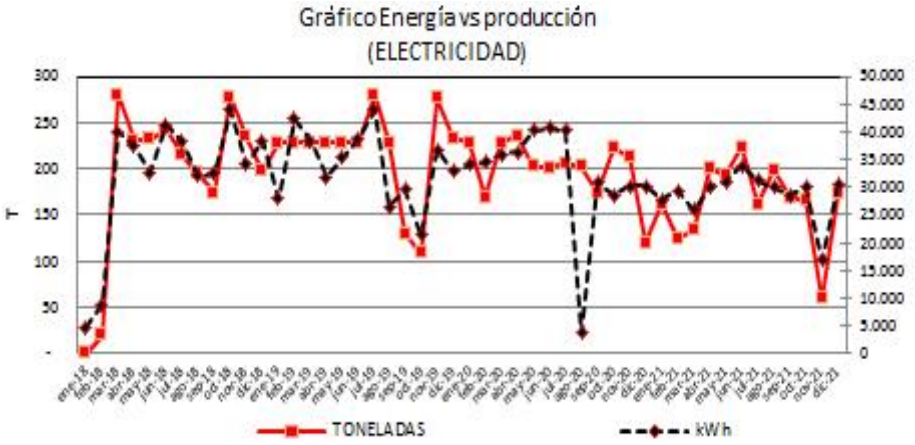



Figura 4: Gráfico de Energía vs Producción UEB Torrefactora de Café Santiago

En la Figura 4 se observan; períodos en que se produjeron comportamientos anormales en la entidad, como la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción y que provocaron las variaciones significativas de los consumos fueron: la falta de materia prima e inestabilidad en el proceso productivo producido por roturas de equipos tecnológicos que ocasionaron paradas imprevistas en el flujo productivo, afectando de esta manera la calidad y eficiencia del proceso de producción de café.

Gráfico de energía eléctrica (*E*) vs producción (*P*). En este caso se obtiene un gráfico de dispersión de la energía consumida por los 4 años analizados (2018-2021) con respecto a la producción realizada durante ese mismo período, utilizando como variable dependiente el consumo mensual de energía eléctrica en kWh y como variable independiente las toneladas producidas mensuales (toneladas) y se determina el coeficiente de correlación ($R^2$) entre ambas variables, siendo el $R^2 > 0.75$ (0,89), lo cual demuestra una excelente correlación entre estas variables.

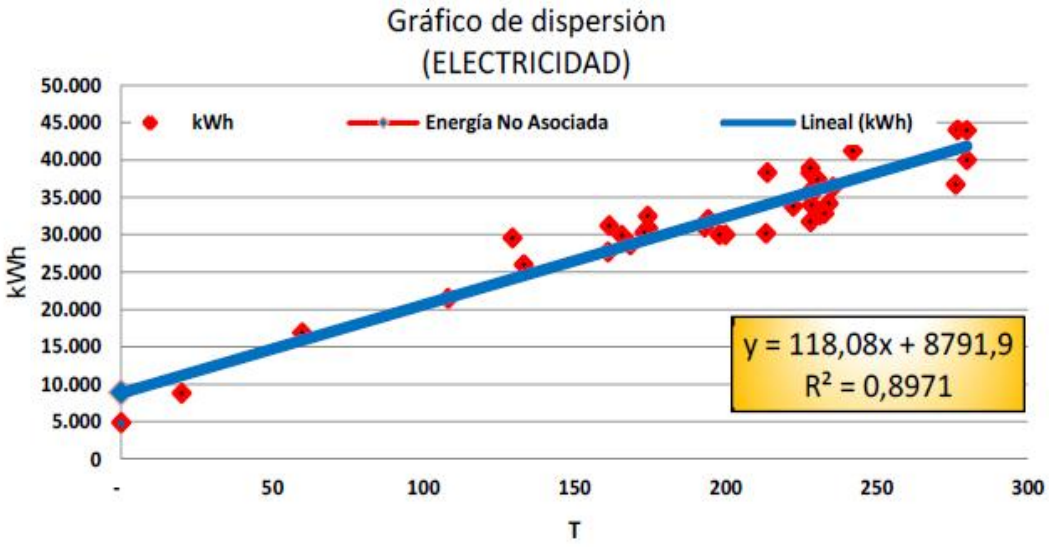



Figura 5: Gráfico de Dispersión de Energía vs Producción, Línea Base.

La ecuación de la línea meta obtenida por los datos de consumo de energía eléctrica y producción es la siguiente: **y = 118,08 x + 8792**.

Gráfico de IC vs Producción. Este gráfico se realiza después de haber obtenido el gráfico *E* vs. *P* (kWh vs *t de café*), como se observa en la Figura 5, a partir de ahí se divide la ecuación 1 por la producción, quedando el índice de consumo en función de la producción, es decir *IC= f(P)* como se observa en la Figura 6 que aparece a continuación.

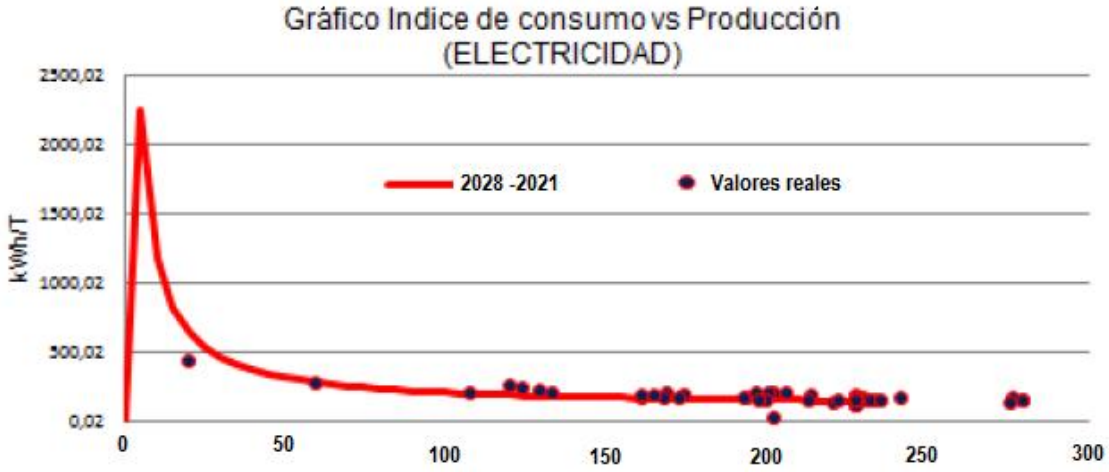



Figura 6: Comportamiento del índice de consumo vs Producción UEB Torrefactora de café Santiago

Como se aprecia en la figura anterior, existió un comportamiento abrupto del IC en el mes de enero de 2018, donde existió un consumo de energía eléctrica sin respaldo respaldo productivo por falta de materia prima y en el mes de agosto 2020 donde tuvieron la producción más baja del periodo analizado.

**Tendencia o Sumas Acumulativas (CUSUM)**

Para calcular el CUSUM y construir el gráfico de tendencia, se emplea la data Consumo- Producción promedio mensual del año 2018-2021. El indicador CUSUM monitorea la tendencia de consumo energético en el proceso y determina la magnitud del ahorro o las pérdidas producidas en un periodo

actual en relación a un periodo base. [3]. Esta herramienta sirve para establecer los rangos en los cuales debe permanecer variables de proceso que impactan el consumo, para ello es importante graficar en un eje secundario vertical los valores obtenidos de las variables a las que se les efectuó el seguimiento durante el tiempo de estudio del indicador [4].

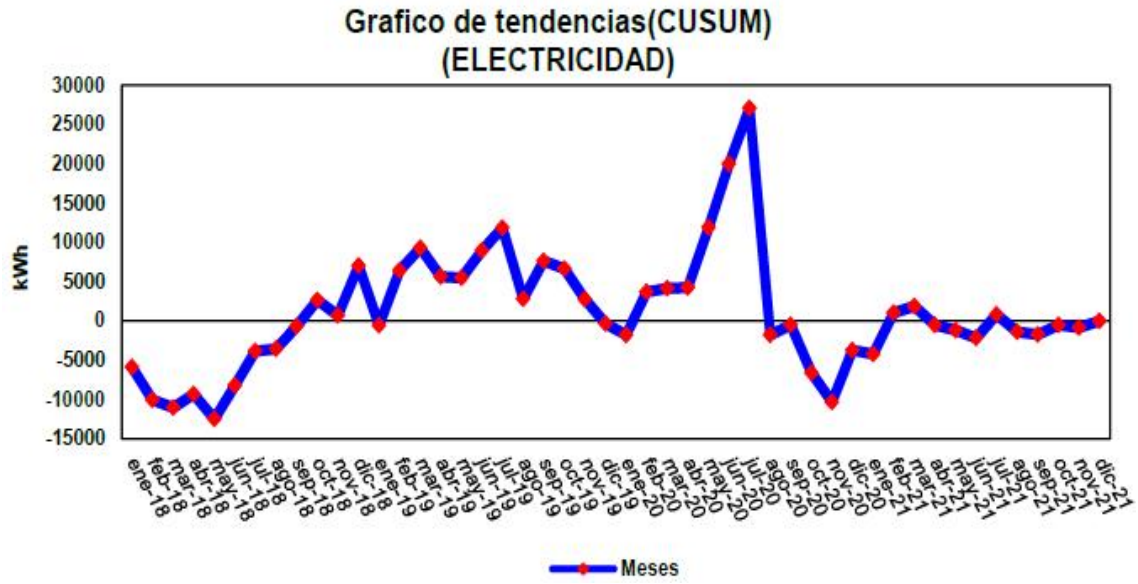



Figura 7: Indicador de Tendencia o de Sumas Acumulativas (CUSUM). UEB Torrefactora de Café Santiago.

Según la Figura 7, las sumas acumuladas tienen valores negativos y positivos, El planteamiento anterior significa que la entidad en términos generales, presenta ineficiencias en el periodo 2018 hasta mayo 2020, mes en que se produjeron incrementos en los consumos de energía, llegando en el mes de Junio 2020 a un pico máximo de consumo. A partir de esta fecha se evidencia una mejora progresiva en el tiempo, la cual se ha mantuvo hasta diciembre 21.

**Propuesta de indicadores de desempeño energético**

Con el propósito de evaluar el desempeño energético en la UEB Torrefactora de Café Santiago, se establecen propuestas de los diferentes indicadores orientados a la reducción de energía eléctrica en la instalación y tienen como finalidad el cálculo de los mismos alineados con la línea base establecida.

1. Indicador para estimar el nivel de energía eléctrica gestionado en los procesos. Porcentaje de energía eléctrica no asociado directamente al nivel de producción ($E_0$).
2. Indicador línea base del Índice de Consumo de energía eléctrica (IC).
3. Indicador de Eficiencia Base 100 (IDE 100).
4. Indicador de Tendencia o de Sumas Acumulativas (CUSUM).
5. Indicador de porcentaje de energía no asociada directamente al nivel de producción ($E_0$).

De la Figura 15 se obtiene el valor 8 792 kWh, el mismo indica el valor de $E_0$ base, representa el 28 % del consumo promedio de energía eléctrica mensual de la instalación en la producción de una tonelada de café, lo cual nos indica que existe un porcentaje elevado de energía eléctrica que no se consume directamente en el proceso de producción. Lo expuesto anteriormente avisa que se requiere disminuir este valor con las acciones de mejora derivada de la identificación de deficiencias que a su vez constituyen oportunidades de mejoras para la elevación del desempeño energético en la en la UEB Torrefactora de Café Santiago.

## EL INDICADOR BASE 100

El indicador base 100 (IB100), genera alertas en cuanto a variaciones positivas o negativas de la eficiencia del proceso, facilitando el análisis y generación de planes de acción en función de las mejores prácticas energética. Para calcular el indicador y construir el gráfico se utilizan los datos medidos Consumo-Producción promedio mensual entre los años 2018-2021.

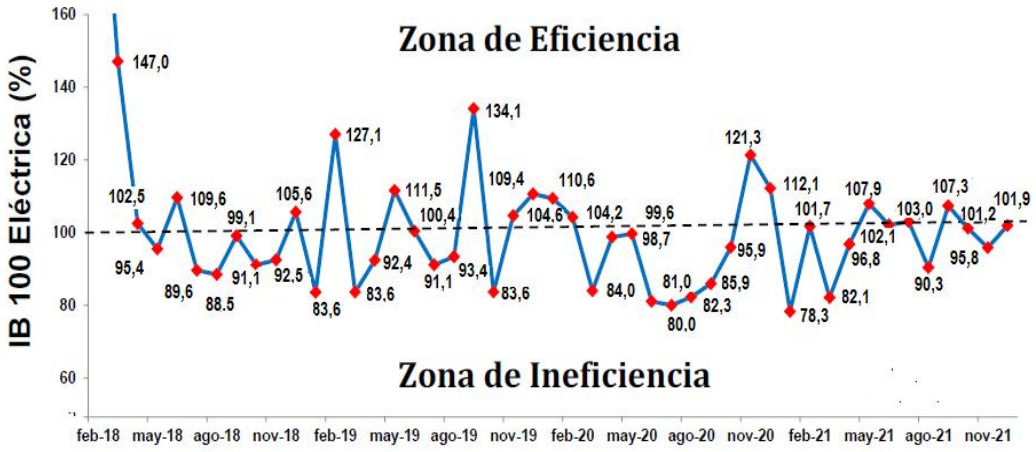



Figura 8: Indicador Base 100 de la UEB Torrefactora de Café Santiago.

Según los resultados obtenidos, en 18 meses de los 43 meses evaluados, se corresponde con las operaciones más eficientes en el proceso de producción de café. Esto se traduce en un mejor desempeño energético ya que hubo un consumo promedio mensual de energía eléctrica real ($E_{real}$) menor que el estimado ($E_{tendencia}$), observando que dentro de la gráfica de la Figura 8, se encuentran en la zona de eficiencia. En los meses restantes (25), la eficiencia energética y el desempeño energético empeora. ya que el consumo promedio mensual real resultó mayor que el esperado y se encuentran en la zona de ineficiencia. Las posibles causas están asociadas a:

1. Variabilidad operacional, resultado de fatiga térmica de los equipos, régimen prolongado de trabajo y carga cíclica.
2. Desgaste de los equipos a causa de la antigüedad de los equipos. Lo cual produce paradas frecuentes en el proceso productivo lo cual atenta contra la calidad del proceso y por ende trae consigo ineficiencias.
3. Ciclos prolongados para el mantenimiento de equipos, a causa de necesidades productivas.

Teniendo en cuenta las diferentes tarifas eléctricas que son aplicadas a la industria fueron propuestas un conjunto de medidas de orden organizativo mantenimiento propuestas para obtener un mejor desempeño energético en la UEB son las siguientes.

1. Apagar los equipos de climatización no tecnológicos en horarios (11:00-13:00 y 18:00-22:00) .
2. No bombear agua en los horarios de (11:00-13:00 y 18:00-22:00) respectivamente.
3. Realizar el tueste con un solo tostador en horarios de (11:00-13:00 y 18:00-22:00)
4. Utilizar en los distintos horarios (11:00-13:00 y 18:00-22:00) un solo compresor de los dos existentes en la entidad.
5. Apagar las computadoras en las áreas de oficinas en los horarios de (11:00-13:00 y 18:00-22:00)
6. Apagar las luminarias encendidas innecesariamente en áreas de oficinas en horario de (11:00-13:00).

7. Apagar los equipos de refrigeración cuando las condiciones lo permitan en días laborables y fines de semana.

A partir de la aplicación de estas medidas se han obtenido los resultados expuestos en la tabla 1.

Tabla 1: Desglose de los resultados obtenido de la aplicación de las medidas organizativas y de mantenimiento en la Unidad Torrefactora Santiago.

| | |
|---|---|
| Energía Eléctrica ahorrada al día: | 220 (kWh) |
| Energía Eléctrica ahorrada al mes: | 5272 (kWh) |
| Eléctrica ahorrada al año: | 63 262,08 (kWh) |

Por concepto de implementar medidas de ahorro que en la UEB Torrefactora de Café Santiago, que conllevan a reducir los consumos en el sector estatal contribuyen a la menor afectación del sector residencial.

## 4. CONCLUSIONES

Con la revisión energética realizada a la entidad, se actualizó el levantamiento de todas las cargas eléctricas existentes. Fueron determinadas como áreas de uso significativo, la sala de compresores y área de los tostadores.

Para el establecimiento de la línea base y meta, se trabajó con el período 2018-2021, obteniéndose respectivamente la ecuación $E = 118{,}08\ P + 8792$, siendo la energía no asociada a la producción de 8 792 kWh. El análisis del Indicador de consumo (IC) puso en videncia en que medida fue deteriorado este indicador en el 2020 por funcionamiento de la planta con falta de materias primas. El análisis del comportamiento del Indicador de Tendencia o de Sumas Acumulativas (CUSUM), nos permite observar que a partir de finales del 2020 existe una tendencia a la estabilidad. Esta tendencia se mantiene hasta la actualidad. El mismo comportamiento se observa en el Indicador Base 100.

El valor del indicador de consumo propuesto de 170,8 kWh/T, considera los resultados de esta investigación y toma en cuenta las áreas y equipos de uso significativo, en función de las condiciones y variables de operación que impactan en el consumo de energía eléctrica en la UEB Torrefactora de Café Santiago. La aplicación de un conjunto de medidas organizativas ha impactado de manera favorable en el ahorro de energía eléctrica en la industria y ha logrado demostrar la efectividad de las mismas, con la consiguiente disminución en la afectación en el sector residencial.

**Agradecimientos**

Los Autores expresan su agradecimiento a la Dirección general de la Unidad Empresarial de Base Torrefactora de Café Santiago y a la Asociación Nacional de Economistas de Cuba (ANEC) en su sede en Santiago de Cuba por apoyar este proyecto.

## REFERENCIAS

1. Papadis E., Tsatsaronis G., *Challenges in the decarbonization of the energy sector*. Energy 205 (2020), 118025.
2. Rubén Alexander Acevedo R. A., Vásquez C. L., Torres E., Principios del pensamiento complejo en la formulación de políticas energéticas sustentables. SUMA DE NEGOCIOS, 11(24), 73-83, Enero -Junio 2020, ISSN 2215-910X
3. Mohammadhadi Hajian M., Jangchi K. S. *Evolution of the concept of sustainability. From Brundtland Report to sustainable development goals*. Sustainable Resource Management, 2021, pp. 1-24
4. Sornoza J. C., Sabando L.F., Estado del arte de la gestión energética en la industria. Dom. Cien. Vol 7, núm. 3, Mayo Especial. 2021, pp. 778-802.

5. Rodríguez, J., Prías, O., Perea, N., Ibarguen, J. y Gutiérrez, M, Guía para la identificación de áreas, procesos y equipos críticos energéticamente e implementación de indicadores de desempeño energético. 1ra. Edición, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, 2014. pp. 24-25, 29-40.
6. Aguilar D. A. Estudio para la implementación de un sistema de gestión de la energía (sgen) en una empresa metalúrgica del corredor industrial Cali-Yumbo. Universidad Autónoma de Occidente, 2019.
7. Red colombiana de conocimiento en eficiencia energética - RECIEE, «Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía con base en la norma ISO 50001 - Segunda Versión,» Bogotá, 2019.
8. Momani D. , Turk Y. A., Abuashour I.M.,Khalid M. H., Muyeen S. M., Sweidan O. T., Zafar Said Z., *Energy saving potential analysis applying factory scale energy audit – A case study of food production*. Heliyon 9 (2023), e14216.
9. Castrillón, R., Quispe, E., González, A., Urhan, M. y Fandiño, D., Metodología para la implementación del sistema de gestión Integral de la energía: Fundamentos y casos prácticos, 1ra. edición, Universidad Autónoma de Occidente - Cali, 2014. pp.119-136.
10. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC-ISO 50001:2011. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso, Ciudad de la Habana, Cuba, 2011, pp. 24
11. Maturana E., Gomez D., Los costos ambientales frente al desarrollo sostenible de las empresas. Contabilidad ambiental. Núm. 26 (2021): Enero - Junio.
12. Nathaphan S., Therdyothin A., *Effectiveness evaluation of the energy efficiency and conservation measures for stipulation of Thailand energy management system in factory*. Journal of Cleaner Production, Volume 383, 10 January 2023, 135442
13. Castrillón, R., Quispe, E., González, A., Urhan, M. y Fandiño, D., Metodología para la implementación del sistema de gestión Integral de la energía: Fundamentos y casos prácticos, 1ra. edición, Universidad Autónoma de Occidente - Cali, 2014. pp.119-136.
14. Ibarguen L., Angulo J.E. Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad. DYNA Ingeniería e Industria (2017). pp184-191.
15. Prías C., O F., y Campos A., JC. Implementación de un sistema de gestión de la energía. Guía Con Base En La Norma Iso 50001. Primera edición, 2013. Impreso y hecho en Bogotá D. C., Colombia. ISBN 978-958-761-597-5.
16. Chuk, Daniela O., Gustavo C. Optimización predictiva multiobjetivo de confort y eficiencia energética en edificios de zonas áridas. 7mo Congreso de Ingeniería, Sanjuan Argentina, (2024).
17. Pedrero A. D., Garnica A., Oropeza A.G. Decisiones gerenciales bajo el Principio de Pareto. Ciencia Administrativa Num 1, (2022). pp 14-21.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO METÁLICO MAGNELIS® EN CONDICIONES DE ALTA CORROSIVIDAD

**Laís Díaz Cordero[1], Joel Morales Salas[1], Martha Mazorra Mestre[1]**

[1]Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Universidad Tecnológica de La Habana, Calle 114 No. 11901, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: laisdiaz297@gmail.com,

**RESUMEN:**

Debido al tráfico de mercancías que se mueven en la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZED Mariel) principalmente productos químicos y combustibles, es imprescindible el uso de defensas de carreteras para evitar la ocurrencia de accidentes y el impacto de vehículos contra almacenes o industrias, siendo necesario que las mismas tengan una alta resistencia a las condiciones climáticas propias del clima tropical y la alta corrosividad que caracteriza la zona, ya que en la ZED Mariel, existen un gran número de industrias, lo que genera la concentración de gases contaminantes a la atmósfera. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del recubrimiento metálico Magnelis® en condiciones de alta corrosividad, para evaluar su resistencia frente a estas condiciones climáticas.

Para este estudio se realizan ensayos de resistencia en cámara de niebla salina neutra y rugosidad superficial. Se evalúa la velocidad de corrosión del material frente al patrón Galvanizado 85 µm, se realiza clasificación del ambiente del entorno (C5) alta corrosividad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE MANABÍ, ECUADOR

**Lenin Julián Pita Cantos[1], Luis Damián Macías García[2], Kleber Felipe Pita Mera[3], Ginger Elizabeth Álava España[4]**

[1]Prof. Titular, Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Carrera de Mecánica. Calle Urbina y Che Guevara. Portoviejo, Manabí, Ecuador. [2]Est. Maestría, Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Posgrado. Calle Urbina y Che Guevara. Portoviejo, Manabí, Ecuador. [3]Est. Maestría, Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Posgrado. Calle Urbina y Che Guevara. Portoviejo, Manabí, Ecuador. [4]Est. Mecánica, Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Calle Urbina y Che Guevara. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

[1]e-mail: lenin.pita@utm.edu.ec

## RESUMEN

La gestión eficiente de la energía en las PTAP es crucial para la sostenibilidad y los costos de operación, la investigación actual tiene como objetivo obtener una optimización, a través de los indicadores que tienen incidencia directa, en una planta de tratamiento de agua potable de Manabí, que contribuya en una propuesta de mejora de eficiencia energética en los procesos de la estación, evaluar el estado del arte sobre los sistemas de gestión energética. Caracterizar las condiciones de operación de los procesos de potabilización, determinar el impacto económico que generan los factores de incidencia que influyen en la eficiencia energética, e identificar oportunidades para establecer un plan de mejoras en el desempeño energético. La investigación se enfoca en la optimización energética basada en la norma ISO 50001:2018, la metodología sigue el ciclo Planear, Hacer, Verificar, Actuar, que incluyen visitas a la planta, revisión de instalaciones eléctricas, obtención de datos y análisis, se evalúa el consumo energético, índices de consumo y eficiencia física entre otras, con el objetivo de proponer mejoras para reducir costos y pérdidas, el análisis de la planta revela un consumo anual de 15,681,926 kWh, en el que la sala de bombas 1 es responsable del 70.90% del consumo, se identifica una contravención al factor de potencia, con un índice de consumo de 0.4894 kWh/m$^3$, por lo que se recomienda estrategias para reducir el consumo de energía, y optimizar procesos para mejorar la sostenibilidad operativa y financiera.

**PALABRAS CLAVES:** Costos de operación, eficiencia energética, planta de tratamiento, sostenibilidad.

# ENERGY OPTIMIZATION IN THE DRINKING WATER TREATMENT PLANT OF MANABÍ, ECUADOR

## ABSTRACT

Efficient energy management in WWTPs is crucial for sustainability and operating costs, the current research aims to obtain an optimization, through indicators that have direct impact, in a drinking water treatment plant in Manabí, which contributes to a proposal for improving energy efficiency in the processes of the station, evaluate the state of the art on energy management systems. Characterize the operating conditions of the drinking water treatment processes, determine the economic impact generated by the incidence factors that influence energy efficiency, and identify opportunities to establish a plan to improve energy performance. The research focuses on energy optimization based on ISO 50001:2018, the methodology follows the Plan, Do, Check, Act cycle, which include visits to the plant, review of electrical installations, data collection and analysis, energy consumption is evaluated, consumption rates and physical efficiency among others, with the aim of proposing improvements to reduce costs and losses, the analysis of the plant reveals an annual consumption of 15,681,926 kWh, in which the pump room 1 is responsible for 70. 90% of the consumption, a contravention to the power factor is identified, with a consumption index of 0.4894 kWh/m3, so strategies are recommended to reduce energy consumption, and optimize processes to improve operational and financial sustainability.

**KEY WORDS:** Operation costs, energy efficiency, treatment plant, sustainability.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una interrelación entre el agua y la energía, en particular, el incremento de la población, la industrialización y las actividades agrícolas ejercen una gran influencia sobre los recursos más relevantes del mundo, el agua y los combustibles fósiles, (Bailey et al., 2020). La energía es un insumo crítico para la entrega de agua potabilizada y tiene destacada incidencia en los costos de prestación del servicio, en Estados Unidos, se considera que alrededor del 4% de la demanda de electricidad se emplea para la potabilización y distribución de agua, (Baquero-Rodríguez et al., 2018).

Los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el agua y la energía son interdependientes, sin embargo, las métricas de desempeño asociadas a menudo son distintas, por lo que se requieren métodos y herramientas para un análisis que determinen una combinación adecuada de tecnologías y escala de inversiones, (Parkinson et al., 2018), pues el gasto energético representa el 75% de las emisiones de la Unión Europea, por lo tanto, la evolución de nuestro sistema energético es fundamental para nuestras ambiciones climáticas, que se complementarán con las contribuciones nacionales que cada estado miembro debe apoyar con el fin de lograr reducir el consumo de energía, para minimizar las emisiones y los costos energéticos, lo que ayudará a conseguir una reducción del 9% de aquí a 2030 (EUR, 2021).

Para evaluar la influencia de los programas de eficiencia energética en función de la calidad de la energía, se miden los valores para la determinación de la turbidez del agua, utilizando turbidímetros ópticos, a través de una muestra de agua, (Iturralde et al., 2023). El Banco Interamericano de Desarrollo y la Asociación Internacional del Agua, promueven proyectos como Aqua Rating a partir de indicadores de desempeño, expresado por (Baquero-Rodríguez et al., 2018), evaluación que consiste en desarrollar una plataforma informática que compara la gestión de una empresa ficticia y una perfecta, para establecer una brecha entre las dos empresas, las cuales deben irse cerrando con planes de acción (Rating, 2017), para transformar la gestión de las empresas de agua y saneamiento, evaluando su desempeño mediante el uso de estándares internacionales y auditores independiente acreditados.

Estudios anteriores han requerido un análisis más detallado de las etapas individuales de suministro de agua potable y la determinación de la energía necesaria para tratar el agua, es decir, la energía utilizada por las ETAP. El propósito de estos análisis fue evaluar y comparar la intensidad energética de las ETAP, es decir, la energía consumida por unidad de volumen de agua potable producida ($KWh/m^3$). Sin embargo, varios autores determinaron que la energía requerida para tratar el agua depende de varios factores, incluyendo la calidad del agua y de los estándares de agua potable, así como la tecnología de tratamiento de agua utilizada, (Molinos-Senante & Sala-Garrido, 2019).

Diversos estudios han examinado el consumo de energía para la administración de agua potable, se realizó una revisión de la literatura y se comparó el consumo de energía de un tratamiento de agua convencional en diversos países, tales como, Australia (0.01–0.2 $KWh/m^3$), España (0.11–1.5 $KWh/m^3$), Nueva Zelanda (0.15–0.44 $KWh/m^3$) y Estados Unidos (0.184–0.47 $KWh/m^3$). Los principales consumidores de energía fueron los procesos de cloración (debido a la producción in situ de dióxido de cloro) y la coagulación, lo cual generó un 34% y un 31% del consumo total de energía operativa de las ETAP, (Bukhary et al., 2020).

La eficiencia energética es esencial para el desarrollo sostenible de los países, tiene un gran impacto tanto en la rentabilidad como en la sostenibilidad de la producción industrial, para el análisis económico se realizan varios escenarios en función de los requerimientos de agua. Se determina que gracias al uso de variadores de velocidad se logran ahorros entre el 57 y 69% (entre 1,05 y 2,11 MMUSD) y que gracias al uso del control estadístico de procesos se logran ahorros adicionales entre 2,4 y 5,3% (73 y 127 MUSD) (Andrade, 2018). El diseño original de la planta en análisis es para laborar hasta un límite de niveles de turbiedad de 1500 (NTU), al sobrepasar estos niveles obliga a detener el tratamiento, generando paralización del proceso de potabilización hasta que los niveles de turbidez desciendan, provocando desabastecimiento del líquido en la ciudad, por períodos que van generalmente entre 2 y 72 horas consecutivas en el mejor de los casos, y hasta 7 días en el peor de los casos, (Macias, 2015).

Sin embargo, durante muchos años en Ecuador la gestión del agua se ha centrado en iniciativas para aumentar la oferta de la cantidad y no de su calidad (Terneus & Yanez-Moretta, 2018), alrededor del 4-6% de las necesidades de electricidad se utilizan para purificación y distribución del agua (Longo et al., 2019).

Esta investigación conlleva un interés de actualidad, debido al avance en normativas y modelos para identificar los sistemas de control y monitoreo, siendo el objetivo reducir el consumo de energía en la planta de tratamiento de agua potable, utilizando métodos de tratamiento de agua más eficientes energéticamente, para optimizar el uso de energía en los procesos, como la aireación y la sedimentación, mediante la implementación de tecnologías y realizar un análisis de la eficiencia energética de la planta de tratamiento de agua potable para identificar áreas de mejora y establecer objetivos de reducción de consumo de energía y capacitar al personal de la planta de tratamiento de agua potable en prácticas de eficiencia energética y fomentar una cultura de ahorro de energía en la organización.

La metodología de la investigación está en función de la norma ISO 50001:2018, la misma considera los aspectos PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). El procedimiento metodológico del proceso de investigación conlleva un orden sistemático que implica visita a la planta, revisión de las instalaciones eléctricas, solicitud de información, obtención de datos de los equipos, carga instalada de equipos, verificación del sistema eléctrico, ejecución del proceso de control, análisis de la energía eléctrica consumida.

Se realizaron visitas a las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable para verificar la operación y el estado de las instalaciones eléctricas de los equipos de conformidad con las condiciones preestablecidas técnicamente, el consumo y costo mensual de la energía eléctrica, caracterizando los problemas existentes que permitan evaluar las condiciones de operación de los sistemas eléctricos.
Para el efecto se determinaron las horas de trabajo de cada equipo, el consumo energético en KWh, el factor de potencia y el costo de la energía por el servicio de la planta de tratamiento de agua, facturado por la empresa pública de electricidad durante los meses comprendidos del año en análisis. La zona de medición fue el patio de distribución de 0,7 MVA, en donde se ubicó el analizador de red por un periodo de 7 días para obtener una base de datos sólida.

Además, se adquirieron datos estadísticos del agua sin procesar que ingresa al sistema de captación y que es contabilizada por un caudalímetro ($m^3$), el agua procesada disponible para el consumidor final y las pérdidas de fluido que se generan durante el proceso de la planta de tratamiento de agua potable.

## 2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el análisis, procesamiento de datos y obtención de los indicadores energéticos se utilizaron el software estadístico Minitab 18 y las ecuaciones analíticas respectivas. Para evaluar la energía eléctrica consumida se consideraron variables: como el tipo de dispositivo conectado a la fuente de alimentación, el número de horas de operación de cada unidad y su horario.

**Consumo de energía de los equipos del sistema de bombeo**.

El consumo de energía del equipo de bombeo (*Ceb*)**,** se obtiene mediante la ecuación (1). Es el resultante de la potencia promedio (*pe*) usada durante el tiempo requerido por el equipo (KW) multiplicada por el tiempo (*t*) de operación en horas al año (h/año).

$$Ceb = pe * t \tag{1}$$

El consumo de energía total (*Cet*)**** del sistema de agua y saneamiento es función de las variables reflejadas en la ecuación 2, donde *Cec* es el consumo de energía del resto de los componentes incluyendo la energía perdida de acuerdo al concepto del balance de energía (KWh).

$$Cet = Ceb + Cec \tag{2}$$

**Índice de consumo energético**

El indicador de consumo energético (IE) permite relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población y/o el tratamiento del agua servida, según sea el caso, y el volumen total de agua tratado (*Vtag*) en $m^3$/año. Se calcula mediante la ecuación (3).

$$IE = \frac{Cet}{Vtag} \tag{3}$$

La energía total consumida puede determinarse a partir del historial de consumos energéticos registrados en la factura del servicio de energía, durante el periodo de tiempo dado, considerando que no más del 5% del valor facturado fue causado por los servicios administrativos, si el sistema posee datos específicos referentes a este consumo promedio pueden descontarse del valor de energía total.

**Índice de pérdidas**

Establecer planes de gestión energética involucra que en los procesos de planificación de la operación se establezcan planes de mejora continua que permitan la implementación de programas de reducción de pérdidas, para evaluar el cumplimiento de metas el índice de pérdidas (IP) se convierte en un excelente indicador. El Índice de pérdidas, ecuación (4), se lo obtiene mediante el volumen de agua estimado o medido (*Vd*) que ingresa al sistema de distribución en $m^3$, menos el volumen de agua micro (*Vm*) medido en $m^3$, más el volumen de agua (*Ve*) estimado para efectos de facturación en $m^3$, dividido para el volumen de agua estimado.

$$IP = \frac{Vd-(Vm+Ve)}{Vd} * 100 \tag{4}$$

**Indicador de eficiencia física**

Este indicador posibilita primordialmente detectar las pérdidas en la producción de un sistema de agua potable. El indicador de eficiencia física (IEF) se calcula dividiendo el volumen de agua facturada (*Vaf*) para el volumen de agua potabilizada (*Vtag*) del sistema para un periodo definido, según la ecuación (5).

$$\text{IEF} = \frac{\text{Vaf}}{\text{Vtag}} \tag{5}$$

En países desarrollados se pretende obtener un indicador de eficiencia física del 80% que es un valor bastante aceptable y alcanzable; sin embargo, en ciertos territorios se han logrado valores inferiores al 15%. Valores inferiores al 80% reflejan oportunidades de ahorro de agua relevantes para la organización y en la conservación de las fuentes de suministro.

**Indicador de costo unitario de energía**

Este indicador representa el costo específico por unidad de energía consumida (CUE), el cual depende del tipo de tarifa eléctrica contratada, el factor de carga (que refleja las horas de operación reales sobre las horas naturales) y factores que inciden en la facturación energética, tales como la penalización o bonificación por el factor de potencia de la instalación, este indicador se calcula mediante la Ecuación 6, en la cual *Ifea* es el importe de facturación eléctrica anual en $/año de la energía y $Cet$ es el total de energía consumida en kWh/año.

$$\text{CUE} = \text{Ifea} / Cet \tag{6}$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Consumos energéticos de la planta de tratamiento de agua potable de Manabí.**

La capacidad de la estación de bombeo de agua cruda para el tratamiento de agua potable es de aproximadamente 4200 metros cúbicos por hora, que bajo condiciones de sólidos en suspensión son procesadas en las diferentes etapas para ser bombeadas al consumidor final. En la tabla 1 se muestran el gasto energético, el factor de potencia y el pago por servicio eléctrico en año de muestra analizado, los caudales de ingreso y procesamiento de agua con sus respectivas pérdidas, generados del balance de masas de los equipos medidores de caudal de marca Krohne de la empresa.

***Tabla 1***. *Consumos energéticos de la planta de tratamiento de agua potable.*

| Meses | Consumo energético (kW-h) | Factor de potencia | Servicio Eléctrico, $ | Agua que ingresa $m^3$ | Agua potabilizada $m^3$ | Pérdidas de agua $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Enero | 1.322.050 | 0.978 | 111.805 | 2.993.874 | 2.773.188 | 220.686 |
| Febrero | 1.209.430 | 0.979 | 109.369 | 2.757.047 | 2.453.863 | 303.184 |
| Marzo | 957.126 | 0.991 | 102.150 | 2.236.870 | 2.007.649 | 229.221 |
| Abril | 1.291.430 | 0.946 | 119.553 | 2.757.491 | 2.614.832 | 142.659 |
| Mayo | 1.371.360 | 0.950 | 120.689 | 2.979.228 | 2.771.512 | 207.716 |
| Junio | 1.357.250 | 0.950 | 120.689 | 2.853.660 | 2.736.284 | 117.376 |
| Julio | 1.384.100 | 0.951 | 120.871 | 2.913.924 | 2.764.933 | 148.991 |
| Agosto | 1.337.040 | 0.950 | 122.473 | 2.726.251 | 2.682.235 | 44.016 |
| Septiembre | 1.365.690 | 0.950 | 122.112 | 2.776.496 | 2.731.175 | 45.321 |
| Octubre | 1.349.030 | 0.945 | 124.430 | 2.908.317 | 2.857.612 | 50.705 |
| Noviembre | 1.422.250 | 0.944 | 124.948 | 2.781.693 | 2.714.965 | 66.728 |
| Diciembre | 1.315.170 | 0.945 | 121.031 | 2.740.581 | 2.672.769 | 67.812 |
| Total | 15.681.926 | - | 1.420.120 | 33.425.432 | 31.781.017 | 1.644.415 |

Nota: Tabla elaborada por los autores, con valores obtenidos de la empresa eléctrica CNEL EP y la empresa pública de agua potable.

**Levantamiento de carga instalada y consumo de los equipos.**

Se procedió a realizar el cálculo de la potencia instalada en motores, comprensores, tecles, unidades de arranque, luminarias, acondicionadores de ambiente, equipos de cómputo y laboratorios más importantes de la instalación, a través de los datos de placa de los equipos e información proporcionada por los operadores. La carga total instalada en la planta de tratamiento de agua potable es 3302,48 kVA, considerando que el factor de potencia promedio es de 0,93 se establece que la potencia instalada es 3071,30 kW. La tabla 2 muestra los resultados de la potencia instalada, las horas de trabajo y el consumo energético de los equipos eléctricos.

**Tabla 2.** Indicadores de potencia instalada, horas de trabajo y consumo energético de los equipos eléctricos.

| Descripción | Potencia total de los equipos KW | Promedio de horas de trabajo H | Consumo energético kW-h |
|---|---|---|---|
| Equipos de sistemas de bombeo | 3051,51 | 13,977 | 42652,08 |
| Equipos de Iluminación y laboratorio | 12,91 | 6,379 | 82,34 |
| Equipos de climatización | 6,88 | - | 24,65 |
| Total | 3071,30 | - | 42759,07 |

Nota: Tabla elaborada por los autores, con valores obtenidos de la empresa pública de agua potable.

La tabla 3 muestra los resultados de los equipos de mayor consumo de manera porcentual, índices que permitirán establecer puntos de análisis con el objetivo de optimizar los procesos.

***Tabla 3.*** *Resumen de consumo de equipos del sistema de motores y bombas*

| No. Bombas | Área de ubicación | Potencia, kW | Consumo, kW-h | % |
|---|---|---|---|---|
| 5 | Captación | 6,6 | 28,6 | 0,07 |
| 3 | Aireador | 45,84 | 716,97 | 1,68 |
| 6 | Filtración | 6,6 | 13,2 | 0,03 |
| 1 | Mezcla rápida | 5,5 | 88 | 0,21 |
| 4 | Decantador | 23,84 | 384,36 | 0,90 |
| 15 | Presedimentador | 59,11 | 118,23 | 0,28 |
| 13 | Sala de máquinas 1 | 101,03 | 1339,94 | 3,14 |
| 4 | Sala de bombas 1 | 2160 | 30240 | 70,90 |
| 4 | Sala de máquinas 2 | 116,28 | 1844,06 | 4,32 |
| 11 | Sala de bombas 2 | 474,82 | 7151,9 | 16,77 |
| 3 | Cloración | 3,3 | 5,5 | 0,01 |
| 32 | Reactivos | 48,56 | 721,30 | 1,69 |
| Total 101 | | 3051,51 | 42652,08 | 100,00 |

Nota: Tabla elaborada por los autores, con valores obtenidos de la empresa pública de agua potable.

En la tabla 4 se presentan los resultados del promedio de clientes y las recaudaciones de la empresa de agua potable en el un año de análisis.

***Tabla 4.*** *Promedio de clientes y recaudación de Empresa pública de agua potable del año 2021.*

| **Meses** | **Clientes** | | **Volumen de Agua, m$^3$** |
|---|---|---|---|
| Enero | 31562 | | 836.465,65 |
| Febrero | 29797 | | 778.441,13 |
| Marzo | 31917 | | 958.659,99 |
| Abril | 30585 | | 835.509,61 |
| Mayo | 30682 | | 860.495,87 |
| Junio | 31798 | | 954.336,62 |
| Julio | 31128 | | 940.801,86 |
| Agosto | 31519 | | 1.073.665,58 |
| Septiembre | 33537 | | 1.119.327,93 |
| Octubre | 32544 | | 947.735,81 |
| Noviembre | 33444 | | 943.874,64 |
| Diciembre | 35700 | | 1.083.650,18 |
| Promedio | 32.017,75 | Total | 11.332.964,87 |

*Nota:* Datos tomados de documentos estadísticos de (PORTOAGUA EP, 2021)

**Obtención de resultados del analizador de red PQ-Box 435 II**

Para analizar los valores permisibles establecidos por el Reglamento N° ARCONEL 005/18, y N° ARCONEL-053/18, para el voltaje se utilizaron límites que definen el nivel de tensión como permisible al 5%, inmune al ruido, voltaje de oscilación Vflk menor que 1 (unidades), distorsión armónica THDV menor que 5% y asimetría facial para voltaje 2%. Por otro lado, el factor de potencia establecido mediante la resolución ARCERNNR-009-2022 estipula que debe ser inferior a 0,92, lo que podría generar sanciones para las empresas en fiscalización. La tabla 5, muestra los datos técnicos obtenidos mediante el analizador de red (PQ-Box 435 II).

**Tabla 5** *Datos técnicos para el análisis de valores permisibles*

| Capacidad kVA | Corriente primario f-n (A) | Voltaje primario (kV) | Voltaje nominal f-f 1-2(V) | Voltaje nominal f-f 2-3(V) | Voltaje nominal f-f 1-3(V) | Energía suministrada (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3750 | 54,35 | 69 | 69315,69 | 69591,06 | 68942,25 | 299863,59 |

Nota: Tabla elaborada por los autores, con valores obtenidos de un analizador de redes PQ-Box 435 II.

En la Tabla 6 se muestran datos de calidad energética en la planta potabilizadora de agua potable, obtenidos mediante un analizador de redes marca PQ-Box 435 II.

**Tabla 6** *Estadísticos descriptivos de parámetros eléctricos*

| Parámetros | | Valores Medidos | | Valores Permitidos | Observación |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Máximo | Promedio | | |
| Frecuencia | (Hz) | 60,02 | 59,2 | $\pm 1\%$ | Cumple |
| Voltaje Vrms | L1 | 40917 | 39789 | $\pm 6\ \%$ | Cumple |
| | L2 | 41139 | 40175 | $\pm 6\ \%$ | Cumple |
| | L3 | 40994 | 40039 | $\pm 6\ \%$ | Cumple |
| Distorsión Armónica | L1 | 1,7740 | 1,2698 | $\leq 8\ Vn$ | Cumple |
| | L2 | 1,6880 | 1,1844 | $\leq 8\ Vn$ | Cumple |
| | L3 | 2,1170 | 1,3342 | $\leq 8\ Vn$ | Cumple |
| Fliker Vflk | L1 | 0,68700 | 0,12588 | $< 1$ | Cumple |
| | L2 | 1,38000 | 0,13017 | $< 1$ | Cumple |
| | L3 | 1,85400 | 0,13108 | $< 1$ | Cumple |
| Amperaje | L1 | 16,872 | 15,385 | - | Cumple |
| | L2 | 16,778 | 15,494 | - | Cumple |
| | L3 | 18,338 | 16,985 | - | Cumple |
| Distorsión Armónica ATHD % | L1 | 1,7740 | 1,2698 | $\leq 20\ \%$ | Cumple |
| | L2 | 1,6880 | 1,1844 | $\leq 20\ \%$ | Cumple |
| | L3 | 2,1170 | 1,3342 | $\leq 20\ \%$ | Cumple |
| Factor de Potencia PF | L1 | 0,97700 | 0,97133 | $> 0.92$ | Cumple |
| | L2 | 0,89100 | 0,86485 | $> 0.92$ | **No Cumple** |
| | L3 | 0,96600 | 0,96111 | $> 0.92$ | Cumple |
| Desbalance de fases | Vunb % | 0,24 | 0,52 | $< 2\ \%$ | Cumple |
| | Aunb % | 3,18 | 16.10 | $< 40\ \%$ | Cumple |

Nota: Tabla elaborada por los autores, con valores obtenidos de un analizador de redes PQ-Box 435 II.

Los indicadores energéticos de la planta de tratamiento de agua potable fueron obtenidos en base a los parámetros de diseño, datos operativos de los equipos y en relación a la facturación de la energía consumida.

Consumo de energía total del sistema de equipos de bombeo.

$$Ceb = pe * t/1000 = 15.567.629{,}28 \text{ KWh/año}$$

$$Cet = Ceb + Cec = 15606680 \text{ KWh/año}$$

Índice de consumo energético

$$IE = \frac{Etc}{Vtag} = 0.4894 \text{ kWh/m}^3$$

Indicadores de pérdidas

$$IP = \frac{Vd-(Vm+Ve)}{Vd} * 100 = 38.82\ \%$$

Indicador de eficiencia física

$$EEf = \frac{Vaf}{Vap} = 0{,}35 = 35\ \%$$

Indicador de costo unitario de energía

$$CUE = Ifea / Cet = 0.09\ \$/KWh$$

## 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos del planillado eléctrico, respecto al consumo energético general de la planta, arrojan un valor de 15.681.926 KWh, para una producción anual de agua potabilizada de 31.781.017 $m^3$, con un pago por servicio de parte los usuarios de $ 1.420.120 dólares americanos, tomando en cuenta las pérdidas de agua en el proceso de 1.644.415 m3 que representan el 5,17%. Con una base de clientes promedio mensual de 32017,74 familias, con el cual el volumen de agua facturado para el año se determinó en 11.332.964, m3, lo que equivale al 35,66% del agua potabilizada que llega al consumidor final del valor total, lo que se puede apreciar en la figura 1.

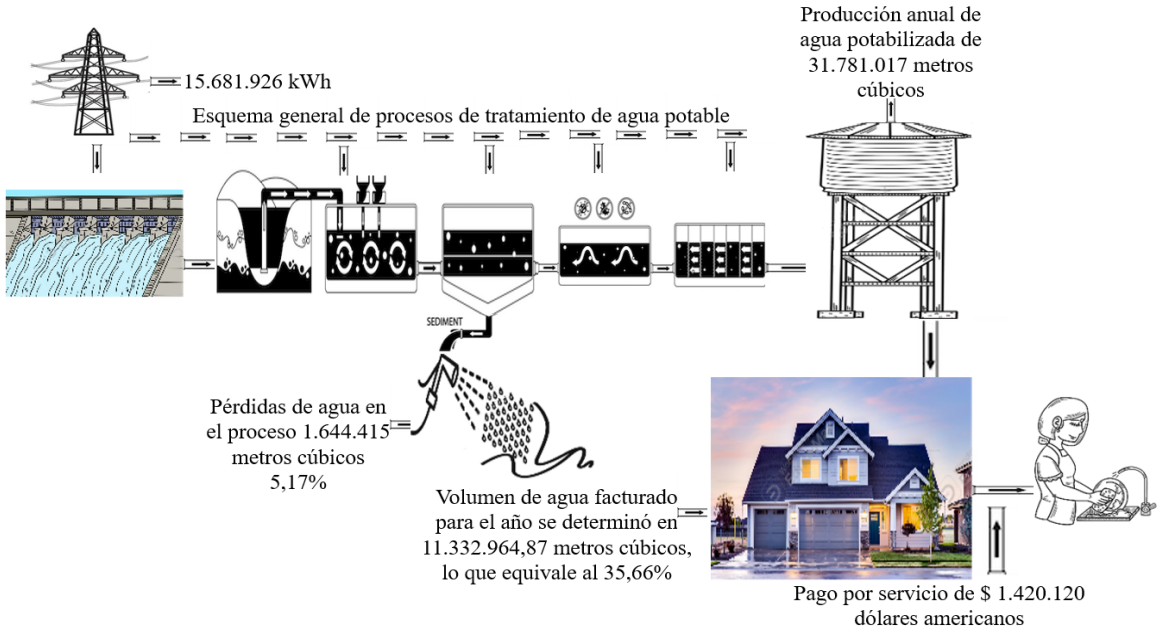



**Figura 1**. Pérdidas y volumen de agua potable facturada de la planta de tratamiento en análisis.

La potencia total instalada de la PTAP, considerando el sistema de bombeo, iluminación, laboratorio y aire acondicionado, es de 3071,3 KW con un consumo de 42759,07 kW-h/diarios, lo que muestra que el área de las bomba del cuarto 1, tiene el mayor consumo con un 70.90%, seguido del área de bombas 2 con un 16.77%, cuarto de máquinas 1 y 2 con un 7.46% y el área de aireadores con un 1.68%, considerados los datos más relevantes que se pueden visualizar en la Figura 4. Mientras que la resolución ARCERNNR-009-2022 estipula que el factor de potencia no debe ser menor a 0.92, lo que podría generar amonestaciones para la empresa, razón por la cual luego de instalar un analizador de redes marca PQ-Box 435 II en un periodo de 7 días, bajo las condiciones de la Tabla 5 se obtuvo un resultado de factor de potencia bajo en la línea 2 con un valor de 0.89100, lo cual es una violación a la normatividad de valores estadísticos descriptivos de parámetros eléctricos referenciados en la Tabla 6.

En la figura 2 se puede observar la distribución del consumo energético de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable.

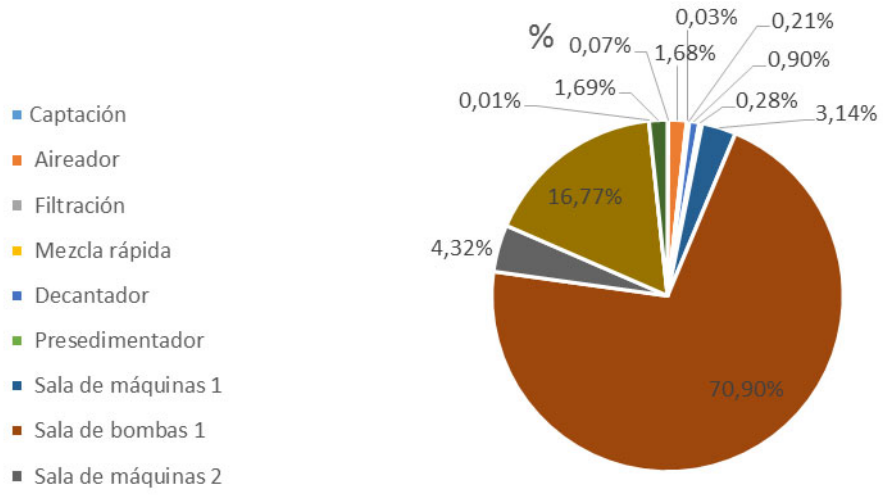



**Figura 2**. Distribución del Consumo Energético de los equipos de la PTAP

El consumo de energía de los equipos del sistema de bombeo está dado por la potencia de la demanda promedio durante las horas de operación, obteniendo como resultado 15.567.629,28 kW-h/año. Mientras que el consumo de energía total del sistema de agua y saneamiento es de 15.606.680 kWh/año. Obteniéndose un índice de consumo energético que permite relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua, lo que representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población y/o el tratamiento del agua servida, siendo de 0.4894 kW-h/m$^3$. Molinos-Senante & Sala-Garrido, (2017) establece en qué medida las 179 ETAP analizadas presentan diversos factores que impactan el IE y si existen tecnologías que proporcionen economías de escala a las ETAP. Por tanto el IE de las ETAP que utilizan filtros de presión no se ve afectada por las economías de escala porque el volumen de agua tratada no es un factor significativo en el modelo con un valor de 0,39 kWh/m$^3$, el volumen de agua tratada es el factor más importante del modelo de una instalación de tratamiento de agua que utiliza gravedad rápida con 0.23 kWh/m$^3$, por lo que el IE de la planta está fuertemente influenciado por economías de escala, mientras que la eficiencia de remoción de contaminantes tiene un mayor impacto en el IE en las ETAP con coagulación-floculación con 0.07 kWh/m$^3$ que en plantas sin este proceso, lo que se puede apreciar en la Figura 3.

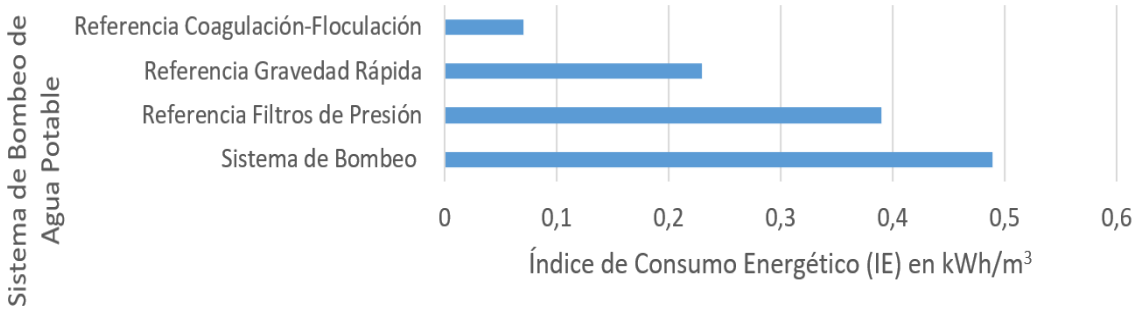



**Figura 3**. Índice de Consumo Energético (IE) del Sistema de Bombeo de Agua Potable

Los índices hidráulico involucran que en los procesos de planificación de la operación se establezcan planes de mejora continua, como el índice de pérdidas el cual se convierte en un excelente indicador el mismo que presenta un 38.82 %, con una eficiencia física que posibilita detectar las pérdidas en la producción de un sistema de agua potable, el indicador de eficiencia física obtenido fue de un valor de 35 %, sin embargo en países del exterior se pretende obtener un valor de la eficiencia física del 80 %, que es un valor bastante aceptable y alcanzable, sin embargo, en ciertos territorios se han logrado valores inferiores al 15%. Valores inferiores al 80% reflejan oportunidades de ahorro relevantes para la

organización y en la conservación de las fuentes de suministro. Mientras que otro indicador como el costo unitario, que representa el costo específico por unidad de energía consumida, es cual nos da como resultado $ 0.09/KW-h.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados del análisis de eficiencia energética en la PTAP, se puede extraer que el consumo energético anual de la planta para tratar 31.781.017 $m^3$ de agua es de 15.681.926 kWh, y las pérdidas de agua en el proceso son del 5,17%, lo que sugiere oportunidades para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistemay considerando el costo total del servicio de $1.420.120 y la relación entre el costo y el consumo de energía podría optimizarse para mejorar la rentabilidad.

La zona de bombas de la sala 1 es la de mayor consumo, representando el 70,90% del consumo energético total, mientras que areas, como bombas y aireadores, esta sujeta a identificar oportunidades de mejora y reducción del consumo. El factor de potencia en la línea 2 del sistema es inferior al valor estándar de 0.92 establecido por la Resolución ARCERNNR-009-2022, se recomienda tomar medidas correctivas para mejorar el factor de potencia y cumplir con la normativa aplicable para evitar posibles sanciones.

En resumen, la planta potabilizadora enfrenta desafíos en términos de eficiencia energética, pérdidas de agua y cumplimiento regulatorio. Se recomienda implementar estrategias para reducir el consumo de energía, optimizar los procesos de tratamiento de agua y corregir desviaciones regulatorias para mejorar la sostenibilidad operativa y financiera de la instalación.

Implementar tecnologías de filtración avanzadas como la ultrafiltración y la nanofiltración, evaluar la eficiencia de diferentes tipos de medios filtrantes y membranas, optimizar la dosificación de desinfectantes para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos, implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para controlar la calidad del agua durante todo el proceso, considerar la posibilidad de implementar tecnologías más eficientes. Explorar fuentes de energía renovables para alimentar la planta, maximice la eficiencia teniendo en cuenta la modularización y la flexibilidad del diseño para adaptarse a los cambios en la demanda de agua.

## REFERENCIAS

Andrade, R. (2018). Gestión Energética de una Estación de Bombeo mediante el uso del Control Estadístico de Procesos. Estudio de Caso: Acueducto “La Esperanza” – Refinería del Pacífico (2). 40(2), Article 2.

Bailey, J. R., Ahmad, S., & Batista, J. R. (2020). The Impact of Advanced Treatment Technologies on the Energy Use in Satellite Water Reuse Plants. Water, 12(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/w12020366

Baquero-Rodríguez, G. A., Lara-Borrero, J. A., Nolasco, D., & Rosso, D. (2018). A Critical Review of the Factors Affecting Modeling Oxygen Transfer by Fine-Pore Diffusers in Activated Sludge. Water Environment Research, 90(5), Article 5. https://doi.org/doi:10.2175/106143017X15131012152988

Bhojwani, S., Topolski, K., Mukherjee, R., Sengupta, D., & El-Halwagi, M. M. (2019). Technology review and data analysis for cost assessment of water treatment systems. Science of the Total Environment, 651, 2749-2761. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.363

Bukhary, S., Batista, J., & Ahmad, S. (2020). Design Aspects, Energy Consumption Evaluation, and Offset for Drinking Water Treatment Operation. Water, 12(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/w12061772

EUR, L. (2021). EUR-Lex—52021DC0550—EN - EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550

Fernández, S. (2022, noviembre 15). OPTIMIZACION DE LOS SISTEMAS de bombeo para ahorrar energía eléctrica. guiadebombas. https://guiadebombas.com/optimizacion-de-los-sistenas-de-bombeo-para-ahorrar-energia-electrica/

Iturralde Carrera, L. A., Álvarez González, A. L., Rodríguez-Reséndiz, J., & Álvarez-Alvarado, J. M. (2023). Selection of the energy performance indicator for hotels based on ISO 50001: A case study. Sustainability, 15(2), 1568. https://doi.org/10.3390/su15021568

Longo, S., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., Campo, P., Fatone, F., Eusebi, A. L., ... & Hospido, A. (2019). ENERWATER–A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants. Applied Energy, 242, 897-910. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.130

Luna, T., Ribau, J., Figueiredo, D., & Alves, R. (2019). Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. Journal of cleaner production, 213, 342-356. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.190

Macias, M. (2015). Evaluación de la turbidez como indicador básico de la calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales y su efecto en el proceso de potabilización del agua en la planta de tratamiento de agua potable "cuatro esquinas" Portoviejo. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/26392

Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2017). Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors. Applied Energy, 202, 275-281. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.100

Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2019). Assessment of Energy Efficiency and Its Determinants for Drinking Water Treatment Plants Using A Double-Bootstrap Approach. Energies, 12(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/en12040765

Parkinson, S. C., Makowski, M., Krey, V., Sedraoui, K., Almasoud, A. H., & Djilali, N. (2018). A multi-criteria model analysis framework for assessing integrated water-energy system transformation pathways. Applied Energy, 210, 477-486. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.142

PORTOAGUA EP. (2021). Informe de Gestión Anual. https://portoaguas.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/INFORME-DE-GESTION-2021-PORTOAGUAS-EP-1.pdf

Rating, A. (2017, marzo 30). El agua de Quito recibe certificación internacional. AquaRating. https://aquarating.org/el-agua-de-quito-recibe-certificacion-internacional/

Terneus, E., & Yanez-Moretta, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. La Granja, 27(1), Article 1. https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03

Vega, M. A. V., Ávila, D. P., & Machado, A. N. (2021). Evaluación del sistema de bombeo de agua del campus Pepito Tey de la Universidad de Las Tunas. Opuntia Brava, 13(2), 289-302. https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1110

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIOS DE POTENCIALES HIDRÁULICOS MEDIANTE SIG. CASO ESTUDIO RÍO DE ORO

**Jorge Líder Macias Ramos[1], Joel Morales Salas[2], Conrado Moreno Figueredo[2], Antonio Vázquez Pérez[3], María Rodríguez-Gámez[4]**

[1]Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias aplicadas, Carrera de Ingeniería Civil, Portoviejo, Ecuador,[2]Universidad Tecnológica de la Habana, Cujae. Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Mecánica, La Habana, Cuba, [3]Universidad de Alicante, Facultad de Filosofía y Letras, Alicante, España, [4]Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Portoviejo, Manabí Ecuador.
[1]e-mail: lider.macias@utm.edu.ec

**RESUMEN**

En la provincia de Manabí existe pequeños caudales de ríos que pueden ser utilizados para el aprovechamiento del recurso renovable local fundamentalmente con fines energético, la investigación tuvo como objetivo realizar el estudio del potencial hidráulico utilizando el sistema de información geográfica. Se empleó como metodología la investigación de campo, el método explicativo, descriptivo, el método inductivo, se utilizó un modelo digital de terreno; además la aplicación de la técnica de aforo, se basó en el método de velocidad por área conocida. Se tuvo como resultado el estudio del potencial hidráulico en 11 ríos de la provincia de Manabí (Ayampe, Paján, Guineal, Portoviejo, Carrizal, Chone, De Oro, La Esperanza, Jama, Convento y Coaque), donde fueron identificados 220 puntos que corresponden a comunidades que se ubican próximas a los cauces de los ríos. Se obtuvo como resultado el estudio de los potenciales hidráulicos poniendo como estudio de caso el río de Oro, además este resultado permitió desarrollar un sistema de información portable para la toma de decisiones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PRESIÓN DEL AIRE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MTU

**Manuel Jeremías Rodríguez Romero[1], Elio Rafael Hidalgo Batista [2], Raúl Torres Sainz [3], Mario Ramón Martín Suárez[4]**

[1]Universidad de Holguín, M. Sc, Profesor Asistente, Avenida XX Aniversario, Reparto Piedra Blanca,
[2]Universidad de Holguín, Dr. C, Profesor Titular, Avenida XX Aniversario, Reparto Piedra Blanca,
[3]Universidad de Holguín, M. Sc, Profesor Asistente, Avenida XX Aniversario, Reparto Piedra Blanca,
[4]Unidad de empresarial de base Geysel Holguín, Ingeniero Automático
[1]e-mail: jererod23@gmail.com

**RESUMEN**

En el artículo, se ha investigado, bajo las condiciones de explotación de Cuba, el comportamiento del ciclo de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000 al variar la presión del aire de entrada a la cámara de combustión y la influencia del mismo en los índices efectivos del motor tales como: presión media efectiva, rendimiento mecánico y consumo de combustible. Los datos de la presión del aire fueron obtenidos desde el histórico existente en el sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) del equipo. Para conocer el actuar de la presión del aire en el ciclo de trabajo e índices efectivos del equipo se utilizó una hoja de Excel, donde se insertaron las fórmulas para calcular las presiones en los principales puntos del ciclo de trabajo de motor, además del consumo horario de combustible, el rendimiento mecánico y la presión media efectiva de la máquina, simulando el comportamiento de las variables anteriormente mencionadas al utilizar la función aleatoria la cual devuelve números reales aleatorios de la presión del aire de entrada mayor a 0,2 y menor o igual a 0,3 MPa. De los resultados de la investigación se conoció: al variar la presión del aire desde 0,30 a 0,24 MPa, la máxima presión del ciclo de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000 disminuye en 3,24 MPa. Que existe una ligera influencia en el comportamiento de los índices efectivos presión media efectiva y rendimiento mecánico y el consumo de combustible aumenta en 41 gramos.

**PALABRAS CLAVES:** Ciclo térmico, presión del aire, consumo horario de combustible.

## AIR PRESSURE AND FUEL CONSUMPTION IN THE MTU INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**ABSTRACT**

In the article, the behavior of the work cycle of the MTU 4000 series internal combustion engine when the pressure of the inlet air to the combustion chamber and its influence on the effective indices of the engine such as: effective mean pressure, mechanical efficiency and fuel consumption have been investigated under the operating conditions of Cuba. The air pressure data were obtained from the historical data existing in the supervisory control and data acquisition system (SCADA) of the equipment. To know the behavior of the air pressure in the work cycle and effective indices of the equipment, an Excel sheet was used, where the formulas were inserted to calculate the pressures at the main points of the engine work cycle, in addition to the hourly fuel consumption, mechanical efficiency and the effective mean pressure of the machine, simulating the behavior of the aforementioned variables by using the random function which returns random real numbers of the inlet air pressure greater than 0,2 and less than or equal to 0,3 MPa. The results of the research revealed that when the air pressure is varied from 0,30 to 0,24 MPa, the maximum working cycle pressure of the MTU 4000 series internal combustion engine decreases by 3,24 MPa. There is a slight influence on the performance of the effective indices of mean effective pressure and mechanical efficiency, and fuel consumption increases by 41 grams.

**KEY WORDS**: Thermal cycle, air pressure, hourly fuel consumption.

## 1. INTRODUCCIÓN

Martín, 2007 afirmó en su tesis doctoral lo siguiente:
En los últimos años, el motor Diesel de inyección directa ha experimentado una importante evolución, favorecida por el avance en el conocimiento de los mecanismos básicos que gobiernan los procesos de renovación de la carga y la inyección-combustión. A ello ha contribuido la mejora de los métodos de estudio, que, atendiendo a la clasificación hecha por Lapuerta, 1988 se pueden clasificar en tres tipos: técnicas experimentales, que incluyen ensayos en motores reales o en modelos físicos simplificados, técnicas teóricas basadas en el empleo de modelos de cálculo, con diferente grado de complejidad y técnicas de diagnóstico basadas en la medida de alguna señal experimental.

Estas técnicas no se contemplan como vías alternativas sino complementarias, y han permitido abordar el estudio y comprensión de los fenómenos termo fluido dinámicos implicados desde diferentes puntos de vista. Así, la elaboración de modelos teóricos permite interpretar los resultados experimentales e identificar las variables claves para orientar los experimentos. Los modelos de diagnóstico, por su parte, han permitido la sinergia entre las técnicas experimentales y teóricas. (p. 16)

En el artículo elaborado por Fonteriz *et al,* 2019 el resultado es un modelo físico matemático novedoso, utilizando una estrategia más laboriosa que el método directo, pero mucho más económica en su implementación mediante el uso de sensores industriales de bajo costo. Además, se muestran los resultados de la aplicación de una serie de ensayos cuidadosamente diseñados, y realizados sobre un motor vehicular de combustión interna, para luego aplicar el concepto de superposición de efectos y obtener el ciclo de trabajo, pero sin medirlo directamente.

En la tesis doctoral de Ceballos, 2021 el objetivo principal se centra en la posibilidad de estimar las prestaciones, el consumo de combustible y las emisiones de vehículos de transporte público propulsados con motores de combustión interna tipo Diesel, considerando el efecto de las fuertes diferencias de presión atmosférica, temperatura ambiente y humedad del aire en las distintas regiones del Ecuador.

La metodología desarrollada está enfocada a estimar en primera aproximación las prestaciones, el consumo y las emisiones del motor Diesel de aspiración natural al cambiar las condiciones ambientales asociadas con la altitud. Se ha utilizado el paquete informático AVL BOOST™ para calcular el comportamiento del motor cuando se modifican las condiciones del aire admitido al variar la presión, la temperatura y la humedad ambientes, en condiciones de cantidad de combustible constante, realizándose un estudio paramétrico completo de los efectos individuales y combinados de dichas variables. El proceso de combustión se simula usando una ley de doble Wiebe para especificar la tasa de liberación de calor (Rate of Heat Release ROHR) con distintos valores de los parámetros en función de las condiciones operativas del motor.

De los resultados obtenidos en Ceballos, 2021, se observa que, al variar la temperatura ambiente entre 0 ºC y 40 ºC, los valores calculados para BSFC (consumo específico de combustible, g/kWh), y las emisiones específicas (g/kWh) de NOx, CO y los contaminantes primarios no gaseosos (Soot) tienen un ligero crecimiento, junto con una disminución de BMEP (presión media efectiva, bar).

Los investigadores del artículo precisan que las investigaciones señaladas anteriormente se realizaron en motores de combustión interna instalados en vehículos y la desarrollada en el presente trabajo es efectuada en motores de combustión interna estacionarios.

Además, se plantea en otras investigaciones:

Los parámetros geométricos sirven de entrada para llevar a cabo el proceso de simulación de la combustión, cálculo para el cual se consideran cuatro procesos; admisión de la carga al cilindro, compresión de la carga, combustión y expansión, escape de los productos de la combustión. El proceso de combustión se calcula con las leyes de quemado de Watson y es considerado en este trabajo como el proceso más relevante de los cuatro que componen el ciclo Diesel, ya que es allí donde surgen las cargas de mayor amplitud y que son responsables de las mayores deformaciones mecánicas. (González, 2015, p. Resumen)

Los investigadores son del criterio que en los motores Diesel y Otto ocurren cinco procesos, en vez de cuatro como plantea González, 2015, porque los procesos combustión y expansión se estudian por separados. Coinciden con el autor que el proceso de combustión es el más importante.

En la investigación señalada anteriormente se llega a plantear: el funcionamiento en los motores de combustión interna alternativos (MCIA) se basa en una serie de procesos complejos, y para realizar su estudio se requiere de ciertas convenciones numéricas para aproximar su comportamiento real a través de modelos matemáticos. Los procesos a analizar por medio de formulismos numéricos expresan relaciones, proposiciones sustantivas de hechos variables que permiten caracterizar, modelar el funcionamiento y desarrollo del motor; información indispensable para determinar y evaluar los parámetros de diseño empleados para su desarrollo. (González, 2015, p. 40)

La tesis doctoral desarrollada por Martín, 2007 está encaminado a profundizar en el diagnóstico de la combustión a partir de la señal de presión en el cilindro en los motores Diesel de inyección directa. Para ello, se dispone del conocimiento previo sobre adquisición de señal de presión y diagnóstico de la combustión mediante el modelado termodinámico existente en el grupo de trabajo en que se ha desarrollado. En el presente trabajo la señal previa es la presión de entrada del aire en el motor MTU serie 4000.

Nole, 2022 toma en cuenta las consideraciones de la termodinámica clásica para la resolución numérica, y, a la mezcla aire-combustible como fluido de trabajo. Con ello, obtiene resultados numéricos de las propiedades de cada uno de los estados termodinámicos, así como parámetros propios del ciclo de motores Otto y Diesel.

En Passo *et al*, 2024, se concluye: el comportamiento del motor en términos de rendimiento, consumo de combustible y emisiones de escape están influenciados por la magnitud de la presión de entrada de aire. Necesita formar una mezcla de aire y combustible más pobre para extraer más energía del proceso de combustión. La gran cantidad de aire aumenta la posibilidad de que los elementos químicos del combustible se quemen con oxígeno.

Otra investigación que ha permitido el diagnóstico de motores de combustión interna es el estudio desarrollado por Llanes-Cedeño *et al*, (2019) en los grupos de generación de la Empresa de Mantenimiento a los Grupos Electrógenos Fueloil (EMGEF) en la provincia cubana de Granma demostró que la presión y la temperatura son indicadores significativos en las fallas de los motores, además de que el número de fallas detectadas por temperatura fueron más significativas que las reportadas por la presión de inyección. Se concluye que las altas temperaturas en los cilindros generalmente están relacionadas con un alto índice de gases y un deficiente estado de los inyectores. Las diferencias entre las presiones están relacionadas con la baja hermeticidad y el estado técnico de los elementos del sistema de alimentación.

En Gavilema, (2021) se afirma que “el análisis de procesos de combustión está vigente en la actualidad, si bien existen un sin número de estudios relacionados con esta temática” (p. 2) estos estudios aún no han llegado a una conclusión de cuáles son los parámetros que ofrecen el mejor rendimiento de un motor.

Los investigadores del presente artículo pretenden conocer, bajo las condiciones de explotación en Cuba, el comportamiento del ciclo de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000 al variar la presión del aire desde 0,3 hasta 0,24 MPa. Además, de la influencia del mismo en el comportamiento de índices efectivos del motor tales como: presión media efectiva, rendimiento mecánico y consumo horario de combustible. Este no es un trabajo concluyente.

## 2. METODOLOGÍA

Para desarrollar la investigación cuyos resultados se exponen en este artículo se emplearon métodos de investigación teóricos como son: análisis y síntesis e histórico – lógico para el estudio del objeto a través del tiempo y llegar a un análisis lógico.

Las técnicas empleadas en la recolección de los datos fueron: los datos históricos registrados en el mes de septiembre de 2023 durante la explotación de los grupos electrógenos MTU serie 4000 de un emplazamiento de generación, además, observación participante, documentos oficiales de la empresa: expedientes técnicos, y documentos personales de revisiones bibliográficas precedentes.

Para lograr los resultados se elaboró un procedimiento que se describe a continuación:

**a.** Conocer en el histórico, Scada Eros instalado en las baterías de grupos electrógenos, los valores de la presión de aire de entrada y su temperatura en el motor, el objetivo de este primer paso es conocer los límites de trabajo durante la explotación de ambas variables.

**b.** Calcular las presiones, temperaturas, presión media efectiva, consumo específico y horario del combustible.

**c.** Elaborar una plantilla Excel para simular a través de fórmulas matemáticas el ciclo de trabajo del motor y de esta forma conocer el comportamiento durante el funcionamiento del grupo electrógeno de la presión de entrada del aire y su relación con el consumo horario del combustible.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el análisis de los datos conocidos de las variables presión y temperatura del aire a través del Eros y la consulta de documentos técnicos de los equipos y literatura especializada los investigadores conocieron las características siguientes de ambas variables: los valores de trabajo de la presión del aire oscilaron entre 0,24 y 0,3 MPa, los fabricantes no fijan límites de trabajo de la presión del aire, los explotadores limitan la presión del aire entre 0,24 y 0,3 MPa, la temperatura de entrada del aire se encuentra durante la explotación entre 309 y 333 °K, los fabricantes limitan la temperatura de entrada del aire entre 308 y 340 °K, según Jóvaj, 1987 la presión efectiva media (Pe) en un motor de combustión interna Diesel debe situarse entre 0,7 y 2,0 MPa y el rendimiento mecánico (Ƞm) entre 0,8 y 0,9 y según los fabricantes el consumo de combustible (Gc) al 75 % (1410 kW) debe ser de 225 g/kWh.

De la literatura especializada en motores de combustión interna los investigadores conocieron las principales fórmulas matemáticas para el cálculo de las presiones y temperaturas en los principales puntos del ciclo de trabajo o ciclo térmico de un motor de combustión interna Diesel.

**Principales fórmulas utilizadas, según Jóvaj, 1987 y González, 2015, para desarrollar el ciclo de trabajo real del motor de combustión interna MTU serie 4000**.

**Para el proceso de admisión**.

$Pa = (0{,}9 - 0{,}96)Pk$ (MPa) (1)

Donde:

$Pa$: Presión al final de la admisión.

$Pk$: Presión del aire a la entrada de la cámara de combustión.

$Ta = \frac{To+\Delta To+0{,}01*\Upsilon r*Tr}{1+0{,}01\Upsilon r}$ (°K) (2)

Donde:

$To$: Temperatura del aire a la entrada de la cámara de combustión.

$\Delta To$: Incremento de la temperatura (10 – 400).

$\Upsilon r$: Coeficiente de los gases residuales (2 - 6).

$Tr$: Temperatura de los gases residuales (700 – 900 °K).

**Para el proceso de compresión**.

$Pc = Pa * \mathcal{E}^{n1}$ (MPa) (3)

Donde:

$\mathcal{E}$: Relación de compresión. En el caso del motor MTU serie 4000 es de 15.

$n1$: Coeficiente politrópico de compresión de compresión $n^1$ en el caso de estudio es igual a 1,32 – 1,4.

$Tc = Ta * \mathcal{E}^{n1-1}$ (°K) (4)

**Para el proceso de combustión**.

$Pz = \lambda * Pc$ (MPa) (5)

Donde:

λ: Relación de incremento de la presión 1,8 – 2,5.

$Tz = Tc * \mathcal{E}^{\Upsilon-1}$ (°K) (6)

Donde:

ϒ: Relación de capacidades caloríficas adiabáticas siendo para este caso 1,4

**Para el proceso de expansión**.

$Pb = \frac{Pz}{\delta^{n2}}$ (MPa) (7)

Donde:

δ: Coeficiente de expansión ulterior, según cálculo para el motor de estudio igual a 10,29.

$n2$: Coeficiente politrópico de expansión entre 1,18 – 1,28.

$Tb = \frac{Tz}{\delta^{n2-1}}$ (°K) (8)

**Índices efectivos del motor**.

- Presión media de las pérdidas mecánicas Pm.

$Pm = 0{,}105 + (0{,}012 * Vp)$ (MPa) (9)

Donde:

$Vp$: Velocidad media del pistón.

- Presión media efectiva.

$Pe = Pi - Pm$ (MPa) (10)

Donde:

$Pi$: Presión media indicada.

- Rendimiento mecánico del motor.

$\eta m = \frac{Pe}{Pi}$ (11)

- Gasto horario de combustible.

$Gc = \frac{ge*Ne}{1000}$ (gkW) (12)

ge: Consumo especifico de combustible.

Ne: Potencia efectiva del motor al 75 % igual a 1410 kW.

Los investigadores luego de realizar los principales cálculos, a través de las fórmulas anteriormente descritas, para conocer con relación al volumen de la cámara de combustión las presiones y temperaturas en los principales puntos del ciclo real de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000. El saber de estas presiones y temperaturas permite calcular las presiones medias efectivas, el consumo específico y horario del combustible.

Con la información anterior se simuló en una hoja Excel el ciclo real de trabajo del motor MTU serie 4 000 con el objetivo de conocer cuál es el comportamiento del consumo de combustible según la presión del aire a la entrada de la cámara de combustión (cilindro del motor).

Para simular la entrada de la presión del aire, y así conocer el comportamiento del ciclo de trabajo, se utilizó la función aleatoria la cual devuelve números reales aleatorios de la presión mayor a 0,2 y menor a 0,3 MPa.

A continuación, se mostrarán en las tablas 1, 2 y 3 y figuras 1, 2 y 3 el comportamiento del ciclo de trabajo y de los índices efectivos del motor, según la entrada de presión del aire a la cámara de combustión del motor del motor de combustión interna MTU serie 4000. Estos datos fueron comparados con información encontrada en la literatura especializada Jóvaj, 1987 y datos brindados por el fabricante.

Tabla 1. Presión del aire a 0,30 MPa y consumo horario de combustible en el ciclo real del motor MTU serie 4 000. Fuente: elaboración propia.

| Punto del ciclo | Volúmenes en la cámara $m^3$ | Presiones MPa | Pe MPa calculada | $\eta m$ calculada | Gc g/kWh calculada |
|---|---|---|---|---|---|
| Entrada a la cámara | 0,003 | 0,30 | **2,430** | **0,909** | **161** |
| a (final de la admisión, calculada) | 0,044 | 0,27 | Según Jóvaj, 1987 | Según Jóvaj, 1987 | Según fabricante al 75 %de carga |
| c (inicio combustión, calculada) | 0,008 | 9,81 | | | |
| z (máxima presión, calculada) | 0,003 | 17,66 | **0,7- 2,0** | **0,8-0,9** | **225** |
| b (final expansión, calculada) | 0,044 | 1,13 | | | |

De la tabla 1 los investigadores concluyen: que cuando la presión del aire se encuentra a 0,30 MPa (3,0 bar) la presión media efectiva y el rendimiento mecánico del motor se encuentran ligeramente por encima de los parámetros definidos como normales para un motor Diesel sobrealimentado según Jóvaj, 1987.

El comportamiento del consumo de combustible para esta presión del aire es de 161 gramos de combustible por un kW de potencia generado por el motor en una hora de trabajo, esto significa que con esta presión del aire se consumen 64 gramos de combustible menos que lo normado por el fabricante al 75 % de carga de trabajo del motor.

En la figura 1 se simula el ciclo de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000.

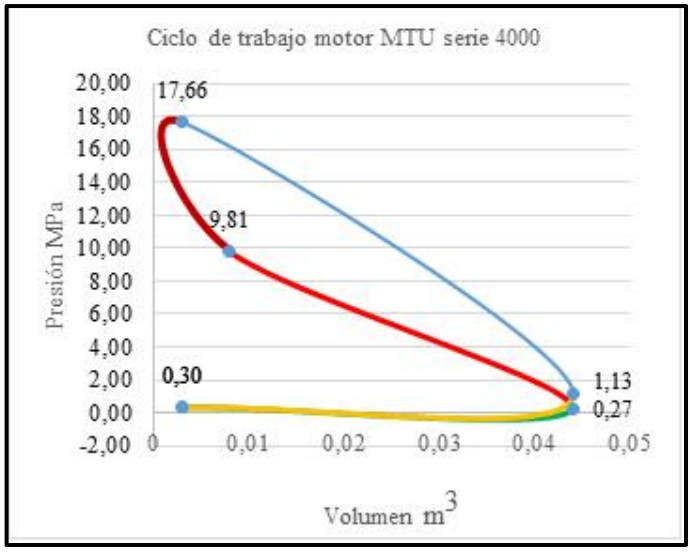



Figura 1. Ciclo real de trabajo del motor MTU serie 4000 cuando la entrada del aire es de 0,30 MPa. Fuente: elaboración propia.

De la figura 1 se concluye: que la máxima presión del ciclo se sitúa en 17,66 MPa encontrándose la misma, según la literatura especializada, dentro de los valores de normales para estos tipos de equipo. Este comportamiento influye en el consumo horario de combustible durante la explotación del equipo.

En la tabla 2 y figura 2 se muestran los resultados de la investigación para la presión del aire de 0,27 MPa.

Tabla 2. Presión del aire a 0,27 MPa y consumo horario de combustible en el ciclo real del motor MTU serie 4000. Fuente: elaboración propia.

| Punto del ciclo | Volúmenes en la cámara $m^3$ | Presiones MPa | Pe MPa calculada | $\eta m$ calculada | Gc g/kWh calculada |
|---|---|---|---|---|---|
| Entrada a la cámara | 0,003 | 0,27 | 2,182 | 0,900 | 180 |
| a (final de la admisión, calculada) | 0,044 | 0,25 | Según Jóvaj, 1987 | Según Jóvaj, 1987 | Según fabricante al 75 %de carga |
| c (inicio combustión, calculada) | 0,008 | 8,82 | | | |
| z (máxima presión, calculada) | 0,003 | 15,88 | 0,7- 2,0 | 0,8-0,9 | 225 |
| b (final expansión, calculada) | 0,044 | 1,01 | | | |

De la tabla 2 los investigadores concluyen: que cuando la presión del aire se encuentra a 0,27 MPa (2,7 bar) la presión media efectiva se encuentra ligeramente por encima de los parámetros definidos para esta variable como normales para un motor Diesel sobrealimentado según Jóvaj, 1987, el rendimiento mecánico se sitúa en el límite superior. Al comparar estos dos parámetros con los anteriores en la tabla 1 los mismos disminuyen ligeramente en 0,240 y 0,009 MPa respectivamente, indicando que la eficiencia del ciclo se reduce ligeramente.

El comportamiento del consumo de combustible para esta entrada de la presión del aire es de 180 gramos de combustible por un kW de potencia generado por el motor en una hora de trabajo, esto significa que con esta presión del aire se consumen 45 gramos de combustible menos que lo normado por el fabricante al 75 % de carga de trabajo del motor. Al comparar este consumo con el consumo de combustible cuando la presión del aire es de 0,30 MPa aumenta en 19 gramos de combustible.

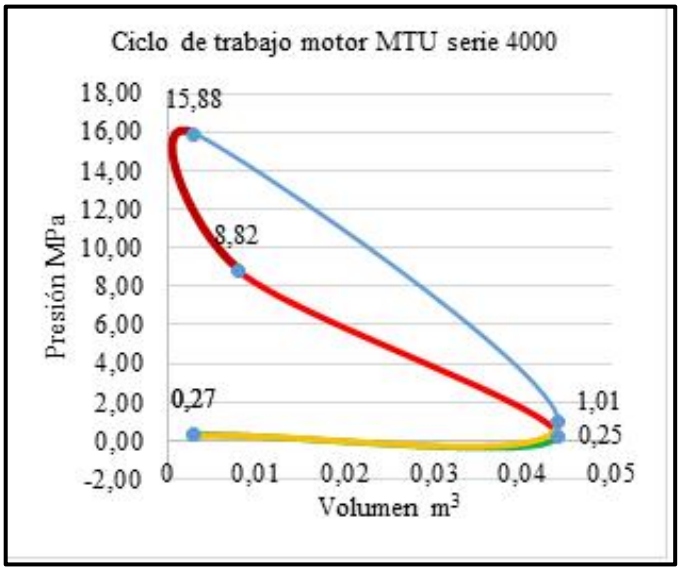



Figura 2. Ciclo real de trabajo del motor MTU serie 4000 cuando la entrada del aire es de 0,27 MPa. Fuente: elaboración propia.

De la figura 2 se concluye: la máxima presión del ciclo es de 15,88 MPa disminuyendo en 1,78 MPa al compararla con el ciclo de la figura 1. Según la literatura especializada se encuentra dentro de los valores de normales para este tipo de equipo. Este comportamiento influye en el consumo horario de combustible durante la explotación del equipo.

En la tabla y figura 3 se dan a conocer los resultados de la investigación para la entrada del aire de 0,24 MPa límite inferior de la variable definido por el explotador.

Tabla 3. Presión del aire a 0,24 MPa y consumo horario de combustible en el ciclo real del motor MTU serie 4000. Fuente: elaboración propia.

| Punto del ciclo | Volúmenes en la cámara $m^3$ | Presiones MPa | Pe MPa calculada | $\eta m$ calculada | Gc g/kWh calculada |
|---|---|---|---|---|---|
| Entrada a la cámara | 0,003 | 0,24 | 1,939 | 0,889 | 202 |
| a (final de la admisión, calculada) | 0,044 | 0,22 | Según Jóvaj, 1987 | Según Jóvaj, 1987 | Según fabricante al 75 %de carga |
| c (inicio combustión, calculada) | 0,008 | 7,99 | | | |
| z (máxima presión, calculada) | 0,003 | 14,39 | 0,7- 2,0 | 0,8-0,9 | 225 |
| b (final expansión, calculada) | 0,044 | 0,92 | | | |

De la tabla 3 los investigadores concluyen: que cuando la presión del aire se encuentra a 0,24 MPa (2,4 bar) la presión media efectiva y el rendimiento mecánico del motor se encuentran dentro de los parámetros definidos como normales por Jóvaj, 1987 para un motor Diesel sobrealimentado, pero disminuyen ambos en 0,491 y 0,02 MPa respectivamente al compararla cuando la presión era de 0,30 MPa.

El comportamiento del consumo de combustible para esta presión del aire es de 202 gramos de combustible por un kW de potencia generado por una hora de trabajo del motor, esto significa un consumo de menos 23 gramos de combustible al compararlo con lo normado por el fabricante al 75 % de carga de trabajo del motor. Pero aumenta en 41gramos si se compara con el consumo cuando la presión del aire es de 0,30 MPa.

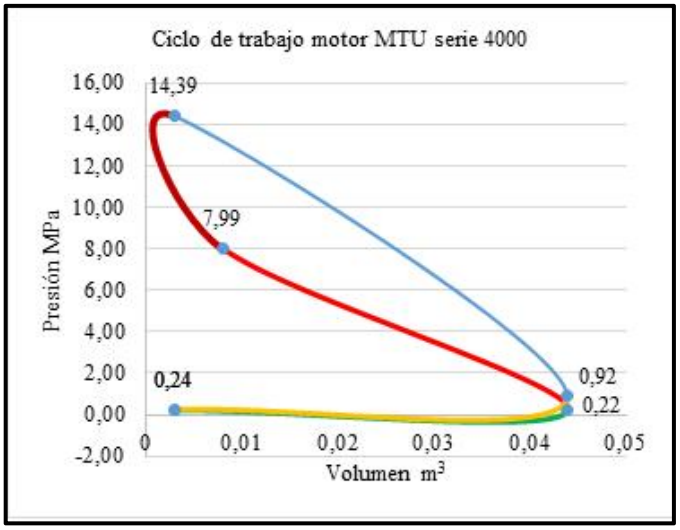



Figura 3. Ciclo real de trabajo del motor MTU serie 4000 cuando la entrada del aire es de 0,24 MPa. Fuente: elaboración propia.

De la figura 3 se concluye: que la máxima presión del ciclo se sitúa en 14,39 MPa 3,24 MPa por debajo de la máxima presión que alcanza el ciclo cuando la presión del aire es de 0,30 MPa (presión máxima de entrada del aire a la cámara de combustión en este tipo de motor). Este comportamiento influye en el consumo horario de combustible durante la explotación del equipo.

## 4. CONCLUSIONES

Al variar la presión del aire desde 0,30 a 0,24 MPa, la máxima presión del ciclo de trabajo del motor de combustión interna MTU serie 4000 disminuye en 3,27 MPa.

La disminución de la máxima presión del ciclo de trabajo influye ligeramente en el comportamiento de la presión media efectiva y en el rendimiento mecánico del motor.

La disminución de la máxima presión del ciclo de trabajo influye en el aumento del consumo de combustible en 41 gramos por cada kW de potencia generado por el motor al variar la presión del aire desde 0,30 a 0,24 MPa.

## RECONOCIMIENTO

Los autores desean reconocer al colectivo de especialistas, técnicos y dirigentes de la UEB Geysel de la provincia Holguín por su aporte a los resultados plasmados en este artículo.

## REFERENCIAS

1. MARTÍN, Jaime. "Aportación al diagnóstico de la Combustión en motores Diesel de Inyección directa". Directores: Francisco Payri González y Santiago Molina Alcaide. Tesis de doctorado, Departamento de máquinas y motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, España, (2007).
2. LAPUERTA, M. "Un modelo de combustión fenomenológico para un motor Diesel de inyección directa rápido". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, (1988).
3. FONTERIZ, Veronica Cinthia; RUSSO, Fernando Gabriel; RECELOGLU, Grabiel Aram; CAPUTO, Diego Cristhian; CAVATAIO, Pablo Gabriel. "Obtención del ciclo de trabajo de un motor de combustión interna en forma experimental mediante el método de superposición de efectos". *Proyecciones*, 2019, vol.17 nº. 2.
4. CEBALLOS, John Jairo. "Estimación de prestaciones, consumo de combustible y emisiones de vehículos de transporte de pasajeros con un motor Diesel de aspiración natural dependiendo de las condiciones ambientales y operativas". Director: Francisco Tinaut Fluixá. Tesis Doctoral Universidad de Valladolid, España, 2021.
5. GONZÁLEZ GIRALDO, Oscar Eduardo. "Modelado termodinámico y estructural de un motor de Combustión interna alternativo". Director: Carlos Alberto Romero Piedrahita. Tesis de grado, Facultad de ingeniería mecánica, Universidad tecnológica de Pereira, 2015.
6. NOLES SUÁREZ, Brayan Nicolás. Diagramas termodinámicos interactivos de los ciclos de potencia Otto y Diesel. Director: Miguel Darío Ortega López. Tesis para optar por el título de Ingeniero de Ingeniero mecánico. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2022.
7. PASSO GUAMANGATE, Manuel Rodrigo; EGAS GARCÍA, Jeyson Patricio; ARGUELLO GUERRERO, Joffre Alexander; GARCÍA VALENCIA, Jhon Gregorio; LISINTUÑA TOAPANTA, Edwuin Paúl. "Aplicación de un modelo matemático para el análisis del comportamiento del ciclo Otto MCI bajo manipulación de parámetros ambientales". *Revista Conectividad*, 2024, Enero – julio, Volumen 5, Número 1, ISSN: 2806-5875 pp. 1-19 Correo: revista@ister.edu.ec
8. LLANES-CEDEÑO, Edilberto Antonio; GUARDIA-PUEBLA, Yans; De la ROSA-ANDINO, Alain; CEVALLOS-CARVAJAL, Santiago; ROCHA-HOYOS, Juan Carlos. "Detección de fallas en motores de combustión mediante indicadores de temperatura y presión de inyección". *Ingenius*, 2019, N.◦ 22, (julio-diciembre). pp. 38-46. doi: https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.04.
9. GAVILEMA GONZÁLEZ, Sebastian Alejandro. Análisis energético de un motor de combustión interna a diferentes relaciones aire-combustible. Director: Paúl Gustavo Palmay Paredes. Trabajo de titulación. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, Carrera de ingeniería química, Riobamba – Ecuador, 2021.
10. JOVAJ, M. S. "Motores de Automóvil". Editorial Mir, 1987, Moscú, URSS.

## Sobre los autores

**Manuel Jeremías Rodríguez Romero**: Ingeniero Físico nuclear, imparte la asignatura Termodinámica en la carrera de mecánica de la Universidad de Holguín, master en ciencia, profesor asistente de la Disciplina Energía, cursa el doctorado curricular de la carrera de mecánica, Director de la Escuela de Capacitación del MICONS en Holguín.

**Elio Rafael Hidalgo Batista**: Ingeniero mecánico, imparte la asignatura Tecnologías del diagnóstico en la carrera de mecánica de la Universidad de Holguín, Doctor en ciencias técnicas, profesor titular de la Disciplina mantenimiento. Pertenece a la UNAIC, ANIR.

**Raúl Torres Sainz**: Ingeniero mecánico, imparte la asignatura Fundamentos de la ingeniería del mantenimiento en la carrera de mecánica de la Universidad de Holguín, Master en mantenimiento y reacondicionamiento de máquinas, profesor asistente de la Disciplina mantenimiento. Pertenece a la UNAIC, ANIR.

**Mario Ramón Martín Suárez**: Ingeniero automático en la UEB Geysel Holguín, cursa la maestría de mantenimiento y reacondicionamiento de la carrera de mecánica del Departamento de mecánica de la Universidad de Holguín, pertenece a la ANIR.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# POTENCIALIDADES ENERGÉTICAS DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA LAM ECOTIPOS NICARAGUA Y CRIOLLA

**Cándida Ferrer Serrano[1], Martha Mazorra Mestre[1], Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas[2]**

[1]Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. Universidad Tecnológica de La Habana,
[2] Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE. Calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: pllerena@infomed.sld.cu

**RESUMEN**

La Moringa *oleífera* es altamente valorada a nivel mundial por las propiedades que posee. Esta planta se utiliza como materia prima en diferentes industrias. Una de las partes aprovechables del árbol es la semilla debido a los productos que se pueden obtener de estas. Se ha demostrado que contienen entre un 30 y 45% de aceite, el cual es ampliamente utilizado en la elaboración de cosméticos, productos biofarmacéuticos y actualmente en la obtención de biocombustible. Se realiza el estudio granulométrico del tamaño de partículas. Para la extracción del aceite se usan como disolventes hexano y metanol. Se estudia además la extracción mecánica. El objetivo del trabajo es determinar si las propiedades físico-químicas del aceite de semillas de Moringa *oleífera* ecotipos Nicaragua y Criolla cumplen con los requisitos que evidencien sus potencialidades energéticas. Para conocer el comportamiento de las variables de la extracción con respecto al contenido de aceite se trabaja con un diseño $2^3$. Técnicas analíticas cualitativas y cuantitativas se usan para la determinación de las propiedades que caracterizan a un aceite para el análisis de sus potencialidades energéticas. Las propiedades evaluadas del aceite de semillas de Moringa del aceite obtenido presentan similitud con la literatura y cumplen con los requisitos que evidencian sus potencialidades energéticas.

**PALABRAS CLAVES:** moringa, semillas, aceite, biodiesel.

# ENERGY POTENTIAL OF MORINGA OLEIFERA SEEDS ECOTYPES NICARAGUA Y CRIOLLA

**ABSTRACT**

Moringa oleífera is highly valued worldwide by the properties it owns. This plant is used as raw material in different industries. One of the usable parts of the tree is the seed due to the products obtainable from these. It has been shown to contain between 30 and 45% oil, which is widely used in the manufacture of cosmetics, biopharmaceuticals products and currently in obtaining bio fuels. The particle size study is carried out. A granulometric study of the particle size is carried out. Hexane and methanol are used as solvent for the extraction of the oil. Mechanical extraction is also studied. The objective of the work is to determine whether the physical-chemical properties of the oil from Moringa oleifera seeds, Nicaragua and Criolla ecotypes, meet the requirements that demonstrate their energy potential. To understand the behavior of the extraction variables with respect to the oil content, a $2^3$ design is used. Qualitative and quantitative analytical techniques are used to determine the properties that characterize an oil for the analysis of its energy potential. The evaluated properties of Moringa seed oil from the oil obtained present similarity with the literature and meet the requirements that demonstrate its energy potential.

**KEY WORDS: Moringa, seeds, oil, biodiesel**

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas los residuos agroindustriales han sido un foco de atención para varios investigadores a nivel mundial, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser materia prima para generar diversos productos de interés.

La alta demanda de la fibra natural hace que sea necesario el desarrollo de la Industria Henequenera no solo por la modernización y la búsqueda de soluciones tendientes a evitar la contaminación ambiental, sino también para la utilización de los residuales, ya que disminuirían los costos de inversión y de funcionamiento de las nuevas tecnologías.

La Moringa *oleífera* es un árbol originario del sur del Himalaya que tolera un amplio rango de condiciones climáticas y de suelos, es de pequeño tamaño que crece en regiones tropicales, altamente valorado a nivel mundial por sus propiedades que le permiten ser catalogado como un árbol que ofrece una gran versatilidad como materia prima en diferentes industrias. De la semilla de Moringa *oleífera* se extrae un aceite natural rico en triesteres de glicerilo de alta calidad en el que pudiera evaluarse sus potencialidades energéticas para la elaboración de biodiesel, generando un impacto ambiental [1].

Sus semillas poseen propiedades oleaginosas permitiendo la extracción de aceite para usos comestibles o industriales. Con un porcentaje en contenido de aceite en sus semillas entre el 30 - 45% [2] , frente al 38 – 44% de colza, 20% de soya, 21 – 23% de palma africana, 35 – 42% de girasol, y 10 – 30% de oliva, ha sido estudiado para usarse en productos cosméticos, alimenticios y en la producción de biodiesel por su alto porcentaje en ácidos grasos como el oleico y behénico, [3], puede aprovecharse de manera integral, generando un impacto ambiental mínimo y una rentabilidad ecológica, económica, social e industrial elevada [4], es por ello que en este trabajo se utiliza la semilla, ya que sus propiedades le permiten obtener productos y residuos utilizables con diferentes usos, de ahí la importancia del desarrollo de estudios para la producción de biodiesel a partir de aceites menos comunes o no convencionales como el caso del aceite de la Moringa *oleífera*, [5].

Los denominados biocombustibles de primera generación, proceden de plantas que pueden producir alimento, lo que genera un conflicto con la producción alimenticia. Esa competencia no se produce en los cultivos de segunda generación (no comestibles) lo que los hace muy atractivos para la industria. El biodiesel producido a través de cultivos oleaginosos representa una alternativa válida para reemplazar o disminuir el uso de los combustibles fósiles, específicamente combustible diesel, [6]. El biodiesel es un biocombustible líquido que se obtiene mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del combustible diesel o gasóleo obtenido del petróleo [6, 7, 8].
.En Cuba el consumo de energía ha disminuido en los últimos años desde el llamado período especial, lo que ha afectado todas las ramas de la economía, incluyendo el transporte. La matriz energética cubana sigue estando fundamentalmente en el empleo del petróleo y sus derivados como portador energético. No obstante con las nuevas políticas económicas y sociales propuestas por el estado cubano, las energías renovables han sido incluidas como elemento activo de este proceso, fundamentalmente dentro del plan energético [9].

El agotamiento del petróleo y de sus reservas ha motivado a la sociedad científica a pensar en combustibles alternativos y renovables como el biodiesel. La producción de biodiesel se lleva a cabo principalmente por transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol liviano en presencia de catalizadores[10, 11].

El desarrollo de la moringa se fomenta en Cuba teniendo en cuenta el alto valor nutritivo de varias partes de la planta y debe también considerarse el alto contenido de aceite en sus semillas. Por tanto, el objetivo del trabajo es determinar si las propiedades físico-químicas del aceite de semillas de Moringa *oleífera* ecotipos Nicaragua y Criolla, cumplen con los requisitos que evidencien sus potencialidades energéticas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolla en áreas de las Facultades de Ingeniería Mecánica y Química de la Universidad Tecnológica de la Habana, “José Antonio Echeverría” CUJAE.
La extracción de aceite se realiza con hexano y metanol a partir de las semillas de Moringa *oleífera* de los ecotipos Nicaragua, de la Cooperativa agropecuaria Rosa Elena Simeón, Mayabeque y Criolla del banco de semillas del Centro de Productos Naturales, Siboney, Playa. Se analizan las propiedades físico-químicas del aceite extraído para cada una de los ecotipos haciendo uso de técnicas analíticas tales como

refractometría, volumetría, potenciometría, cromatografía acoplada a espectrometría de masas y gravimetría tal como reportan en sus trabajos [2, 12, 13].

Se estudió además la extracción mecánica por prensado para el ecotipo Nicaragua, se realiza en un molino marca Komet, tipo DD85, año 2000, Alemania diseñado con el fin de extraer aceites de diversos tipos de semillas. Las mismas son colocadas en el equipo debiendo mezclarse los cotiledones con las cáscaras para garantizar el funcionamiento adecuado de la maquinaria. Luego se pasa por un filtro de bandeja que separa los pequeños restos que quedan en el aceite, o se deja sedimentar. La masa de semillas a moler es de 10kg.

Las semillas se preparan para el proceso de extracción separando primeramente las cáscaras de los cotiledones ejerciendo presión sobre las mismas. Posteriormente se colocan en un mortero de laboratorio una parte de las semillas y se presionan para lograr disminuir el tamaño de partícula lo más posible. Se disminuye el tamaño de partícula de los cotiledones según reportes hechos por Abdulkareem [14]. La cantidad restante de semillas se pasa por un molino casero obteniéndose diferentes tamaños de partículas menores que 0,315 mm (molidas) y mayores que este tamaño (triruradas), de esta manera se garantiza que una vez en el proceso de extracción el área de contacto entre estas y el disolvente sea mayor, lográndose además, favorecer la penetración del disolvente en la estructura. El tamizado se realiza según la Norma Cubana Minerales-Análisis granulométrico por tamizado [15]. Luego son sometidas a un proceso de secado en una estufa, modelo DHG – 9146A. La determinación de humedad se efectúa por diferencia de pesadas, utilizando una balanza analítica, modelo SARTORIUS BS 124S. La temperatura para el secado se fija por debajo de 60°C para evitar la desnaturalización de las proteínas de las semillas. Se pesa una masa de 10 gramos utilizando una balanza analítica, modelo SARTORIUS BS 124S y se introduce en el Soxhlet. El disolvente se adiciona teniendo en cuenta las relaciones soluto - disolvente 1:6 que se define para la investigación según Águila [12].

Se determinan las propiedades que caracterizan al aceite utilizando métodos físico-químicos de análisis.

Para el diseño de los experimentos a realizar se trabaja con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus. Se propuso un diseño experimental multinivel factorial $2^k$, donde k = 3 teniendo en cuenta tres factores a dos niveles. Los factores considerados fueron el tipo de disolvente, tiempo de extracción y el tamaño de partícula. Los niveles de estudios para el tiempo de extracción son 4 y 6 horas. Los disolventes a utilizar son el hexano y el metanol, y los niveles relacionados con el tamaño de partícula son el triturado con mortero de laboratorio (mayores de un mm) y la molienda con molino casero (0,315 mm) obteniéndose dos tamaños de partículas diferentes. En todos los casos la variable dependiente será el porcentaje de extracción de aceite.

**Determinación de la viscosidad**

El ensayo se realiza en el Laboratorio de Física de Yacimientos, perteneciente al Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet). La técnica se desarrolla después que se homogenizan las muestras en el Reómetro Antón Paar Physica MCR-301, con el sistema Peltier de calentamiento que garantiza que se mantenga la temperatura constante con 0,03ºC de precisión. Los ensayos se realizan a 40ºC, con el sistema de medición: Cilindro Concéntrico CC-27, utilizando un intervalo de gradientes de velocidad desde 0,001 hasta 1000 s-1. Los datos se obtienen a partir del *Software* RHEOPLUS 3.21.

Con la finalidad de conocer la composición de ácidos grasos presentes en las muestras en estudio se le realiza al aceite extraído cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa. Para las variedades Nicaragua y Criolla se empleó un sistema GC-MS QP5050A (Angilent J&W) con un detector selectivo de masa. El sistema operó en modo de impacto electrónico de iones positivos. La corriente de ionización fue de 1,8 kV y el intervalo de masa registrada fue de 45-400 uma. La columna utilizada fue HP-5MS de 30m de largo por 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de la fase líquida. El gas portador utilizado fue el hidrógeno (76,1 kPa). La temperatura se fijó a 295°C y la de la fuente de iones a 275°C. El inyector, se mantuvo a 295°C, y se inyectaron 1,1 mL/min. El gradiente de temperatura utilizado comenzó a 70°C (1min) hasta 295°C a 12°C/ min y finalmente 295°C durante 2,25 min. [27].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Porcentaje de humedad en semillas de variedades cubanas de Moringa**

El valor promedio de la humedad hallada en el ecotipo Nicaragua se encuentra en un rango de 1,6- 3,8 %, la Criolla 5-6% y en otros ecotipos cubanos se encuentran en el rango de 3,15- 6,24 %, reportes de la literatura consultada [16] indican que tienen correspondencia con otras de su especie por tanto, los factores medioambientales en cada región analizada presentan características favorables para la gama de semillas comparadas. En la Tabla 1 se establece la comparación de esta propiedad de las variedades cubanas en estudio con otras cubanas y de Pakistán. [16, 17, 18].

**Tabla 1. Comparación de la humedad en semillas de variedades de Moringa oleífera**

| Variedad | Humedad (%) |
|---|---|
| Nicaragua (Cuba) | 3,15 |
| Criolla (Cuba) | 6,0 |
| Wild (NWFP Pakistan) | 8,9 |
| Sindh (Pakistán) | 5,7 |

Los resultados demuestran que el porcentaje de humedad eliminada para un tiempo de secado de 2 h y a una temperatura de 55 °C para las diferentes variedades está en el intervalo que refiere la literatura.

**Análisis estadístico del diseño experimental**

Para corroborar la influencia de cada factor presente en el proceso de extracción se llevó a cabo un diseño experimental del ecotipo Nicaragua en el programa Statgraphics – Plus El diseño propuesto fue $2^3$, teniendo en cuenta tres factores a dos niveles, al cual se le realizó una réplica con el objetivo de obtener mayor presición con un total de 16 corridas experimentales. Se muestra la matriz ortogonal completa:

| | BLOCK | Tiempo | Solvente | Granulometría | Porcentaje de |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 6.0 | metanol | 1.0 | 21.3 |
| 2 | 1 | 6.0 | hexano | 0.315 | 36.2 |
| 3 | 1 | 6.0 | metanol | 0.315 | 18 |
| 4 | 1 | 4.0 | metanol | 0.315 | 18.4 |
| 5 | 1 | 4.0 | hexano | 0.315 | 37.34 |
| 6 | 1 | 6.0 | hexano | 1.0 | 39.8 |
| 7 | 1 | 4.0 | hexano | 1.0 | 37.2 |
| 8 | 1 | 4.0 | metanol | 1.0 | 20 |
| 9 | 2 | 6.0 | hexano | 1.0 | 38.8 |
| 10 | 2 | 6.0 | metanol | 1.0 | 24.7 |
| 11 | 2 | 4.0 | metanol | 0.315 | 16.8 |
| 12 | 2 | 6.0 | hexano | 0.315 | 37.48 |
| 13 | 2 | 6.0 | metanol | 0.315 | 22 |
| 14 | 2 | 4.0 | hexano | 1.0 | 39.1 |
| 15 | 2 | 4.0 | hexano | 0.315 | 35.79 |
| 16 | 2 | 4.0 | metanol | 1.0 | 17.8 |

**Figura 1** "Matriz ortogonal completa"

Con éste análisis se logró obtener un modelo que describe y explica el comportamiento del proceso de extracción de aceite. El modelo obtenido se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = 24{,}9283 + 0{,}372719 * T + 12{,}1524 * S - 1{,}65328 * G - 0{,}634375 * T * S + 0{,}939781 * T * G - 0{,}0930657 * S * G$$

Donde:E: Porcentaje de extracción, T: Tiempo de extracción, S: Tipo de solvente y G: Granulometría

Con el objetivo de confirmar la efectividad del modelo obtenido se procede a analizar las pruebas de calidad de ajuste. El parámetro estadístico R-cuadrado ($R^2$) demuestra que el modelo ajustado explica un 98,4389 % de la variabilidad del porcentaje de extracción, tres efectos poseen un P – Valor menor que 0,05 lo que indica que son significativamente diferentes de cero para un nivel de confianza de 95%. Los factores tiempo de extracción, tipo de solvente y granulometría han incidido de manera positiva sobre la variable respuesta mientras que sus interacciones no han influido en la variable en estudio, teniendo un P – valor mayor que 0,05. En el diagrama de Pareto se confirma dicho comportamiento:

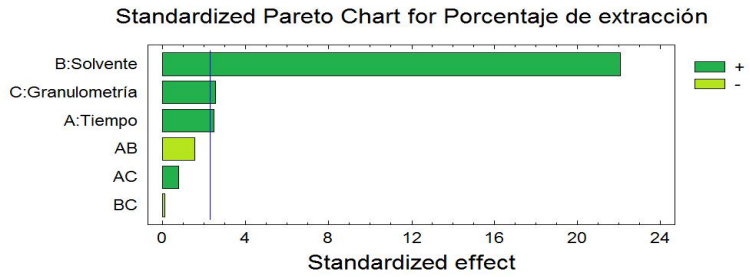



**Figura 2**. Diagrama de Pareto

Mediante el análisis de varianza de la variable respuesta porcentaje de extracción se puede obtener el valor del estadístico Durbin – Watson el cual permite comprobar si existe independencia de los errores, pues este es uno de los requerimientos necesarios para la aplicación del método de los mínimos cuadrados. El valor que se espera de este estadígrafo oscila entorno de 2 lo que ocurre cuando la probabilidad es mayor que 0,05. En el diseño de experimentos desarrollado tiene un valor de 2,02391 el cual está asociado a un valor de probabilidad P=0,3622. Los valores límites para este parámetro se encuentran entre cero y cuatro, mientras más cercano a cero se denomina correlación negativa donde la disminución de la variable provoca una disminución de los errores y para el caso de valores cercanos a cuatro es una correlación positiva donde en la medida que aumenta la variable aumenta los errores. Por consiguiente se puede afirmar que no existe correlación alguna en los errores o lo que es equivalente, hay independencia entre los mismos. Finalmente se obtiene un modelo donde se excluyen los términos de las interacciones entre los efectos ya que no poseen influencia sobre el porcentaje de extracción.

$$E = 24{,}9283 + 0{,}372719 * T + 12{,}1524 * S - 1{,}65328 * G \quad (1)$$

**Caracterización del aceite de semillas de variedades Nicaragua y Criolla**

Existen varios índices que se utilizan para la caracterización físico-química de los aceites [12, 2, 4, 13]. Entre ellos están: Índice de Refracción, Índice de Saponificación, Índice de acidez, Índice de iodo, Índice de peróxido, densidad. Además se efectuó cromatografía gaseosa, método de separación que tiene lugar gracias a las diferencias entre las posiciones de los equilibrios de absorción de los componentes gaseosos de la muestra sobre la superficie sólida de la fase estacionaria.

El aceite de semillas de Moringa variedades Nicaragua y Criolla resultaron ser de color amarillo intenso cuando se extrae con el hexano, mientras que cuando el disolvente utilizado para la extracción es el metanol, el aceite resultante es de color rojizo.

En la Tabla 2 se presentan las características físicas y químicas del aceite extraído de las semillas de Moringa *oleífera* estudiadas y se comparan con otras variedades de semillas de moringa oleifera donde se evidencia que el aceite obtenido de los ecotipos Nicaragua y Criolla es muy similar al de otras especies reportadas en la literatura, las variaciones pueden estar dadas por las características de los suelos, zonas geográficas y el clima. Los ecotipos presentes en plantaciones cubanas tienen un comportamiento similar, independiente de la variedad y procedencia [19, 17, 20].

**Tabla 2. Comparación de las propiedades obtenidas en el aceite de semillas estudiadas con otras variedades foráneas**

| País | Índice / Variedad | IR | IS | II | IP | IA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Criolla** | 1,4600 | 170,8 | 63,0 | 3,15 | 1,41 |
| | **Nicaragua* CPA** | 1,4641 | 172,22 | 61,10 | 2,9 | 1,3 |
| **Pakistán** | **Wild (NWFP)** | 1,4570 | 181,4 | 68,63 | 1,27 | 0,81 |
| | **Sindh** | 1,4608 | 186,67 | 69,45 | 0,59 | 0,4 |
| | **Punjab** | 1,4582 | 183,7 | 70,5 | 1,4 | 0,35 |
| | **Punjab** | 1,4581 | 183,10 | 67,86 | - | 0,33 |
| **In** | **Periyakulam** | 1,4570 | 188,36 | 65,58 | 1,83 | 1,12 |
| **Ke** | **Mbololo** | 1,,4549 | 178,11 | 66,83 | 1,8 | 0,85 |
| **Co** | **Atlántico** | 1,4550 | 161,44 | 59,62 | - | 0,54 |

**Índices** (IR: Refracción; IS: Saponificación mg KOH/g de aceite; II: Iodo g de I/100gde aceite; IP: Peróxidos meq de $O_2$/kg de aceite; IA: Acidez), **País** (In: India; Ken: Ke; Co: Colombia), **CPA Rosa E. Simeón** (Cooperativa de Producción Agropecuaria)

**Determinación de la viscosidad**

El análisis de viscosidad dinámica se realiza acorde al método descrito. Los resultados para las muestras de aceite de *Moringa oleífera* (variedad Criolla de rechazo y Nicaragua) se exponen en la Tabla 3

**Tabla 3. Resultados de la viscosidad del aceite de Moringa *oleífera***

| Medición | Viscosidad dinámica (mPa*s) | |
|---|---|---|
| | Variedad | |
| | Criolla | Nicaragua |
| Valor medio | 38,1 | 36,9 |
| Desviación estándar | 0,1 | 0,3 |

Para tener un criterio comparable con la literatura, se realiza la transformación de las viscosidades dinámicas a viscosidades cinemáticas. Para estos cálculos se emplean los valores de densidad del aceite de ambas variedades. Se obtiene que la viscosidad cinemática del aceite de la variedad Criolla es 42,19 $mm^2/s$ y 40,84 $mm^2/s$ para la variedad Nicaragua. Estos son similares independientemente de la diferencia entre variedades, además se corresponden con los reportes hechos en la literatura.[16]

Esta propiedad es particularmente importante pues una de las razones por las que no se utiliza el aceite directamente en un motor de combustión interna (MCI), está asociada a su elevado valor en comparación con la del combustible diesel. Altas viscosidades pueden traer consigo variaciones significativas en algunas características del funcionamiento del motor como son: la facilidad del encendido, el retardo de la ignición y aumento en la presencia de algunos compuestos en los gases de escape, además de dificultades con el bombeo y transporte del combustible [9]. Esto indica la posibilidad de emplear el aceite en mezclas con el diesel o transesterificarlo para disminuir la viscosidad hasta valores similares al combustible diesel.

**Grado de acidez**

La Tabla 4 muestra los resultados de la determinación del grado de acidez en porcentaje de ácido oleico respectivamente. El valor medio del índice para las muestras de aceite de Moringa *oleífera* es bajo, lo cual indica escasa presencia de ácidos grasos libres en dicho aceite. Resultados similares se obtienen para aceite de Moringa *oleífera* de la variedad Periyakulam *(*India), Mbololo (Kenya) y Wild de (Malawi [16]. Para complementar el análisis se recurre al grado de acidez expresado en porcentaje de ácido oleico.

**Tabla 4. Resultados del grado de acidez del aceite de Moringa *oleífera***

| Medición | Grado de acidez (% ácido oleico) | |
|---|---|---|
| | Criolla | Nicaragua |
| Valor medio | 2,3 | 0,98 |
| Desviación estándar | 0,01 | - |

El porcentaje de acidez se expresa en función del ácido oleico debido a que este es el ácido graso que predomina en el aceite de Moringa *oleífera*. El valor promedio que se obtiene para la variedad Criolla se encuentra por debajo del 3%. También para la variedad Nicaragua se cumple que el porcentaje de acidez es inferior al 3%, recordando que es un valor estimado a partir del reporte del índice de acidez. Este es un resultado importante que permite asegurar que el aceite puede ser transesterificado sin un previo tratamiento de esterificación cuando el grado de acidez está por debajo del valor porcentual antes mencionado. [16, 21]

Al aceite obtenido de ambas variedades por extracción mecánica en la cooperativa Rosa Elena Simeón Negrín del municipio Güines, se le realizaron análisis físico- químicos para establecer si existen diferencias entre algunas de las propiedades medidas. En la Tabla 5 se observa que para el índice de refracción, pH y densidad se obtienen valores similares al aceite extraído con el hexano y con los reportados en la literatura. [16, 17, 20].

**Tabla 5. Propiedades del aceite de las variedades Nicaragua y Criolla**

| Método de extracción | Hexano | | Prensa | |
|---|---|---|---|---|
| Variedad | Nicaragua | Criolla | Nicaragua | Criolla |
| Índice de refracción | 1,4586 | 1,4600 | 1,4643 | 1,4651 |
| Índice de acidez | 1,40 | 1,41 | 1,30 | 2,04 |
| Índice de Saponificación mg de KOH/g | 161,68 | 170,8 | 172,22 | 173,44 |
| pH | 5,29 | 5 | 5,8 | 5,1 |
| Ácidos grasos libres (%) | 7,15 | 7,05 | 1,38 | 10,5 |
| Densidad (g/mL) | 0,9034 | 0,9029 | 0,8780 | 0,9030 |
| Viscosidad dinámica (mPa*s) | - | - | 36,9 | 38,1 |
| Viscosidad cinemática ($mm^2/s$) | - | - | 40,84 | 42,19 |

El índice de refracción del aceite obtenido por extracción mecánica fue ligeramente superior al obtenido con hexano. La diferencia puede estar dada por el método de obtención que pudiera incorporar otros compuestos al efectuar la extracción de aceite de semillas con cáscara. No obstante no son diferencias significativas. En cuanto al índice de saponificación en la variedad Nicaragua existe diferencia entre ambos métodos al igual que en el índice de acidez, por tanto, las muestras de la extracción con hexano tienen un contenido mayor de ácidos grasos libres, menor índice de saponificación.

El rendimiento de obtención de aceite, por prensado mecánico, dependerá de la presión aplicada y factores como el grado de humedad y la composición química de las semillas. Vale la pena señalar que, en la extracción por prensado, existe un pequeño error en la determinación de la masa del aceite extraído, debido a la retención de una parte de aceite sobre las paredes y el émbolo de la prensa [22].

De acuerdo a estos resultados, puede evaluarse a la moringa cultivada en Cuba como una de las fuentes más prometedoras de aceite con características químico físicas adecuadas para la producción de biodiesel para su uso en motores de combustión interna.

La Tabla 6 se refiere al contenido de aceite, la mayor diferencia está en la zona de Aracaju, SE, Brasil y sólo en Periyakulam el porcentaje de ácido oleico sale del rango de 65-78% en el cual están incluidas las variedades cubanas.

**Tabla 6. Contenido de aceite y de ácido oleico de diferentes procedencias**

| País | Variedad, Región | Aceite % | Ácido oleico % |
|---|---|---|---|
| Brasil | Silvestre, Patos | 40,00 | 66,26 |
| | Silvestre, Aracaju | 33,00 | 78,00 |
| | Silvestre, Sao Pablo | 39,00 | 78,00 |
| Ma | Silvestre | 35,3 | 67,79 |
| Gu | Silvestre, Chiquimula | 35,0 | 68,90 |
| Pakistán | Silvestre, NWFP | 34,8 | >70% |
| | Silvestre, Sindh | 40,39 | 73,22 |
| | Silvestre, Punjab | 38,37 | 75,10 |
| In | Periyakulam | 38,3 | 41,4 |
| Cuba | Nicaragua | 42,02 | 65,14 |
| | Criolla | 37-42 | 75,84 |
| K | Mbololo | 35,7 | 71,60 |
| C | Silvestre, Atlántico | 30.6 | 74.71 |

**País** (Ma: Malawi; Gu: Guatemala; In: India; K: Kenya; C: Colombia

Los resultados de la Tabla 6 muestran comportamiento similar a los reportados en la literatura al obtener la señal correspondiente al ácido oleico con valor comparable con el aceite de oliva y aceites obtenidos de semillas de otras diferentes variedades de moringa. Esta información resulta necesaria ya que es importante poseer datos de diversos perfiles de ácidos grasos, obtenidos de diferentes variedades y lugares pues esto puede influir en la utilidad de su aplicación.

Se ha estudiado la influencia de la composición de los ácidos grasos en las propiedades del biodiesel, pudiendo determinar que el obtenido a partir de aceite de otras plantas presentan mejores características debido a que contienen altos contenidos de ácidos grasos monoinsaturados. Además, sus propiedades han sido estudiadas tanto experimental como teóricamente. [2, 21]. Por regla general las condiciones del biodiesel dependen de la calidad y características de los aceites vegetales empleados.

El biodiesel genera menos emisiones contaminantes que el gasoil tradicional derivado del petróleo y menores riesgos para la salud humana y al medio ambiente [21]. No es contaminante, tiene efectos positivos en los motores diesel, produciendo una combustión más regular, una mayor limpieza general y lubricación de todo el sistema. Por lo que, el biodiesel derivado de la Moringa *oleífera* pudiera ser un sustituto aceptable para petrodiesel, en comparación con los combustibles biodiesel derivados de otros aceites vegetales de diferentes variedades y localización como se mostró en el estudio de las variedades cubanas.

**Cromatografía gaseosa del aceite de semillas de Moringa ecotipos Nicaragua y Criolla**

Con la finalidad de conocer la composición de los ácidos grasos del aceite de semillas de Moringa *oleífera* ecotipos en este estudio, se utiliza cromatografía gaseosa acoplado a espectrometría de masa.

**Tabla 7. Composición de los ácidos grasos**

| Ácidos Grasos | Nicaragua | Criolla |
|---|---|---|
| C 14:0 (mirístico) | 0,080 | - |
| C 16:0 (palmítico) | 5,310 | 6,114 |
| C16:1 (palmitoleico) | 1,140 | 1,559 |
| C18:0 (esteárico) | 4,680 | 3,867 |
| C18:1 (oleico) | **65,140** | **75,839** |
| C18:2 (linoleico) | 4,730 | 0,672 |
| C18:3 (linolénico) | 0,490 | 0,157 |
| C20:0 (araquídico) | 3,090 | 2,443 |
| C20:1 (gondoico) | 2,190 | 2,302 |
| C22:0 (behénico) | 6,060 | 5,286 |
| C24:0 (lignocérico) | 0,910 | 0,983 |

Los ácidos grasos (AG) saturados mayoritarios fueron el ácido palmítico, esteárico behénico y araquídico, y en menores proporciones el mirístico y lignocérico. Los AG insaturados mayoritarios detectados fueron el oleico, el gondoico y el palmitoleico; en menores proporciones el linoleico y linolénico. A partir de la presencia del ácido behénico, se le otorga también al aceite de Moringa *oleífera* el nombre (‘’aceite de Behen¨.Existe un predominio de ácidos insaturados (fundamentalmente monoinsaturados) en el aceite.

Se puede concluir que para el aceite de Moringa *oleífera* de las variedades Nicaragua y Criolla existe una correspondencia total en cuanto al ácido graso que predomina. En ambos casos es el ácido oleico. Sin embargo para la variedad Nicaragua su valor es 65,14% y para la variedad Criolla es de 75,84%. Estas diferencias pueden estar atribuidas a las diferentes variedades, edades de las semillas, procedencia u otros factores.

El perfil de ácidos grasos del aceite de Moringa *oleífera* es diferente al de otros aceites vegetales comúnmente empleados como materia prima en la producción de biodiesel. Es de notar que los aceites con un alto contenido de ácido oleico permiten obtener biodiesel con un balance razonable de las propiedades combustibles, aun cuando otros ácidos grasos pueden ser más ventajosos respecto a propiedades combustibles específicas. Por esta razón este aceite surge como un candidato para ser empleado en la producción de biodiesel. Se reporta que el rendimiento en la conversión a biodiesel se encuentra entre 84-94% [23, 24].

La propiedad más destacable del biodiesel que se obtiene a partir del aceite de Moringa *oleífera* es el número de cetano (NC). De acuerdo con la composición de ácidos grasos que tiene el aceite se reporta para el biocombustible valores entre 63 y 67 [21,23]. El valor reportado para el combustible diesel se encuentra alrededor de 45-51 [21]. Los valores reportados para el número de cetano del biodiesel son

altamente dependientes de la procedencia del aceite y consecuentemente varían en un extenso intervalo de 34 a 69 [21, 25, 26]. Debido a la fuerte influencia de esta propiedad en la calidad de la ignición y el comportamiento del motor, el valor estándar aceptado para el número de cetano es 47 (mínimo) (21). Por lo tanto el biodiesel de Moringa *oleífera* puede ser adecuado para la combustión en un motor diesel.

La estabilidad a la oxidación y el índice de acidez del biodiesel de Moringa *oleífera* es mejor en comparación con el biodiesel obtenido de otras fuentes. Por tal motivo el aceite y el biodiesel se puede almacenar por intervalos de tiempo razonables sin que ocurran cambios en la composición química de ambos antes de ser utilizados en el motor diesel .

La densidad del biodiesel de Moringa *oleífera* es similar al de los reportes hechos y establecidos para combustible diesel, lo cual significa que no ocurrirán cambios importantes en las cantidades de combustible por unidad de volumen dentro de la cámara de combustión. Esto se corresponde con lo planteado por da Silva, 2010 [27]. La densidad es crucial en lo que respecta a la atomización del combustible.

El valor medio del índice para las muestras de aceite de Moringa *oleífera* (variedad Criolla) es bajo, lo cual indica escasa presencia de ácidos grasos libres en dicho aceite. Resultados similares se obtienen para aceite de Moringa *oleífera* de la variedad Periyakulam *(*India), Mbololo (Kenya) y Wild de (Malawi)[16]. El índice de acidez para la variedad Nicaragua no se determina ya que se cuenta con la caracterización físico-química del mismo [21].

El porcentaje de acidez se expresa en función del ácido oleico debido a que este es el ácido graso que predomina en el aceite de Moringa *oleífera*. El valor promedio que se obtiene para la variedad Criolla se encuentra por debajo del 3%. También para la variedad Nicaragua se cumple que el porcentaje de acidez es inferior al 3%, recordando que es un valor estimado a partir del reporte del índice de acidez. Este es un resultado importante que permite asegurar que el aceite puede ser transesterificado sin un previo tratamiento de esterificación cuando el grado de acidez está por debajo del valor porcentual antes mencionado [21].

Cuando el porcentaje de acidez es superior al 3% se debe hacer un pretratamiento previo para eliminar los ácidos grasos libres, evitando así que el rendimiento de la reacción de transesterificación disminuya por la formación de jabón. Existen estudios donde se obtiene biodiesel a partir de aceite de semillas de Moringa *oleífera* realizados por [3, 23, 24, 28] con índices de acidez de 2,9 mg KOH/g de aceite, 1,194 mg KOH/g de aceite y 5 % de índice de acidez, requiriendo pretratamiento para disminuir el índice de acidez.

**Parámetros de calidad del aceite vegetal para la producción de biodiesel**

El aceite que se utiliza en la reacción de obtención del biodiesel debe ser con la mínima cantidad de impurezas, agua y gomas, es decir aceite refinado. Para obtener biodiesel de buena calidad se necesita de un aceite crudo con los parámetros mínimos de calidad tales como humedad, densidad, viscosidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de iodo, material insaponificable.

Si el aceite no cumple con estas especificaciones [29] puede en principio procesarse para obtener biodiesel pero el rendimiento en la producción del portador energético será menor. Un índice de acidez alto indica una elevada cantidad de ácidos grasos libres que de ser transesterificado directamente se afectaría el rendimiento del proceso debido a la reacción con el catalizador y la formación de jabones que promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel. Un índice de yodo alto indica una gran cantidad de insaturaciones, esto puede ser bueno en el sentido de que el punto de fusión del aceite (y del biodiesel producido) es más bajo, de otro lado, un índice de yodo alto resulta para el biodiesel producido en un menor índice de cetano, propiedad importante en la combustión en el motor. Además, las insaturaciones son los puntos en los que se oxida el aceite (y el biodiesel) dando lugar a peróxidos y a partir de estos a polímeros entre las distintas cadenas de ácidos grasos deteriorando el motor y al aceite lubricante. La humedad en el aceite debe ser removida pues esta favorece la hidrólisis de los triglicéridos dando lugar a las afectaciones correspondientes [29]. Barbosa [30] plantea que los análisis

mostraron que la semilla de *Moringa oleífera* es demasiado sensible a la humedad con un porcentaje alto 2,5%.

El índice de saponificación debe ser alto de modo que se tenga en lo posible un peso molecular de aceite bajo para mejorar el punto de fusión del mismo. El material insaponificable consiste principalmente en aceites minerales, pigmentos, esteroles, tocoferoles y fosfolípidos. Los fosfolípidos en especial son emulsificantes que deben ser retirados, además al entrar en contacto con agua se hidratan y forman gomas que son perjudiciales en el proceso de producción porque taponan las tuberías y en caso de llegar al biodiesel pueden obstruir el sistema de combustión de los vehículos [26].

La estabilidad a la oxidación y el índice de acidez del aceite de *Moringa oleífera* es mejor en comparación con el de otras fuentes [28, 22] Por tal motivo el aceite se puede almacenar por intervalos de tiempo razonables sin que ocurran cambios en la composición química.

El número de cetano (NC) es uno de los indicadores más comúnmente citado de la calidad del diesel. Mide la disposición del combustible a auto incendiarse cuando se inyecta en el motor. El NC del biodiesel de Moringa *oleífera* tiene un valor elevado porque se obtiene a partir de un aceite donde predomina un ácido graso insaturado. Se conoce que mientras menor sea el grado de insaturación de un aceite mayor será el NC del biocombustible, según los reportes para el biodiesel de moringa se encuentra en el intervalo de 62-67. Para un aceite transesterificado como el biodiesel, la viscosidad tiene un orden de magnitud más bajo que la del aceite del que fue hecho. La alta viscosidad del aceite explica por qué han sido abandonados como alternativa de diesel [21].

Los aceites con un alto contenido de ácido oleico como es el caso de la *Moringa oleífera* permiten obtener biodiesel con un balance razonable de las propiedades combustibles, por esta razón surge como un candidato para ser empleado en la producción de biodiesel. Se reporta que el rendimiento en la conversión a biodiesel se encuentra entre 84-94% .

## CONCLUSIONES

1. El aceite obtenido de las semillas de Moringa *oleífera*, ecotipos Nicaragua y Criolla naturalizadas en Cuba cumple con los parámetros de calidad establecidos para ser utilizados en la obtención de biodiesel con fines energéticos.

2. Los mejores rendimientos en la extracción del aceite se alcanzan por vía química empleando hexano como disolvente en una relación 1:6 y a 6 horas.

3. El aceite extraído de las semillas de Moringa oleifera ecotipos Nicaragua y Criolla presentan características similares entre unas y otras especies demostrándose que el ácido oleico es el mayoritario y es similar a otros aceites de su tipo reportados en la literatura consultada.

4. El biodiesel derivado del aceite de la Moringa *oleífera* pudiera ser un sustituto aceptable para petrodiésel, en comparación con los combustibles biodiesel derivados de otros aceites vegetales de diferentes variedades y localización

## REFERENCIAS

1. FERRER, C., LLERENA, F., MAZORRA, M., Moringa. Árbol de múltiples usos., Edición Fundación Bolívar-Martí, Venezuela, 2014, pp. 1-176.
2. GÓMEZ, M.D., PITA, B.V., ZUMALACÁRREGUI, B., Caracterización de aceites de las semillas de Moringa oleífera a partir de la extracción por diferentes métodos., *Revista Colombiana Biotecnología*, 2016, Vol. 18, No. 2, pp. 106-111.
3. RASHID, U., ANWAR, F., MOSER, Bryan, R., KNOTHE, G., Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel, *Bioresource Technology*, 2008, Vol. 99, No. 17, pp. 8175-8179.

4. GARCÍA TORRES, A. G., MARTÍNEZ CUBIAS, R. K. M., & RODRÍGUEZ DÍAZ, I. A. (2013). Evaluación de los usos potenciales del Teberinto *(*Moringa *oleífera)* como generador de materia prima para la industria química (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
5. LOZANO, L.F., Composición del aceite de las semillas de Moringa oleífera y evaluación de sostenibilidad para su implementación como cultivo agroforestal en Colombia., Trabajo para obtener el título de Máster en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo Agroforestal, Facultad Ing. Forestal.
6. RONDÓN, M., Díaz Y., TABÍO D., Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos., *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*,2017, Vol. 38, pp. 87-101.
7. MOFIJUR H., MASJUKI M., A,KALAM A.E., ATABANI A., Effect of biodiesel- blending on physico-chemical properties of biodiesel from Moringa oleifera., Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué – Colombia,. *Procedia Engineering*, 2018, Vol. 105, 2015, pp. 665-669.
8. KAFUKU, G., MBARAWA, M., Alkaline catalyzed biodiesel production from Moringa oleifera oil with optimized production parameters., Applied Energy, 2010, Vol. 87, No. XX, pp. 2561-2565.
9. DÍAZ Y., Rodríguez S., FERRER C., MAZORRA M., ZUMALACÁRREGUI B., Biocombustibles para su uso en motores diesel, capítulo 7, Editorial IDICT, Cuba, 2014, pp 124-141.
10. CASTELLAR ORTEGA Grey C., E.R.A.M., Beatriz M. CARDOZO Arrieta Transesterificación de aceitesvegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospec*t, 2014. **Vol. 12, No. 2**: p. 90-104.
11. PONS GELSA Alba, Aceites vegetales, hacia una producción sostenible*,. El Hombre y la Máquina* 2015. **No. 46**
12. ÁGUILA, D., Estudio preliminar de la extracción y caracterización del aceite de semillas de Moringa oleífera, ecotipo Supergenius. Tesis presentada en opción al título de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Cuba, 2013.
13. FERRER SERRANO C., ZUMALACÁRREGUI de CÁRDENAS B., MAZORRA MESTRE, M., Caracterización físico-química del aceite de semillas de moringa oleífera, *Centro Azúcar, 2020,* vol 47, no. 4, (pp. 11-1).
14. ABDULKAREEM, A., UTHMAN, H., AFOLABI, A.S., & AWENEBE, O.L., Extraction and of Oil from Moringa oleífera Seed as an Alternative feedstock for the Production of Biodiesel en Sustainable Growth and Application in Renewable Energy., Editorial IntechOpen, Croacia, 2011, pp. 244-268.
15. NC 631, 2008., Minerales-Análisis granulométrico por tamizado-Requisitos generales., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2008, pp. 1-12.
16. ANWAR, F.y.U.R., Physico-chemical characteristics of Moringa Oleifera seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan*". Pak. J. Bot., Pakistán*, , 2007. **39(5)**: p. 1443-1453.
17. SANTANA MARISTELA de Fátima et al., Rendimento e caracterização de óleo da Moringa no Brasil. 16 Convención de Ing. y Arquitectura, CUJAE, 2012, La Habana.
18. MARRERO DELANGE David, e.c., , Composición de ácidos grasos del aceite de las semillas de Moringa oleífera que crece en La Habana, *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 2014, 19 (2) p. 197-204.
19. ANWAR., F., Analytical Characterization of Moringa oleífera Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. *Agricultural and Food Chemistry*, 2003. **6**.
20. FAROOQ ANWAR*, SYEDA NAHID ZAFAR AND UMER RASHID., Characterization of *eites*, Moringa oleifera seed oil from drought and irrigated regions Punjab, Pakistan, *Grasas y aceites,* 2006. Vol 9, no.57, 160-168..
21.. PEDROSO, H., Biodiesel obtenido a partir del aceite de Moringa oleífera., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Cuba, 2016.
22. RAMOS SANTANA Claudia, F.P.D., AMARAL DE ARAÚJO Nicolis, Caracterização físico-química da moringa (Moringa oleífera Lam). Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, . . *Campina Grande*, 2010. **v.12, n.1,** : p. 55-60.
23. KAFUKU, G., MBARAWA, M. Alkaline catalyzed biodiesel production from moringa oleifera oil with optimized production parameters. *Applied Energy*. 2010, 2561-5.
24. RASHID, U., ANWAR, F., ASHRAF, M., SALEEM, M. AND YUSUP, S. Application of response surface methodology for optimizing transesterification of Moringa oleifera oil: biodiesel production *Energy Conversion and Management* 2011, 3034-42.
25. SÁNCHEZ-BORROTO, Y., PILOTO, R., GOYOS, L. AND FERRER, N. Predicción del número de cetano de biocombustibles a partir de su composición de ácidos grasos. *Ingeniería Mecánica,*, 2012:147-57

26. SÁNCHEZ, Y., PILOTO, R., ERRASTI, M., SIERENS, R. AND VERHELST, S. Prediction of cetane number and ignition delay of biodiesel using Artificial Neural Networks. *Energy Procedia* 2014:877-85.
27. DA SILVA, J, P, V. Moringa oleifera oil: Studies of characterization and biodiesel production. *Biomass and Bioenergy* 2010:1527-30.
28. KIVEVELE, T., MBARAW, M.M, BERECZKY, Á., ZÖLDY, M., Evaluation of the oxidation stability of biodiesel produced from Moringa oleifera oil.,Energy and Fuels, 2011, Vol. 25, No. 11, pp., 5416-5421.
29. LEIVA BAUTISTA, C., -- San Salvador, El Salv. : Editores, 2011., *Subproductos generados en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de tempate* UFG 2011. **1ª ed, el Salvador**.
30. BARBOSA AÍDA LILIANA , M.T., DE LA ROSA ORLANDO, GUZMÁN ROJAS LÁCIDES, Aceite de moringa oleífera y su potencialidad como materia prima en biocombustibles, Universidad de Cartagena: Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales., in *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Campus Zaragocilla Cartagena-Colombia.* 2010, LICATUC.

**Sobre los autores**

MSc. Cándida Ferrer Serrano, profesora auxiliar, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Universidad Tecnológica de la Habana, https://orcid.org/0000-0003-1616-7932

MSc. Martha Mazorra Mestre, profesora asistente, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Universidad Tecnológica de la Habana, , Universidad Tecnológica de la Habana, https://orcid.org/0000-0002-9003-0988

Dra C. Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas, profesora titular, Facultad de Ing. Química, Universidad Tecnológica de la Habana, https://orcid.org/0000-0001-7935-903X

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO

**Nuria de los Ángeles Vaillant López[1], Gabriela Carreras Fernández[1], Guillermo Ribeaux Kindelán[2]**

[1]Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana. Calle 114 #11901 e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [2]Centro de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
[1]e-mail: nuryvaillant@gmail.com

**RESUMEN**

De forma general, no existen dudas de la efectividad del tratamiento magnético (TM) al agua, aunque sí coexisten discrepancias en la explicación teórica del efecto que ejerce sobre las propiedades de los sistemas acuosos. Con el objetivo de estudiar el efecto del TM en el incremento de la eficiencia energética, se estudian el punto de ebullición (PE) y la capacidad de conservación de calor (CC) de muestras sometidas a un campo magnético (CM) generado por imanes permanentes, para tres valores de intensidad (325mT, 268mT y 217mT), tres tiempos de exposición (1,37s; 2,74s y 4,11 s), y en los periodos de 0h, 48h y 72h, para investigar el fenómeno de la memoria magnética (MM).
Para estas condiciones experimentales, se observa que para las muestras con TM se alcanza la ebullición entre los 98°C - 99°C, y una mayor conservación de la temperatura durante los primeros 30 min. (para 217 mT se conservó la temperatura 1°C más que en la muestra control, mientras que para 268mT y 325 mT se conservó 2°C más que en la muestra control), existiendo relación directa entre la intensidad del CM y la CC. A partir de los 30 min se estabilizó el comportamiento de la temperatura en todas las muestras, alcanzando 23 °C a los 90 min. A las 48 h y 72 h, se mantienen los cambios provocados por el efecto del CM, sin variaciones notables, demostrando la presencia de MM.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# ANAEROBIC CO-DIGESTION OF COW MANURE AND BANANA WASTE AS A CONTRIBUTION TO LOCAL ENERGY SUSTAINABILITY

**Carlos Antonio Méndez Saavedra[1], Deny Oliva-Merencio[2], Ania Cabrera-Díaz[2], Julio César Dustet-Mendoza[2], José Manuel Pais-Chanfrau[3], and Ileana Pereda-Reyes[2]**

[1]Faculty of Agricultural Sciences, University of Panama. C. José de Fábrega, Panama City. Panama.
[2]Mechanical Engineering Faculty and Chemical Engineering Faculty, Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Echeverría" (CUJAE), Calle 114 No. 11901. Marianao. La Habana. Cuba
[3]Universidad Técnica del Norte (UTN). FICAYA. Ave. 17 de julio 5-21 y Gral. José Ma. Córdova, Ibarra 100115, Ecuador
[2]e-mail: ileana@mecanica.cujae.edu.cu

## ABSTRACT

Agricultural activities are an essential source of waste generation with a notable polluting effect on groundwater and surface water. In this sense, the need to mix excreta and other agricultural waste is established to increase the contribution to the circularity of processes at the local level. Farmers dealing with bovine cattle, hardly produce other food than the needed ones for animal feed. In this sense, one representative and very common crop in farms is the banana, being generated on harvesting, the so-called pseudo-stems. That is why this research aims to evaluate the methane potential of cow manure (CM) containing its lignocellulosic fraction with both refrigerated and fresh banana pseudo-stem (BPS), as a promoter of circular economy in farming activities at the local level. The experimental procedure was carried out according to a Simplex-Lattice mixture design. As a result, it was demonstrated that keeping BPS under refrigeration caused biological retarding and antagonist effect due to the oxidation process. Nevertheless, the methanogenic capacity (CME) was higher for the BPS monodigestion also due to the presence of sugars in its composition. On the contrary, the approach to the codigestion with fresh BPS expressed synergy instead. The process yielded 434.0 $mL_{CH4}/g_{VS}$ for the combination of CM and fresh BPS when substrates were mixed on the ratio 0.5:0.5 w/w CM:BPS. Co-digestion of the assessed substrates doubled both, methane yield and CME demonstrated to be an important source of bioenergy for local development.

# PROGRAMA GENERAL

# III Simposio Internacional de Generación Distribuida

# (ELECTROMOVILIDAD 2024)

**PROGRAMA GENERAL**
**Simposio Internacional sobre Electromovilidad y Transición Energética**
**Del 25 al 29 de noviembre de 2024**

| | Día | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Horario** | **25.11** | **26.11** | **27.11** | **28.11** | **29.11** |
| **09:00-13:00** | Acreditación | | | | |
| **09:00-10:00** | | Inauguración Simposio, Sala X. Conferencia inaugural. La Electromovilidad y la Transición Energética en Cuba | Mesa redonda sobre ELECTROMOVILIDAD, Sala 11 | Mesa redonda sobre TRANSICIÓN ENERGÉTICA, Sala 11 | Actividad Central, Sala 10, 10:00 horas |
| **10:00-13:00** | Acto inaugural XXI CCIA Sala 1 11:00 horas | Presentación de ponencias sobre TRANSICIÓN ENERGÉTICA, Sala 11 | Presentación de ponencias sobre ELECTROMOVILIDAD y TRNSICIÓN ENERGÉTICA, Sala 11 | Presentación de ponencias sobre TRANSICIÓN ENERGÉTICA, Sala 11 | |
| **13:00-15:00** | Brindis bienvenida XXI CCIA Rest. El Bucán 13:00 horas | Almuerzos. Restaurante El Bucán y Cafetería Flamboyán | | | Almuerzo de despedida XXI CCIA. Rest. El Bucán 13:00- 17:00 horas |
| **14:00-17:00** | | Actividad Central, Salas 9 y 10, 14:00 horas | Ceremonia Condecoraciones. Salón de Protocolo Hotel PALCO, 14:00 horas | Actividad Central, Salas 9 y 10, 14:00 horas | |

# Programa Técnico

## Simposio Internacional sobre Electromovilidad y Transición Energética
## Del 25 al 29 de noviembre de 2024

**Día:** 26.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Miguel Castro Fernández **Sala:** 11

| Horario | Código | Actividad | Ponente |
|---|---|---|---|
| 09:00-10:00 | | Inauguración ELECTROMOVILIDAD 2024. Palabras inaugurales: Ing. Vicente de la O, Ministro de Energía y Minas | |
| | C-1 | Conferencia inaugural: La Electromovilidad y la Transición Energética en Cuba. | Dr. C. Miguel Castro Fernández |
| 10:00-10:30 | MR-1 | Mesa Redonda sobre Electromovilidad | Curt Rendall; Lázaro Laurenti; Jimmy Mateu |
| 10:30-10:45 | ELEC-09 | Motor de inducción para triciclos para triciclos: bases para el dimensionamiento. | Reinaldo Laborde Brown |
| 10:45-11:00 | ELEC-07 | Modelación de chasis tubular y pruebas de recorrido de vehículo eléctrico urbano | Gerardo Yero Morejón |
| 11:00-11:15 | ELEC-04 | Línea de fabricación y ensamble de los microbuses eléctricos VES 002. | Frank Plasencia Martínez |
| 11:15-11:30 | ELEC-02 | Desarrollo y fabricación de vehículos eléctricos multipropósitos en la empresa Francisco Aguiar Rodríguez. | Ramsés Bernal Rodríguez |
| 11:30-11:45 | ELEC-11 | Electromovilidad en el turismo sostenible en la provincia de Manabí. | Maria Rosalba Cedeño Pico |
| 11:45-12:00 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas. | |
| **Presidente Sesión:** Dra. C. Miriam Vilaragut Llanes | | | |
| 12:00-12.15 | ELEC-06 | Modelado de una moto eléctrica y su batería. | Antonio Villasol López |
| 12.15-12:30 | ELEC-10 | El convertidor flyback como cargador de motos y triciclos: un caso de estudio. | Raynel Díaz Santos |
| 12:30-12:45 | ELEC-01 | Medición de parámetros energéticos durante el proceso de carga de vehículos eléctricos. | Pablo Tomás Herrera Basabe |
| 12:45-13:00 | ELEC-03 | Carga de baterías inalámbrica. Método magneto-dinámico resonante. | Pedro Osvaldo Díaz Fustier |
| 13:00-13:15 | ELEC-05 | Diseño de estación de carga solar para vehículo eléctrico urbano | Gerardo Yero Morejón |
| 13:15-13:30 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |

**Día:** 27.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Antonio Martínez García **Sala:** 11

| Horario | Código | Actividad | Ponente |
|---|---|---|---|
| 09:00-09:15 | TE-18 | Comparación preliminar entre fuentes de Información de descargas eléctricas I: estaciones meteorológicas y sensores terrestres | Lourdes Álvarez Escudero |
| 09:15-09:30 | TE-23 | Propuesta de sistema portable de monitoreo y diagnóstico industrial. | Fidel Ernesto Hernández Montero |
| 09:30-09:45 | TE-20 | Relación entre la DESD/DSND y su incidencia en el aislamiento de las redes eléctricas de la provincia de Manabí-Ecuador. | Washington Colon Castillo Jurado |
| 09:45-10:00 | TE-07 | Características de Funcionamiento de un motor multiflujo con devanados homólogos. | Elías Valentín de la Rosa Masdueño |
| 10:00-10:15 | TE-11 | Introducción a las finanzas verdes como oportunidad de negocios para instituciones bancarias cubanas | Judith Thomas Pérez |
| 10:15-10:30 | TE-09 | Actualización de las marchas anual, diaria y distribución especial de las tormentas eléctricas en Cuba | Lourdes Álvarez Escudero |
| 10:30-10:45 | ELEC-08 | Detection of traffic accidents through images taken from a database using neural networks. | Jesús Gerardo Ávila Sánchez |
| 10:45-11:00 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |
| **Presidente Sesión:** Dr. C. Orestes Hernández Areu | | | |
| 11:00-11:15 | TE-22 | Maximum solar penetration level calculation in distribution networks for different voltage control operation strategies | Ariel Santos Fuentefria |
| 11:15-11:30 | TE-02 | The energy conversion process in the synchronous generator: proposed approaches and experiments | Pedro Osvaldo Díaz Fustier |
| 11:30-11:45 | TE-14 | A new robust simultaneous tuning method of PSSs improving rotor angle stability | Antonio Martínez García |
| 11:45-12:00 | TE-21 | Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation in Distribution Networks using Beta Hill-Climbing Algorithm | Jorday Arostegui Morell |
| 12.00-12:15 | TE-08 | Estimación de la temperatura de trabajo en transformadores de distribución utilizando el método de los elementos finitos | José Eduardo Montejo Sivilla |
| 12.15-12:30 | TE-04 | Ferrorresonancia en sistemas con generación distribuida. Estado del Arte | Dailen García del Sol |
| 12.30-12:45 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |

**Día:** 28.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Miguel Castro Fernández **Sala:** 11

| Horario | Código | Actividad | Ponente |
|---|---|---|---|
| 09:00-10:00 | MR-2 | Mesa Redonda sobre Transición Energética | Ramses Montes Calzadilla; Alfredo Roque Rodríguez; Luis Berriz Pérez |
| 10:00-10:15 | TE-01 | Power transformer health index calculation web page | Jorge Juan Montané García |
| 10:15-10:30 | TE-06 | An approach to the model for the management of the international cooperation in the development of renewable energy sources | Mirel Álvarez Espinosa |
| 10:30-10:45 | TE-15 | Desing or a strategy for the technological management of wind farms in UNE wind farms. | Pavel Luis Angulo Peña |
| 10:45-11:00 | TE-17 | Frequency behavior analysis in Cuban Electric System under conditions of high photovoltaic penetration. | Lázaro Guerra Hernández |
| 11:00-11:15 | TE-16 | Estudio para la evaluación de la Estabilidad de la Frecuencia en el Sistema Eléctrico Cubano con elevada penetración de Fuentes Renovables de Energía Solar Fotovoltaica y la Introducción de Sistemas de Acumulación de Energía por Baterías | Lisner Cruz Sánchez |
| 11:15-11:30 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |
| **Presidente Sesión:** Dra. C. Miriam Vilaragut Llanes | | | |
| 11:30-11:45 | TE-13 | Metodología para la detección de puntos calientes en los sistemas fotovoltaicos | Ítalo Humberto Navarrete García |
| 11:45-12:00 | TE-12 | La energía fotovoltaica como pilar para el cambio de la matriz energética en la provincia de Manabí | Maria Rodríguez Gámez |
| 12:00-12:15 | TE-10 | Control system to improve the efficiency of a wind turbine interconnected to the grid | Juan Carlos Guerrero Lujan |
| 12:15-12:30 | TE-19 | Implementación de sistema solar fotovoltaico: evaluación de sostenibilidad y eficiencia energética | José Antonio Romero Paguay |
| 12:30-12:45 | TE-24 | Evaluación del uso del suelo y productividad en sistemas agrivoltaicos: caso de estudio | Carlos Fernando Luna |
| 12:45-13:00 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |
| 13.00-13:30 | | Clausura de ELECTROMOVILIDAD 2024 | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MOTOR DE INDUCCIÓN PARA TRICICLO: BASES PARA EL DIMENSIONAMIENTO.

**Reynaldo Laborde Brown [1], Rolando Rivero Cuesta[2], Diego Martin Rodríguez Pérez[3]**

[1]Universidad de Holguín, Cuba, [2]Universidad de Holguín, [3]Universidad de Holguín, Cuba,
[1]e-mail: rlaborde@uho.edu.cu
[2]e-mail: riveror@uho.edu.cu
[3]e-mail: diegor@uho.edu.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se muestra la factibilidad de diseñar un motor trifásico de inducción que pueda ser controlado mediante variación de frecuencia de la tensión de alimentación y utilizado para la tracción en el transporte automotor, particularmente en un triciclo, como alternativa al uso de los motores sincrónicos de imanes permanentes de amplio uso en la actualidad a pesar de su costo y complejidad. Se muestran elementos básicos para el diseño de los circuitos magnéticos y eléctricos del estator y del rotor, incluyendo los diámetros de los núcleos, las longitudes de los apilamientos, el número de ranuras, las secciones de los conductores y otros elementos, se realizan cálculos de los flujos, de la inducción magnética, de las densidades de corrientes y de otras magnitudes de ambos tipos de circuitos, para ello se emplea una combinación de varias metodologías que se fundamentan en el uso de numerosas expresiones empíricas, tablas y gráficas. Una vez realizado el dimensionamiento del motor fueron calculados los parámetros del circuito equivalente a fin de comprobar cuan cerca estaba el comportamiento del motor diseñado con respecto a los requerimientos iniciales planteados. Los resultados obtenidos mostraron que es factible diseñar y producir en el país un motor de inducción de 1,2 kW a 60 V con prestaciones similares a su semejante en la variante de imanes permanentes, para la tracción en un triciclo con capacidad para transportar 6 personas.

**PALABRAS CLAVES:** Núcleo del estator, núcleo del rotor, densidad de corriente, inducción, pérdidas.

**INDUCTION MOTOR FOR TRICYCLE: SIZING BASIS.**

**ABSTRACT**

In the present work is shown the feasibility to design a three phase induction motor that can be control by means of frequency regulation in order to be used for pulling a transport mean, particularly a tricycle, as an alternative to the use of synchronous permanent magnet motors widely spread at present in spite of their cost and complexity. Basic elements are shown for the design of the electric and magnetic circuits of stator and rotor, including cores diameters, lengths of stacks, the number of slots, conductors sections an others elements. Calculation of flux, induction, current densities, and of other magnitudes for both circuits is done, for this, a combination of several methodologies has been employed. A lot of empirical formulae, tables and graphics are the fundamentals for such methodologies. Once concluded the motor dimensioning the equivalent circuit parameters were calculated to verify how close was the designed motor performance with respect to the starting conditions stated. Obtained results showed that is feasible to design an manufacture in our country a prototype rated 1,2 kW, 60 V performing similar characteristic of the permanent magnet motor for tricycle pulling with 6 persons capacity of transportation.

**KEY WORDS:** Stator core, rotor core, current density, induction, losses.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante las serias dificultades que presenta nuestro país en el tema del transporte, debido al envejecimiento del parque automotor y a las barreras existentes para la adquisición de piezas de repuestos y combustibles la movilidad eléctrica constituye una alternativa prometedora en la solución de este problema y en la transición hacia el uso de las fuentes renovables de energía . En este sentido, como parte de la política del

gobierno cubano, ya se están importando una cantidad apreciable de vehículos eléctricos de diferentes tipos incluyendo los triciclos para el transporte de pasajeros. En estos últimos están siendo utilizados fundamentalmente motores sincrónicos de imanes permanentes, siendo este uno de los componentes más costosos del triciclo. El empleo paulatino de un motor de inducción, de producción nacional, con prestaciones un tanto semejantes a las que tienen los motores sincrónicos de imanes permanentes representa una oportunidad para la disminución de gastos en importaciones y para la reanimación y el desarrollo de encadenamientos productivos entre un grupo importante de empresas.

Los fundamentos del funcionamiento de un motor de inducción para uso general aparecen en un gran volumen de literatura técnica, por ejemplo, [1], [2], [3] y otros, sin embargo, el motor de inducción para ser utilizado en la tracción de vehículos requiere de especial atención en su diseño por cuanto su operación transcurre en un amplio rango de variación de momento y velocidad, lo que puede conducir a un sobrecalentamiento excesivo debido a la saturación del núcleo y al empobrecimiento de las condiciones de ventilación durante las bajas velocidades [4]. Estas situaciones incrementan las pérdidas y se reduce el rendimiento del motor y con ello la autonomía del vehículo. Para el diseño de los motores de inducción que operan a frecuencia variable se utilizan diferentes metodologías [5], [6], [7]. En este trabajo se expone y utiliza la combinación de varias de ellas para el diseño de un motor de inducción trifásicos de 1,2 kW a 60 V que debe ser utilizado para la tracción de un triciclo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Dimensionamiento del volumen y del diámetro interior del núcleo del estator.

De manera resumida, se exponen a continuación los pasos seguidos para el dimensionamiento de un motor trifásico de inducción de 1,2 kW, 60 V, 3492 r/min que debe ser utilizado en la tracción de un triplo con capacidad para 6 pasajeros. Se parte de considerar que el devanado del estator de un motor de inducción trifásico se encuentra alojado en las ranuras del núcleo con diámetro interior D , entonces las corrientes que circulan por este devanado con frecuencia ω pueden considerarse como una onda viajera de corriente [8] con densidad

$$J_e = J_{em}\cos\left(\omega t - \frac{p}{2}\theta\right) a_2 \qquad (2.1)$$

Las corrientes inducidas en el rotor producen una onda viajera de densidad de flujo desfasada respecto a $J_S$ que pasa a través de la superficie interior del núcleo del estator según (2.2),

$$B_r = B_{rm} sen\left(\omega t - \frac{p}{2}\theta - \alpha\right) a_r \qquad (2.2)$$

Las ondas de densidad de corriente del estator y de densidad de flujo del rotor interactúan, para producir una densidad de fuerza superficial $f_e$ según la expresión (2.3),

$$f_e = J_e x B_r \qquad (2.3)$$

Ya que las densidades de corriente y del estator, $J_e$ y de flujo del rotor, $B_r$ son perpendiculares entre sí, entonces la magnitud de densidad de fuerza resultante es

$$f_e = -J_e B_r = -J_{em}\cos\left(\omega t - \frac{p}{2}\theta\right) B_{rm} sen\left(\omega t - \frac{p}{2}\theta - \alpha\right) \qquad (2.4)$$

El signo negativo en (2.4) indica que el sentido de la densidad de fuerza es contrario al del vector unitario $a_\theta$. La fuerza resultante de la interacción del campo actúa a una distancia D/2 para desarrollar un momento dado por

$$M = \frac{D}{2}\int_{\theta=0}^{2\pi}\int_{t=0}^{t} f_e d\left(\frac{D}{2}\theta\right) dl = \frac{D^2 l_a}{4}\int_0^{2\pi} f_e\, d\theta \qquad (2.5)$$

Resolviendo (2.5) se obtiene,

$$M = \frac{\pi}{4} D^2 l_e J_{rm} B_{rm} sen\alpha \qquad (2.6)$$

donde:
M: momento, N.m
D: diámetro interno del estator, mm
$L_e$: longitud del apilamiento de las láminas del estator, mm
$I_{rm}$: corriente en las barras del rotor, A

Se observa en la expresión (2.6) que el momento que desarrolla un motor de inducción depende directamente del volumen del entrehierro ($\pi/4\ D^2\ l_e$), de la densidad de corriente en el devanado del estator y de la densidad de flujo en el entrehierro.

Para lograr un tamaño mínimo durante el dimensionamiento del núcleo los valores de las densidades de corriente y de flujo se limitan de acuerdo a la capacidad de enfriamiento de la máquina y por los límites de saturación que impone el material ferromagnético. El ángulo α está relacionado con el factor de potencia del rotor y tiende a caer dentro de un rango normalmente reducido. Tomando en consideración estos elementos se puede plantear a partir de la expresión (2.6) que,

$$\frac{D^2 l_e}{M} \equiv const = V_M \qquad (2.7)$$

En la práctica, la constante de volumen normalizado $V_M$ se encuentra en el rango de 1,0 a 1,2 x $10^{-5}$ $m^3$/N.m para motores con potencia nominal de 7,5 kW o más. Para el caso de los motores de menos potencia, el material aislante y las cuñas conllevan a un aumento de la sección transversal de la ranura, lo que conduce a un aumento $V_M$.

En el siguiente paso se determinó el diámetro exterior del núcleo del estator partiendo de escoger un tamaño de carcasa normalizado de acuerdo a la potencia nominal del motor y a la cantidad de polos, así

$$D_{ext} = D_c - 2\ t_c \qquad (2.8)$$

donde,
$D_{ext}$: diámetro exterior del núcleo del estator, mm
$D_c$ : diámetro de carcasa normalizada, mm
$t_c$ : espesor de la carcasa, mm

Para obtener una aproximación al diámetro interior del núcleo del estator se utilizó la expresión empírica (2.9), donde D y $D_{ext}$ están expresados en pulgadas.

$$D = \frac{D_{ext} - 0{,}647}{1{,}745 + \frac{1{,}03}{p}} \qquad (2.9)$$

donde,
$D_{ext}$: diámetro exterior del núcleo del estator, pulgada
p: número de polos del motor.

A partir de (2.9) fue posible estimar la longitud del paquete de chapas del núcleo del estator $l_e$

$$l_e = \frac{V_M}{D^2} \qquad (2.10)$$

En un próximo paso se determinó el número de ranuras del núcleo del estator, considerando que debe ser múltiplo de 3 y además debe responder a la cantidad de polos de la máquina. En la práctica se sugiere un paso de ranura comprendido entre 19 y 38 mm, por lo tanto el número de ranuras $Z_e$ del estator fue determinado utilizando como referencia (2.11)

$$19 \leq \frac{\pi D}{Z_e} \leq 38 \qquad (2.11)$$

Para el cálculo del número de conductores por ranura se partió de considerar que, la onda viajera de fmm del entrehierro conduce una onda de flujo de forma que, por cada paso polar existe el flujo $\Theta_p$ de la forma,

$$\varphi_p = \varphi_{pm} sen(\omega t) \qquad (2.12)$$

donde $\varphi_{pm}$ representa el valor máximo de flujo que es establecido por el conjunto de corrientes trifásicas que circula a través del devanado del estator y $\varphi_p$ acopla mutuamente los devanados del estator y del rotor. Utilizando (2.12) y la ley de Faraday se pudo determinar el valor instantáneo $e_1$ del fasor de fem $E_1$ mediante la expresión (2.13),

$$e_1 = \frac{p}{2}\frac{N_{1ef}}{a}\frac{d\theta_p}{dt} = \omega N_{\varphi ef}\varphi_m \cos(\omega t) \qquad (2.13)$$

donde,
a: número de ramas paralelas por fase del devanado
$N\phi_{ef}$ : Número de espiras efectivas en serie por fase

El valor eficaz del fasor de la fem $E_1$ está dado por,

$$E_1 = \frac{\omega N_{\varphi ef}\varphi_m}{\sqrt{2}} = 4{,}44 N_{\varphi ef} f \varphi_m \qquad (2.14)$$

Considerando como normal una caída de tensión de un 3 % en la impedancia del devanado del estator, entonces se consideró $E_1 \approx 0{,}97\ U_1$ y se planteó,

$$N_{\varphi ef} = \frac{0{,}97 U_1}{4{,}44 f \varphi_m} \qquad (2.15)$$

Utilizando las expresiones (2.7) y (2.15) el número de conductores por ranura pudo calcularse según (2.16)

$$C_e = \frac{0{,}97 a U_1}{4{,}44 k_d k_p p N_{s1} f \varphi_m} \qquad (2.16)$$

Para calcular el valor del flujo máximo en el entrehierro se utilizó la expresión empírica (2.17)

$$\varphi_m = \left(0{,}00145 + \frac{00300}{p}\right)\left[\frac{60}{f} P_N\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.17)$$

Donde $P_N$ es la potencia nominal del motor expresada en HP.

**Dimensionamiento de la ranura**

Para el dimensionamiento de la ranura del estator se consideró que el ancho de la ranura del estator $b_{z1}$ debe elegirse de forma tal que,

$$0{,}5\lambda_1 \leq b_{z1} \leq 0{,}6\lambda_1 \qquad (2.18)$$

donde,
$\lambda_1$: distancia que comprende el ancho de una ranura por su abertura más la corona del diente adyacente.
Por otro lado, la profundidad de la ranura $d_{z1}$ debe caer en el rango,

$$2b_{z1} \leq d_{z1} \leq 4b_{z1} \qquad (2.19)$$

Se tuvo en cuenta además, el espesor de los materiales aislantes que se colocan en la ranura, así como el espesor de la cuña.

Para el cálculo de la sección transversal del conductor se asumió una determinada densidad de corriente $\Delta_1$, considerando que para máquinas de enfriamiento por aire los valores típicos de $\Delta_1$ se encuentran en el rango,

$$500 \leq \Delta_1 \leq 800\, {}^{A}/_{cm^2} \qquad (2.20)$$

Se estimó la corriente a plena carga del motor asumiendo determinados valores del factor de potencia y del rendimiento, por ejemplo, cos φ = 0,85 y así

$$I_1 = \frac{P_N}{\sqrt[3]{U_1}0{,}85\eta_{\square}} \qquad (2.21)$$

La sección transversal del conductor se determinó mediante la expresión (2.22)

$$s_{a1} = \frac{I_1}{a\Delta_{1\square}} \qquad (2.22)$$

**Verificación de la densidad de flujo**

La densidad máxima de flujo $B_m$ en el diente del estator se calculó mediante la expresión (2.23)

$$B_{tm} = \frac{\pi p \varphi_m}{2Z_1 t_{z1} l_e FA_{\square}} \qquad (2.23)$$

donde
$t_{z1}$: ancho del diente
FA: factor de apilamiento

La densidad máxima de flujo $B_{em}$ en el núcleo del estator se calculó mediante la expresión (2.24)

$$B_{em} = \frac{\varphi_m}{(D_e - D - 2d_{z1})l_e FA_{\square}} \qquad (2.24)$$

**2.2 Dimensionamiento del rotor**

Primeramente se determinó la longitud δ del entrehierro, de manera que esta fuese tan pequeña como fuera posible para minimizar la fmm. Se utilizó la expresión empírica (2.25)

$$\delta = 0{,}0016\ \delta + 0{,}001 l_e + 0{,}0072 \qquad (2{,}25)$$

donde todas las magnitudes están expresadas en pulgadas. A partir de esta expresión pudo ser determinado el diámetro Dr del rotor según (2.26)

$$D_r = D - 2\ \delta \qquad (2.26)$$

Para determinar el número de barras del rotor se tuvo en cuenta que para determinadas combinaciones se pueden producir armónicos perjudiciales si,

$Z_1 - Z_2 = \pm 3\ k\ p$ (k = 1, 2, 3,……) (2.27)

Se consideró que la razón de la profundidad de la barra contra el ancho se encuentre en el rango de 4 a 6 y además la ranura debe dimensionarse de forma tal que la barra satisfaga la densidad de corriente necesaria. Considerando que aproximadamente el 10 % de la fmm del estator se utiliza para establecer el flujo mutuo mientras que el 90 % se utiliza para compensar la fmm del rotor, puede plantearse,

$$0{,}9N_{1ef}\frac{I_1}{a} = N_{2ef}I_2 \qquad (2.28)$$

donde $N_{2ef}$: número de barras del rotor

Partiendo de (2.28) y después de una serie de transformaciones se llega a las expresiones (2,29) y (2,30) para el cálculo de la sección transversal de las barras del rotor y de los anillos.

$$S_b = \frac{I_b}{\Delta_b} = \frac{1{,}8Nk_pk_dZ_1}{ak_{pr}k_{dr}Z_2}\frac{I_1}{\Delta b} \qquad (2.29)$$

donde
$k_p$ y $k_d$ : factor de paso y de distribución respetivamente del devanado del estator.
$k_{pr}$ y $k_{dr}$ : factor de paso y de distribución respetivamente del devanado del rotor.
$\Delta_b$ : densidad de corriente de la barra.

$$Sa = \frac{Ia}{\Delta a} = \frac{Z_2I_b}{p\pi\Delta a} = \frac{1{,}8Nk_pk_dZ_1}{p\pi ak_pk_d}\frac{I_1}{\Delta a} \qquad (2.30)$$

donde,
$I_a$ : corriente en los anillos
$\Delta_a$ : densidad de corriente en los anillos

Como último paso se verificó la densidad de flujo $B_{rtm}$ y $B_{rm}$ en el diente y en el núcleo del rotor respectivamente con el empleo de las expresiones (2.30) y (2.31),

$$B_{rtm} = \frac{p\pi\varphi_m}{2Z_2t_{r2}l_eFA} \qquad (2.31)$$

donde,
$t_{r2}$: ancho del diente del rotor

$$B_{rm} = \frac{\varphi_m}{(D_r - D_{intr} - 2d_{r1})l_eFA} \qquad (2.32)$$

donde,
$D_{intr}$: diámetro interior del rotor

2.3 **Cálculo de los parámetros del circuito equivalente.**

Una vez concluido el dimensionamiento del estator y del rotor se pasó al cálculo de los parámetros del circuito equivalente [3] para a partir de los mismos comprobar si el dimensionamiento realizado responde al comportamiento deseado del motor. A continuación se describe brevemente las principales expresiones que se utilizaron para este fin.
Resistencia de pérdidas en el núcleo $R_m$

$$R_m = \frac{(0{,}97U_1)^2}{P_{fe}/3} \qquad (2.33)$$

donde,
$P_{fe}$: pérdidas totales de núcleo

Reactancia de magnetización Xmag,

$$X_{mag} = 1{,}6713x10^{-7}\left(\frac{fDl_e}{p\delta}\right)\left(\frac{k_pk_dZ_1\ N}{am}\right) \qquad (2.34)$$

donde las magnitudes D, $l_e$, δ están expresadas en pulgadas.

Resistencia del devanado del estator $R_1$

$$R_1 = \frac{1{,}056x10^{-6} C_\varphi MLT}{s_{a1}} \qquad (2.35)$$

donde,
$C_\phi$: número total de espiras por fase.
$s_{a1}$: sección transversal de los conductores del devanado del estator (en pulg$^2$).
MLT: longitud media de una espira del devanado del estator (en pulg).

Resistencia del rotor
La expresión (2.36) se utiliza cuando las barras son de cobre, en caso de utilizarse aluminio entonces es necesario multiplicar $R_2^{'}$por 1,64.

$$R_2^{'} = 1{,}169x10^{-6} m \left(\frac{k_p k_d C_\varphi}{k_{pr} k_{dr}}\right)^2 \left(\frac{l_b K_1}{Z_2 s_b} + \frac{2D_{mani} K_{ani}}{\pi p^2 s_{ani}}\right) \qquad (2.36)$$

donde,
$s_b$: sección transversal de la barra del rotor (pulg$^2$).
$s_{ani}$: sección transversal de un anillo (pulg$^2$).
$l_b$: longitud de la barra del rotor (pulg).
$D_{mani}$: diámetro medio de un anillo (pulg).
$K_1$: factor que tiene en cuenta el efecto pelicular ($K_1 \geq 1$).
$K_{ani}$: factor que considera no uniforme la distribución de la corriente en los anillos.

Reactancia de dispersión del devanado del estator

$$X_1 = 0{,}3192x10^{-7} \frac{f N_\varphi^2 l_v K_s}{2p} \left[1 + 4\, ln\left(\frac{3{,}94D}{Z_1 \sqrt{b_{s1} d_{s1}}}\right)\right] \qquad (2.37)$$

donde,
$l_v$: longitud de una vuelta final del devanado medida a lo largo del devanado desde un apilamiento de laminaciones a otro.
$K_s$: factor que considera la reducción de la reactancia de dispersión cuando algunas ranuras tienen lados de bobinas de diferentes fases cuando el paso es diferente del paso completo.

Reactancia de dispersión del rotor

$$X_2^{`} = 7{,}98x10^{-9} \frac{f N_\varphi^2}{p^2} \left\{\frac{Z_2 D_{mani}}{mp} \left[\frac{Z_2 D_{mani}}{mp}\right] + 4 b_r p \left[\frac{Z_2 D_{mani}}{mp}\right]\right\} \qquad (2.38)$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Dimensionamiento del estator

En la tabla 3.1 se muestran los valores obtenidos para las magnitudes fundamentales en el diseño de los circuitos magnéticos y eléctrico del estator. Estos valores se encuentran dentro del rango que presentan los motores de inducción con características semejantes a las propuestas en el diseño.
El valor del diámetro exterior del estator escogido se corresponde con el de un motor con carcasa tipo 100 L (9) que resulta algo más grande que la utilizada en el motor sincrónico de imanes permanentes de 1,5 kW, esto es necesario para garantizar el funcionamiento adecuado del motor ante la variación de la frecuencia de alimentación. Los datos del motor escogido se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.1 Magnitudes calculadas para el dimensionamiento del estator

| $V_M$ ($m^3$/N.m) | $N_{\phi ef}$ | $\Phi_m$ ($W_b$) | $b_{Z1}$ (mm) | $d_{Z1}$ (mm) | $\Delta_1$ ($A/cm^2$) | $B_{tm}$ (T) | $B_{em}$ (T) | $k_p$ | $k_d$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,136 | 4 | 0,0047 | 8 | 15 | 304 | 1,0 | 0,33 | 0,92 | 0,96 |

Tabla 3.2. Dimensionamiento del estator

| D (mm) | $D_{ext}$ (mm) | $l_e$ (mm) | δ (mm) | $Z_1$ | $N_1$ | $s_1$ ($mm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 160 | 100 | 0,45 | 24 | 12 | 3,1 |

**3.2 Dimensionamiento del rotor**

En la tabla 3.3 se muestran las magnitudes calculadas durante el dimensionamiento del rotor. En este caso el devanado es tipo jaula fundida en aluminio con una cantidad de ranuras diferente a la del estator para evitar la influencia de los armónicos.

Tabla 3.3 Magnitudes calculadas para el dimensionamiento del rotor

| D (mm | $D_{int}$ (mm) | $Z_2$ | $b_{Z2}$ (mm) | $d_{Z2}$ (mm) | $\Delta_2$ ($A/cm^2$) | $B_{tm}$ (T) | $B_{em}$ (T) | $k_{dev2}$ | $S_2$ ($mm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 87 | 36 | 20 | 4,35 | 15 | 149 | 0,72 | 1,52 | 0,95 | 64,3 |

Los parámetros del circuito equivalente para el motor diseñado se muestran en la tabla 3.4, a partir de los mismos fueron estimadas las magnitudes en régimen estable del motor para la frecuencia base de 60 Hz a 60 V.

Tabla 3.4 Cálculo de los parámetros del motor

| $R_1$ (ohm) | $R_m$ (ohm) | $X_1$ (ohm) | $X_m$ (ohm) | $R_2$ (ohm) | $X_2$ (ohm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,56 | 157,0 | 0.042 | 1539 | 0,62 | 0.006 |

Las magnitudes que se muestran en la tabla 3.5 satisfacen las condiciones de operación del motor con frecuencia variable, sin sobrecalentamiento y con características semejantes a un motor de imanes permanentes de 1,2 kW.

Tabla 3.5 Magnitudes estimadas para el régimen estable del motor

| $M_n$ (N.m) | $M_{arr}$ (N.m) | $M_{max}$ (N.m) | $I_{nl}$ (A) | $I_{arrl}$ (A) | η (%) | f.p | n (r/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,2 | 6,4 | 7,0 | 19,0 | 95,0 | 80,0 | 0,86 | 3530 |

**CONCLUSIONES**

1. El motor de inducción diseñado tiene características de momento, potencia, corriente y velocidad cercanas a la de un motor sincrónico de imanes permanentes de iguales propósitos, no obstante, su rendimiento es algo menor.
2. Las dimensiones calculadas de los núcleos del estator y del rotor del motor diseñado son compatibles con las del motor de caracas 100 L que se produce en la fábrica de motores eléctricos de Cacocum por lo que existe la posibilidad real de fabricar un prototipo en nuestro país siguiendo las indicaciones del diseño.

3. Al ser el cuerpo del motor diseñado algo mayor que el cuerpo del motor de imanes permanentes que se está utilizando en los triciclos, entonces se requerirá de una adaptación en la fijación para lograr el acople adecuado con el sistema de transmisión del triciclo.

**REFERENCIAS**

1. KOSTENKO, L. Máquinas eléctricas, tomo 2. La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1982.
2. CHAPMAN, Stephen. Electric Machines Fundamentals. Disponible en https://ocw.unican.es.
3. BOLDEA, Ion; SYED, Nasar. The Induction Machine Handbook. CRC Press, LLC Florida, 2002.
4. BENITZZO, Ricardo. Motor trifásico de inducción para vehículos eléctricos. UTN Regional Rosario, 2020. Disponible en Web www.editores.srl.com.ar.
5. CATHEY, Jimmie. Maquinas Eléctricas, Análisis y Diseño aplicando MATLAB. Ciudad de México. Editorial Mc Graw Hill, 2005.
6. OCHOA, Barrera D. Desarrollo de una metodología para el diseño de motores eléctricos de inducción para vehículos. Tesis de maestría, Universidad de los Andes, Bogotá 2017. Disponible en https://repositorio.uniandes..edu.co.
7. RODRIGUEZ, Pozueta. Tablas, fórmulas y gráficas para el calculo de máquinas asincrónicas. Universidad de Cantabria 2015, Disponible en https://personales.unican.es.
8. Fundación Red de Energia BUN-CA. Manual técnico de motores eléctricos, ISBN: 978-9968-904-36-0 San José, Costa Rica, 2009.

**Sobre los autores**

Reynaldo Laborde Brown , Ingeniero electricista, Dr C, Profesor Titular, Dpto. Eléctrica, Facultad de Ingeniería en la Universidad de Holguín.

Rolando Rivero Cuesta, Licenciado en Educación Eléctrica, Dr C, Profesor Titular, Dpto. Eléctrica, Facultad de Ingeniería en la Universidad de Holguín.

Diego Martin Rodríguez Pérez. Licenciado en Educación Eléctrica, M Sc. Profesor Auxiliar, Dpto. Mecánica, Facultad de Ingeniería en la Universidad de Holguín

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESARROLLO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA EMPRESA FRANCISCO AGUIAR

**Ramsés Bernal Rodríguez[1], Frank Plascencia[2], Gerardo Yero[2]**

[1]Especialista de Investigación y Desarrollo, Calle Santa Ana entre Loma y Bella Vista, Nuevo Vedado
[2]Director Técnico, Carretera Central km 385 Sancti Spíritus,
[3]Director de Diseño, Carretera Central km 385 Sancti Spíritus
[1]e-mail:ramses@oc.reduim.cu

**RESUMEN**

A partir de la experiencia adquirida en la empresa Francisco Aguiar Rodríguez sobre la reparación de vehículos eléctricos utilitarios para servicios de hotelería, el departamento de Diseño de la UEB "Protesta de Jarao", elaboró un proyecto de desarrollo de vehículos eléctricos multipropósito de baja potencia. El proyecto prevé en una primera etapa el diseño y la fabricación de 8 modelos diferentes atendiendo a las distintas tipologías de uso, principalmente transporte urbano, hotelería, cargas ligeras y mensajería. Paralelamente el proyecto incluye la conversión de vehículos de combustión a eléctricos. La ponencia explica el proceso y la etapa en que se encuentra el proyecto.

**PALABRAS CLAVES:** vehículos eléctricos, diseño, multipropósito

# DEVELOPMENTE OF ELECTRIC VEHICULES IN THE FRANCISCO AGUIAR ENTERPRISE

**ABSTRACT**

Based on the experience acquired in the Francisco Aguiar Rodríguez company on the repair of utility electric vehicles for hotel services, the Design department of the UEB "Protesta de Jarao" developed a project for the development of low-power multipurpose electric vehicles. The project foresees in a first stage the design and manufacture of 8 different models according to the different types of use, mainly urban transport, hotels, light loads and messaging. At the same time, the project includes the conversion of combustion vehicles to electric ones. The presentation explains the process and the stage in which the project is.

**KEY WORDS:** electric vehicles, design, multipurpose

## 1. INTRODUCCIÓN.

La movilidad terrestre con medios automotores está teniendo un cambio a nivel mundial no solo desde el punto de vista cuantitativo al aumentar el número de medios de locomoción a base de motores de combustión interna sino desde el punto de vista cualitativo, al desarrollarse tecnologías para perfeccionar los motores de combustión interna o para sustituirlos por otras fuentes de energía, especialmente eléctricos, como es el caso de los medios que ocupan esta ponencia.

Por las múltiples ventajas que representan los vehículos eléctricos para determinados usos y en diferentes entornos, el equipo de trabajo que elaboró el proyecto que se presenta considera que es de vital importancia para la economía del país transitar hacia el desarrollo de este tipo de medios y no conformarse con la importación para cubrir las demandas cada vez mayores de transportación de personas y cargas.

El proyecto se inició en lo práctico a partir de las experiencias de reparación de vehículos eléctricos para servicios de hotelería pero en lo teórico tiene antecedentes en los estudios y los análisis del comportamiento a nivel mundial de diferentes factores como el agotamiento de los recursos energéticos,

el desarrollo de la electrónica de potencia, los motores eléctricos, las baterías y otras tecnologías como las que tienen que ver con el uso del hidrógeno, que buscan una alternativa duradera a los problemas que genera la combustión de sustancias fósiles.
Por otra parte, a raíz de la inversión llevada a cabo en la EMI FAR, para disponer de 7 naves de fabricación, que por sus dimensiones y características resultan apropiadas para líneas de montaje de medios de transporte, se incentivó la creación de nuevos proyectos de Diseño de ómnibus, vehículos rurales, camionetas y, ahora, microbuses y furgones para cargas ligeras.
El proyecto ha devenido en la creación de una Mipyme estatal para la explotación de 5 microbuses en la ciudad de Sancti Spíritus con la doble finalidad de aliviar la crítica situación del transporte urbano y que sirva de prueba para extender la experiencia al resto de las provincias del país.

**DESARROLLO**

Los objetivos del proyecto son: desarrollar la producción de medios de transporte eléctricos para disminuir la importación de ese tipo de medios ensamblados que encarecen los costos de flete, lograr que la recarga de estos medios se realice mediante las fuentes renovables de energía (FRE) y crear nuevas fuentes de empleo y dinamizar la economía de la empresa y del país.

Como antecedentes del proyecto pueden plantearse la presencia de los vehículos Langking, utilizados en el sector turístico por más de 10 años para los servicios intrahoteleros, tanto para transportación interna de turistas en hoteles horizontales, como para cargas de servicios de lavandería, comida, mantenimiento y otros.

Como etapas del proyecto, desde el punto de vista del diseño y la ingeniería del producto, se trabajó en el diseño de la carrocería y el bastidor, la fabricación de la carrocería, el bastidor y montaje de la cadena cinemática y en los cálculos de los modelos digitales y pruebas de validación de los prototipos físicos. (objetivo de otra ponencia). Las etapas del proyecto técnico productivo estuvieron signadas por el montaje de una línea de fabricación, explotación de la serie cero e instalación de estaciones de carga con FRE.

Finalmente, como alcance del proyecto, desde el punto de vista de su aplicación, se espera que el mismo tenga alcance nacional, comenzando por su introducción en las cabeceras de provincias y ciudades más importantes del país, fundamentalmente las de geografía llana, más apropiadas para este tipo de medios.

**Proceso de diseño del vehículo.**

**Búsqueda de información**

El proceso de diseño de los vehículos se inició con una búsqueda de información, fundamentalmente en Internet y también con la ayuda de la Dirección de Transporte Automotor de la Corporación CIMEX, para actualizar la información que se tenía sobre vehículos utilitarios de baja potencia. Como resultado de esta investigación de diseño se obtuvo catálogos con información técnica de los vehículos existentes en Cuba de la marca Langking y se resumieron algunos aspectos de interés para el proyecto:
1. La existencia en el mercado actual de vehículos utilitarios, que sin dejar de ser de baja potencia presentan características y capacidades de carga superiores a los modelos existentes hace 20 años atrás cuando se introdujeron en Cuba los primeros vehículos multipropósito eléctricos y de combustión de apoyo al turismo. Ejemplos: motores de 5kW, bastidores y estructuras de carrocería de acero, neumáticos R12, baterías de litio, en contraposición a los vehículos Club Car de 3kW, estructuras y bastidores de aluminio, neumáticos R8 y baterías de plomo ácido.
2. La prevalencia d los productos de fabricación china
3. La gran variedad de formas existentes para disimiles funciones.
4. La presencia de este tipo de medios en los circuitos urbanos, fuera de los tradicionales circuitos cerrados de instalaciones horizontales donde no se requiere uso de matrícula para la circulación. Por lo tanto ahora estos medios pueden inscribirse en el registro de vehículos en la categoría correspondiente y están obligados a portar matrícula de circulación si van a ser usados en la vía pública.

**Conceptualización de diseño de la carrocería.**

El proceso de diseño de la carrocería ha estado basado principalmente en el estudio de tendencias de la imagen de nuevos productos existentes en el mercado y aplicando *el método de aproximaciones sucesivas a la forma*. A la misma vez se han tenido en cuenta principios establecidos por prestigiosos diseñadores a nivel mundial como *Luis Sullivan, Dieter Ram, Gui Bonsiepe, Giorgio Giorjaro y Walter Da Silva* para la consecución y generación de formas coherentes, pertinentes al uso y las funciones del producto.
En este sentido se ha aceptado los postulados de Diseño de Dieter Ram , principalmente el que define que "el buen diseño es, de ser posible, poco diseño", expresando con ello que todos los elementos superfluos que no están ligados a una función operativa o semiótica (significado) deben ser evitados o eliminados del diseño para dar paso a formas puras , limpias y que transmitan la esencia del producto, sin adornos innecesarios que recargan la imagen del producto sin agregar valor alguno y que en muchos casos le agregan costo de producción.
Igualmente, en la búsqueda de conceptos que apoyen el diseño de medios alternativos para dar solución a los problemas sociales que enfrentan las ciudades con el transporte, encontramos las ideas de Gui Bonsiepe referidas al Diseño en la periferia, como él llamó al diseño que se realiza lejos de los centros tecnológicos avanzados pero creando productos ajustados a las necesidades reales de la población.
Por último, un concepto básico presente en todo momento para este proyecto lo ha sido la conocida frase, en el ámbito del Diseño y la Arquitectura, de Luis Sulivan: la forma sigue a la función, con la cual el proyecto continuará creciendo para alcanzar unidad y variedad en los productos y sean identificados como una familia de equipos y medios de transporte con diseño nacional.
Al finalizar la etapa de conceptualización y como resultado de la investigación del mercado y de las tendencias del diseño se definieron dos conceptos claves para aplicar en el proyecto:
**A.** *Concepto modular* de piezas independientes de mediano y gran tamaño pero de configuración principalmente planas que permitan crear puestos de trabajo de gran sencillez y al propio tiempo garantizar ensamblajes rápidos y seguros.
**B**. *Concepto integral* de carrocería que prioriza la imagen unida y continua en sus líneas visuales por sobre la funcionalidad constructiva y la sustitución de piezas durante la reparación.
Se escogió el concepto **A** basado en la modularidad de los componentes de la carrocería para garantizar la factibilidad de producción de los primeros ejemplares y propiciar la posibilidad de modificar el diseño cambiando partes independientes de la carrocería. Esto significa que la carrocería de estos vehículos se divide en partes intercambiables: defensa, frente, marco parabrisas, techo, pared posterior, cubierta de guardabarros, cubierta de motor, cubierta de baterías, panel de instrumentos, laterales y puertas en los modelos que lo requieren.
Este concepto no solo agilizó la fabricación de los primeros modelos sino que permitió ganar experiencia para introducir nuevos diseños paulatinamente.
En el momento actual las piezas elaboradas bajo este concepto han sido usadas también para la reparación de los vehículos Langking existentes, cuando no se dispone de los frentes integrales originales, que hasta el momento solo se adquieren a través de la importación.
Se trabaja actualmente sobre el concepto **B** donde la carrocería se logra mediante piezas que unifican varias piezas. Ejemplo: todas las que componen el frente.

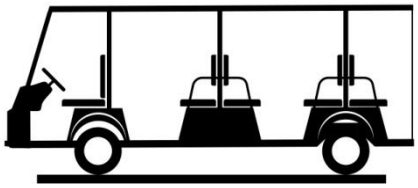
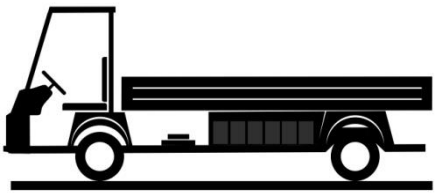
**Diseño de alternativas**

La etapa de diseño de alternativas se inició bocetando a mano los modelos en base a un programa de requisitos del producto que se estableció con el objetivo de hacer cumplir de manera optima los factores de diseño.
Luego se dibujaron en 2D en el programa Corel Draw, de manera esquemática la tipología de los distintos modelos concebidos.
Y por último se modelaron en 3D, en el programa Autodesk Inventor, las variantes escogidas. A partir de los cuales se elaboró la documentación técnica de todos los conjuntos, partes y piezas.

**Tipología de uso.**

Se concibió el diseño de 5 modelos básicos para tipos de uso diferentes, manteniendo el mismo frente y la cabina del chofer igual para todos, con aplicaciones de trabajo diferentes, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipologías para el diseño de los vehículos. Fuente: elaboración propia

| | TIPOLOGÍAS | MODELO | USOS |
|---|---|---|---|
| 1 | Transporte abierto de personas, |  | Transporte de turistas en circuitos cerrados |
| 2 | Transporte cerrado de personas, |  | Transporte público urbano |
| 3 | Cargas cerradas |  | Mercancías que requieren protección de la lluvia, el Sol o el viento, como lencería , comida, mensajería |
| 4 | Cargas abiertas, |  | Mercancías no desagregadas, como equipos grandes, muebles, etc |
| 5 | Combinado para personas y cargas |  | Servicios de asistencia técnica, como mantenimiento, bomberos, etc |

**Diseño de la marca**

Para identificar el producto como un tipo de medio de transporte independientemente de sus variantes y modelos se decidió adoptar el nombre VES y registrarlo como marca comercial. El nombre escogido proviene de las siglas que sintetizan que es un vehículo eléctrico espirituano, o sea que es fabricado en la ciudad de Sancti Spíritus.

La tipografía escogida (Century Gothic) fue modificada con el propósito de crear un logotipo que integre de manera continua las tres letras del nombre para transmitir unidad y fluidez en torno a la letra central "E" que se visualiza en tres placas que pueden ser interpretadas de manera abstracta como un transformador eléctrico o cualquier otro elemento trifásico, un núcleo de un motor eléctrico o simplemente tres conectores de un enchufe.




La marca en algunos modelos ha estado acompañada del texto genérico de la marca realizado en tipografía "Impact" y "Mistral" como se muestra a continuación:




En cada modelo se ha colocado un texto que destaca la cualidad de ser 100% eléctrico, con un diseño que sugiere que es enchufable.




**Diseño final.**

**Diseño, fabricación y cálculo del bastidor (chasis)**

Para el diseño del bastidor se siguió el método de ingeniería inversa tomando como referencia el bastidor de los vehículos eléctricos Langking, procedentes de China, con más de 10 años de explotación exitosa en los centros turísticos de la cayería norte de Cuba.
La fabricación del primer bastidor se realizó a partir de su modelación 3D en el programa Autodesk Inventor, sin previa aplicación de cálculos de esfuerzos sobre los modelos digitales. A partir del segundo bastidor y como requisito del proyecto se inició un proceso de definición de las cargas que se debía aplicar y su localización sobre el bastidor. Desde ese momento se le han aplicado diferentes esfuerzos quedando finalmente como se presenta en la Figura 1.

**Cantidad de unidades a fabricar**

Como parte del objetivo de la fabricación se planificó una producción seriada (cientos de unidades) con perspectiva de alcanzar miles de unidades. No está previsto alcanzar la producción masiva (decenas de miles de unidades), dado que el proceso tecnológico no es automatizado y los modelos se rediseñan con frecuencia para adecuarse a los requerimientos del mercado. Es por ello poco probable que algún modelo de esta línea llegue a fabricarse en más de 10 mil unidades. Una muestra de como quedaron nlos vehículos ensamblados en la primera etapa se muestra en la Figura 2.

.



Figura 1. Diseño y ensamblaje final del Bastidor del VES 001. Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Equipos ensamblados y colocados en el patio de la empresa. Fuente: elaboración propia.

**Características técnicas de los modelos ya fabricados**

| Características Técnicas | VES 001 | VES 002 | VES 003 | VES 004 | VES 005 |
|---|---|---|---|---|---|
| Longitud | 4.4 m | 4.4m | 3m-4.5m | 3m-4.5m | 4.5m |
| Ancho: | 1.4 m | 1.4 m | 1.4 m | 1.4 m | 1.4 m |
| Altura | 1.9 m | 1.9m | 2 m | 1.9 m | 2m |
| Velocidad máx | 40 km/h | | | | |
| Autonomía | 60-100 km | | | | |
| Potencia motor | 5 Kw | | | | |
| Voltaje del motor | 72 V | | | | |
| Tipo de baterías | 6V 190 A | | | | |
| Cant. baterías | 12 u | | | | |
| Cargador eléct | Fijo a bordo / 110 V | | | | |
| Neumáticos | 145 / 60 R12 | | | | |
| Suspensión delantera | espiral y amortiguador | | | | |
| Suspensión trasera | hojas de muelle y amortiguador | | | | |
| Chasis | tubular de acero | | | | |
| Carrocería | PRFV | | | | |
| Capacidad máxima | 12 personas + 2 | 11 personas + 2 | 1000 kg | 1000 kg | 5 personas + 300 kg |
| Peso neto | 1100 Kg | 1050 Kg | 1500 Kg | 900 Kg | 1400 Kg |

Así mismo, una muestra de los vehículos fabricados se presentó en la Feria Internacional del transporte, celebrada en PABEXPO en este año 2024, como se muestra en la Figura 3, y en la cual se tuvo lel honor de recibir al Presidente del país junto al Ministro del Transporte.



Figura 3. Muestra de vehículos en el Stand de la UIM en la Feria Internacional de Transporte y Logística 2024. Visita del Presidente de la República y del Ministro del Transporte al Stand. Fuente: elaboración propia.

**Aspectos económicos comerciales**

Para lograr el destino final de explotación de las series VES, en los lugares adecuados para su uso, se requiere superar las trabas económico comerciales que atraviesan los procesos productivos y de venta para alcanzar su comercialización.
Se han podido identificar como principales trabas económicas la falta de financiamiento para importar los componentes de la cadena cinemática y otros insumos necesarios para la producción. Todo ello asociado a largos y complicados procesos de selección y aprobación de proveedores extranjeros con diferentes ofertas.
Al propio tiempo desde el punto de vista comercial se están creando mecanismos para poder comercializar estos productos, ya que hasta el momento es muy difícil poder utilizar un canal de cobro a los clientes interesados, entre otros factores por el componente en divisa presente en el precio. Con estas dificultades el esquema de producción que se adopta es de fabricación a pedido, lo cual es lento y desventajoso frente a productores seriados de este tipo de medios.
No obstante, existen fortalezas en la gestión económica comercial que han permitido crear las primeras unidades de cuatro modelos diferentes y principalmente haber completado los primeros 5 destinados al transporte público de pasajeros en zona urbana, con gran aceptación en la población de la ciudad de Sancti Spíritus.

## CONCLUSIONES

1. El proyecto de diseño de vehículos eléctricos en la empresa Francisco Aguiar se ha materializado con la fabricación de 5 modelos con gran potencial de continuar creciendo en varias direcciones de desarrollo.
2. La puesta en explotación de 5 ejemplares del modelo VES 002, destinados al transporte público demuestran la capacidad de la empresa para abordar este tipo de proyectos y por tanto no se puede renunciar a continuar fabricando a pesar de las dificultades.
3. Se debe continuar trabajando en la búsqueda de fuentes de financiamiento y en nuevas ofertas de los proveedores.
4. Es preciso concluir la organización de la línea de producción, aunque las mejoras continuas al producto impliquen cambios en los procesos.
5. El diseño de nuevos modelos y el perfeccionamiento de los modelos básicos debe ser una constante que tenga, como máxima permanente, el logro la calidad.

## RECONOCIMIENTO

El equipo de trabajo quiere reconocer explícitamente el impulso y la creatividad aportados al desarrollo de este proyecto por el recién fallecido Director General de la UIM, General de Brigada Israel Cervantes Tablada, quien tuvo la iniciativa de fabricar un vehículo eléctrico con los medios propios de la empresa.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ELECTROMOVILIDAD EN EL TURISMO SOSTENIBLE EN LA PROVINCIA DE MANABI.

**Maria Rosalba Cedeño Pico[1], Líder Macias Ramos[2], María Rodríguez Gámez[3], Antonio Vázquez Pérez[4]**

[1]Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Contabilidad y Auditoría, Portoviejo, Ecuador
[2]Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil y Arquitectura, Portoviejo, Ecuador
[3]Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil y Arquitectura, Portoviejo, Ecuador
[4]Investigador independiente, Manabí, Portoviejo, Ecuador

[1] e-mail: rosalba.cedeno@utm.edu.ec

**RESUMEN**

El turismo sustentable puede tener éxito si se implementan tecnologías de desplazamiento vinculadas a la electromovilidad en Manabí, esto dependerá de la colaboración entre el gobierno local, los tours operadores y el sector privado, Además del desarrollo de infraestructura adecuada y la creación de incentivos financieros todo ello serían pasos fundamentales para lograr el uso de vehículos eléctricos, generando un impacto positivo en el sector turístico y en el medio ambiente. El objetivo de la investigación fue explorar las percepciones, experiencias y desafíos encontrados por los actores involucrados en la implementación de la electromovilidad en el turismo en la provincia de Manabí con ello se busca comprender las expectativas y los obstáculos desde la perspectiva de los operadores turísticos, las autoridades locales, los turistas y los expertos en sostenibilidad. Los resultados obtenidos indican la electromovilidad ofrece grandes oportunidades para promover un turismo sostenible, pero enfrenta desafíos estructurales y económicos que deben ser abordados para lograr una adopción más amplia y eficaz para la implementación exitosa de inversiones e infraestructura, incentivos gubernamentales y un enfoque colaborativo entre el sector público y privado Se concluyó que la implementación de la electromovilidad podría reducir en un 30% las emisiones de $CO_2$ en el sector turístico de la región, siempre que se desarrollen políticas públicas para incentivar su uso.

**PALABRAS CLAVE:** electromovilidad, turismo, sustentable, desarrollo, transporte.

**ABSTRACT**

Sustainable tourism can be successful if electromobility technologies are implemented in Manabí. This will depend on the collaboration between the local government, tour operators and the private sector. In addition to the development of adequate infrastructure and the creation of financial incentives, all of these would be fundamental steps to achieve the use of electric vehicles, generating a positive impact on the tourism sector and the environment. The objective of the research was to explore the perceptions, experiences and challenges encountered by the actors involved in the implementation of electromobility in tourism in the province of Manabí. This seeks to understand the expectations and obstacles from the perspective of tour operators, local authorities, tourists and sustainability experts. The results obtained indicate that electromobility offers great opportunities to promote sustainable tourism but faces structural and economic challenges that must be addressed to achieve broader and more effective adoption for the successful implementation of investments and infrastructure, government incentives and a collaborative approach between the public and private sectors. It was concluded that the implementation of electromobility could reduce CO2 emissions in the region's tourism sector by 30%, provided that public policies are developed to encourage its use.

**KEYWORDS**: Electromobility, tourism, sustainable, development, transport

## 1. INTRODUCCIÓN

La electromovilidad se ha convertido en una alternativa clave para promover la sostenibilidad en el transporte, particularmente en el sector turístico. Este tipo de movilidad, basada en el uso de vehículos eléctricos (VE), ofrece una solución eficiente y respetuosa con el medio ambiente, contribuyendo significativamente a la reducción de las emisiones de $CO_2$ y a la mejora de la calidad del aire. En el contexto global, diversos países como Noruega, Alemania y China han liderado la transición hacia el transporte eléctrico, implementando políticas que fomentan su adopción en áreas clave como el turismo [1].

En América Latina, algunos países están comenzando a integrar la electromovilidad en sus estrategias de desarrollo sostenible, en este contexto Chile y Colombia han logrado importantes avances en la promoción del uso de vehículos eléctricos en el transporte público y privado [2].

En México, la rápida urbanización ha creado graves problemas, incluida la contaminación del aire y el cambio climático, la dirección del país se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector transporte en un 21% para 2030.

Este estudio analiza la efectividad de los EV en la reducción de GEI en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Se comparan diferentes fuentes de producción de electricidad y se concluye que, si funcionan con energías renovables los vehículos eléctricos emiten menos GEI que los vehículos de combustión interna. Se espera para el 2050 que el 70% de la población mundial vivirá en zonas urbanas. En México, al 2010, el 77.8% de la población ya reside en áreas urbanas, lo que ha intensificado problemas como la congestión del tránsito, la contaminación del aire y la centralización de servicios.

La ZMVM en particular enfrenta serios problemas de contaminación debido a su alta densidad de población y al constante tránsito de vehículos a gasolina, muchos de los cuales son modelos antiguos y muy contaminantes, la administración del país se ha comprometido internacionalmente a reducir sus emisiones de GEI del sector transporte en un 21% para 2030, lo que significa reducir sus emisiones de 229 Mt de $CO_2$ equivalente a 181 Mt de $CO_2$ equivalente al año [3].

Ecuador también ha iniciado cambios importantes en este ámbito, particularmente en la provincia de Manabí, donde la adopción de la electromovilidad se considera esencial para el turismo sostenible, una de las principales actividades económicas de la región.

En la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE) de Ecuador ya tienen claro en la transición a la electromovilidad en el transporte público de pasajeros y ha tenido buenos resultados en su migración [4].su objetivo principal es proyectar cómo afectará la migración de buses Diésel a eléctricos, la demanda energética y el consumo eléctrico del país al 2025. La metodología se basó en un análisis de escenarios hipotéticos, donde se comparan las demandas energéticas entre buses de combustión interna (Diesel) y autobuses eléctricos. Se proponen tres escenarios: con una entrada del 25%, 50% y 100% de autobuses eléctricos al parque vehicular. Los resultados mostraron que el cambio tecnológico no generará déficit en el suministro eléctrico.

En el turismo la electromovilidad puede jugar un rol importante, pues en la actualidad la mayoría del turismo busca opciones ecológicas y en ese sentido la oportunidad de la provincia para iniciarse en esta actividad y lograr la sostenibilidad ambiental en este sector económico.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el método deductivo, este es un tipo de investigación descriptiva analítica, que permite estudiar y proyectar las características y ventajas que ofrecen los vehículos eléctricos en el área de turismo que apoye la sostenibilidad del transporte a los visitantes a los sitios turísticos, de la provincia.

Se empleó como metodología la llamada investigación de escritorio [5], con el objetivo de conocer las investigaciones realizadas en función de trazar estrategias que apoyen el cambio de transporte en el sector

utilizando la electromovilidad en el turístico, esto no solo benefician al medio ambiente, sino que también ofrecen ventajas competitivas a los destinos turísticos, mejoran la experiencia del viajero y fomentan el desarrollo económico local [6]. Adoptar estas prácticas puede ser clave para un turismo más sostenible y responsable. y que pueden implementarse bajo el concepto de la GD [7], cuando se utilizan los vehículos eléctricos para satisfacer demanda en las propias instalaciones turísticas.

## 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La electromovilidad en el Ecuador, y específicamente en la provincia de Manabí, ha venido tomando fuerza en los últimos años. Esta tendencia está en línea con la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el desarrollo sostenible, todo ello permite fortalecer el turismo en la región al introducir tecnologías que no afectan el entorno [8].

### 3.1. Impacto de la electromovilidad en el turismo sostenible

Dentro de la investigación realizada se pudo conocer el impacto que tiene la electromovilidad para un turismo sostenible [9], estas se pueden apreciar en la figura 1.

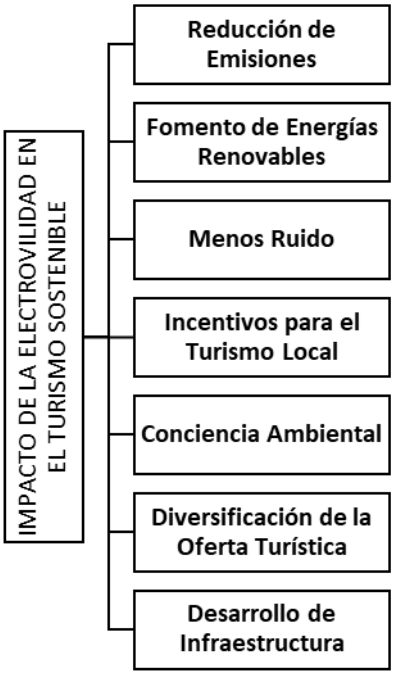



Figura 1. Impacto de la electromovilidad en el turismo sostenible.

#### 3.1.1 Reducción de las emisiones

Como lo muestra la figura la utilización de la electromovilidad puede aportar en lograr un turismo sostenible partiendo de la reducción de emisiones del carbono con ello se hace un aporte a la disminución del calentamiento global [10], siendo este el que más afecta a los fenómenos que ocurren hoy como el efecto invernadero. La migración a vehículos eléctricos empieza a tener relevancia por las implicaciones a corto plazo que podría conllevar la reducción de sus emisiones en materia de cambio climático.

Se puede evidenciar la importancia de este contaminante, ya que su aporte es de entre un 4 % y un 13 % más para el sector transporte durante el 2016, en comparación con el inventario de GEI del año 2015 [11]. Los vehículos eléctricos emiten menos gases contaminantes en comparación con los vehículos de combustión interna, el uso de ellos contribuye a mejorar la calidad del aire en los destinos turísticos, siendo esencial para la salud de los visitantes, la preservación del entorno natural que se visita y la sostenibilidad.

### 3.1.2. Fomento de Energías Renovables

El Ministerio de Electricidad y energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución del Ecuador, que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía. La electricidad producida con este tipo de energías contará con condiciones preferentes establecidas mediante regulación expedida por el ARCONEL [12]. Adoptando la electromovilidad que a menudo va de la mano con el uso de energías renovables. Muchos destinos turísticos están invirtiendo en infraestructura de carga que utiliza energía solar o eólica, lo que promueve un modelo de turismo más sostenible.

### 3.1.3. Menos Ruido

El Ministerio del Medio Ambiente también apoyando el tema de la electromovilidad al ser es una de las soluciones para mejorar el problema del ruido ambiental provocado por el transporte [13]. En el turismo sería muy beneficioso, pues son vehículos silenciosos, al no emitir ruidos de motor no afectarían el entorno rural cuando se desplazan por zonas donde la fauna puede sentir perturbaciones. Estas tecnologías ayudan a reducir la contaminación acústica en áreas turísticas mostrando una nueva imagen del turismo en la provincia, especialmente en lugares naturales o históricos donde el ruido puede ser una distracción que afectar el entorno natural.

### 3.1.4. Incentivos para el Turismo Local

Algunos países están implementando incentivos para que los turistas utilicen vehículos eléctricos, como descuentos en tarifas de estacionamiento o acceso gratuito a ciertas áreas. Esto puede fomentar un mayor uso de transporte sostenible y beneficiar a la economía local [14]. Este incentivo es sustancial para los operadores turísticos dentro de las zonas turísticas debido a que el uso de este transporte resulta beneficioso para el lugar y los habitantes, así se evita la contaminación ambiental.

### 3.1.5. Desarrollo de Infraestructura

La carga inductiva para electricidad vehicular tratada por [15], menciona que el problema más relevante de este tipo de vehículos es su rango limitado: distancia de viaje por carga. Por lo que se han recomendado los vehículos eléctricos híbridos (HEV) para extender el alcance de la batería del vehículo hasta que los avances tecnológicos y la construcción de la infraestructura de carga para que el rango vehículo eléctrico (EV) sea aceptable. Con los VE en uso, los paquetes de baterías se pueden recargar de la red eléctrica a

través de un cargador, se requiere este tipo de dispositivos en el proceso de carga de las baterías, debido a que el suministro de la red eléctrica normalmente se encuentra en forma de corriente alterna (AC), mientras que la batería funciona con corriente continua (DC) [16]. Hay diferentes formas de recargar un EV, que incluyen carga conductiva, carga inductiva e intercambio de batería. El método más común es la carga conductiva mediante un cable. y conector de vehículo [17], se debe definir la normativa asociada a la incorporación del vehículo eléctrico.

En Ecuador, la implementación exitosa de vehículos eléctricos requiere de normativas y leyes que fomenten su adopción y aseguren un marco legal adecuado. Estas regulaciones pueden incentivar la fabricación, importación y comercialización de vehículos eléctricos, que pueden implementarse en un entorno rural donde se desarrollé la actividad turística, así como la instalación de infraestructuras de carga. Estas normativas pueden incluir incentivos fiscales, subsidios y exenciones para empresas turísticas y particulares que apuesten por la movilidad eléctrica, promoviendo así la transición hacia un parque automotor más sostenible.

#### 3.1.6. Conciencia Ambiental

La conciencia ambiental relacionada con la electromovilidad en el turismo es clave para la adopción de vehículos eléctricos (EVs) como una solución sostenible en el transporte. Esta conciencia implica entender que esta contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, lo que genera un impacto positivo en la calidad del aire y la salud pública [18]. La promoción de la electromovilidad puede aumentar la conciencia sobre la sostenibilidad entre los turistas. Al elegir opciones de transporte más limpias, los visitantes pueden estar más inclinados a adoptar prácticas sostenibles durante su estancia.

#### 3.1.7. Diversificación de la Oferta Turística

El fomento del turismo comunitario es un aspecto clave dentro de la visión de turismo sostenible. La ley promueve la participación de las comunidades locales en la planificación y desarrollo de actividades turísticas, con el fin de que los beneficios económicos se distribuyan de manera más equitativa y las comunidades sean actores clave en la gestión de sus recursos [19].

### 3.2. Beneficios que aporta la electromovilidad al turismo en el Ecuador

La electromovilidad puede impactar en el turismo al lograr introducción de tecnologías sostenibles, en el país, la realidad es que existen beneficios y desafíos que pueden influir en su implementación y desarrollo a lo largo del tiempo.

Uno de los aportes ya analizados es la sostenibilidad ambiental con la deducción de emisiones. La introducción del vehículo eléctrico es esencial para disminuir la contaminación del aire, mejorando la calidad ambiental de destinos turísticos, eta tecnología es un transporte eficiente y silencioso ofreciendo un viaje más tranquilo y cómodo, lo que puede mejorar la experiencia de los visitantes al explorar la región.

La provincia puede atraer a turistas que valoran la sostenibilidad, siendo la electromovilidad un factor decisivo para aquellos que buscan opciones ecológicas; también se puede desarrollar una infraestructura de carga en destinos turísticos apoyando con ello a que los centros turísticos y las comunidades rurales que alojen al turista, al igual que hoteles y puntos turísticos adopten la tecnología mejorando con ellos el fomento de nuevos negocios y oportunidades económicas, como son nuevas iniciativas empresariales, como el alquiler de bicicletas eléctricas y tours en vehículos eléctricos, creando empleos y dinamizando la economía local.

Es esencial conocer que al ponerse en práctica una tecnología debe prepararse a la sociedad para que esta tenga éxitos, por lo que se debe desarrollar planes educacionales que ayuden al desarrollo de una conciencia social y con ello las prácticas sostenibles, todo ello puede ser un medio para educar a los turistas sobre la sostenibilidad y el cuidado del ambiente, fortaleciendo la imagen de Manabí como un destino responsable desde el nivel local al mejorarse el servicios al tener una infraestructura adecuada que permita al turista y los tour operadores mejorar el servicios y accesibilidad en la región.

Todo lo analizado anteriormente permite a la provincia tener una visibilidad internacional, mostrando su imagen positiva al incorporar la adopción de la electromovilidad en el turismo como un proceso innovador y responsable con el ambiente.

### 3.3. Dificultades para la introducción de la electromovilidad en el Ecuador

Actualmente, Ecuador tiene una infraestructura limitada de estaciones de recarga para vehículos eléctricos, lo que podría dificultar la implementación masiva de electromovilidad en zonas turísticas remotas o de difícil acceso; otra de las dificultades son los altos costos para la adquisición de los vehículos estos son más altos que el de los vehículos de combustión interna, pudiendo representar una barrera para pequeños operadores turísticos que no pueden hacer grandes inversiones iniciales [19].

La autonomía de los vehículos eléctricos puede ser un problema en destinos turísticos alejados de las principales ciudades, donde no hay estaciones de recarga disponibles con facilidad, limitando los recorridos turísticos., en este sentido se deben ir incorporando infraestructuras adecuadas a medida que se avanza en el turismo rural.

Otro elemento esencial es la necesidad de incentivos gubernamentales, en este contexto aprovechar lo que está haciendo el país en la promoción de leyes para incentivar el uso de energías limpias, apoyo económico específicas para el turismo donde se debía incorporar la electromovilidad para potenciar su adopción, todo ello preparando a técnicos especializados para el mantenimiento de los vehículos eléctricos, y en muchas áreas turísticas de país, que aún esa mano de obra calificada aún no está disponible.

Los operadores turísticos de Manabí muestran un interés notable por adoptar tecnologías de electromovilidad, pero enfrentan barreras como los altos costos iniciales y la limitada infraestructura de

carga, superar estas barreras podría posicionar a la provincia como un referente en turismo sostenible a nivel nacional e internacional.

## 4. Conclusiones

La electromovilidad ofrece grandes oportunidades para promover un turismo sostenible en Manabí, pero enfrenta desafíos estructurales y económicos que deben ser abordados para lograr una adopción más amplia y eficaz para la implementación exitosa de inversiones e infraestructura, incentivos gubernamentales y un enfoque colaborativo entre el sector público y privado.

La adopción de vehículos eléctricos en el sector turístico podría reducir las emisiones de $CO_2$ en un 30%, lo que contribuiría directamente a la sostenibilidad ambiental, siendo fundamental estos aspectos para proteger los ecosistemas turísticos, mejorar la calidad del aire y posicionar a Ecuador como un destino de turismo responsable.
Necesidad de infraestructura y políticas públicas: El éxito de la electromovilidad en el turismo sostenible depende de inversiones en infraestructura, especialmente en estaciones de carga para vehículos eléctricos. Además, se requiere un marco regulatorio sólido con incentivos financieros que favorezcan tanto a operadores turísticos como a consumidores.

## 5. Referencias

[1]. A. Smith, «Electric Mobility and Sustainable Tourism in Norway, Journal of Sustainable Transportation, vol. 14, nº 3, pp. 110-125, 2020.
[2] M. Pérez, «The Role of Electric Vehicles in Latin America's Sustainable Future, Latin American Journal of Green Energy, vol. 8, nº 1, pp. 50-65, 2021.
[3] E. R. SANDOVAL GARCIA y R. L. P. E. y. F. M. J. M. FRANCO GONZALEZ, Vehículos eléctricos: ¿Una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México?,» Scielo, vol. vol.29 [, 2019.
[4] ASAMBLEA NACIONAL. Registro Oficial. Ley Orgánica de Eficiencia Energética. Suplemento – Registro Oficial Nº 449. https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf
[5]. MELTWATER. Desk Research Meaning: What is Desk Research?. https://www.meltwater.com/en/blog/desk-research
[6] Barros, F. A., Alcances del turismo sostenible: un análisis cualitativo de las experiencias de dos comunidades en Ecuador. Siembra [online], vol. vol.8, nº 1, p. 2414, 2021. https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2414
[7] Ley Orgánica de Competitividad energética, Gestión de fuentes energéticas y energías renovables no convencionales, Quito: Registro Oficial Suplemento 475 d, 2024, https://www.lexis.com.ec/biblioteca/ley-organica-servicio-publico-energia-electrica
[8]. MARTÍN, C., Electromovilidad en Ecuador Revisión del marco regulatorio y políticas públicas. https://cajarecursosdus.lideresparagobernar.org/uploads/content/documentos/2021-03-22-marco-electromovilidad-en-ecuador-dtv-iige_1617901553.pdf
[9]. ROJAS M., José Rodrigo. La era de la ebullición global: desafíos y oportunidades para la resiliencia climática en la región Centroamericana. Ciencias Ambientales. 2024, vol.58, n.2 http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-
[10]. MEJIAS, J. F., Moreano, M. E.; Rodríguez, M. Marco Regulatorio Internacional para promover el uso del vehículo eléctrico y su potencial aplicación en Ecuador. Journal Scientific Investigar, vol. 8, nº 3, pp. 745-767, 2024. https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.745-767
[11]. PAREDES L.A. Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental. Revista Técnica energía [online]. 2019, vol.16, (1), pp.97-105. https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.340

[12]. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MMT)., Decreto Supremo N°129/2001, Chile: Ministerio del Medio Ambiente, 2001. 38962024000200009&lng=en&nrm= iso>. ISSN 2215-3896. http://dx.doi.org/10.15359/rca.58-2.9.

[13]. García, F. A. Electromovilidad y retórica política: recursos naturales, nacionalismo tecnológico y moral verde en Bolivia. Sociol. Antropol. 11 (03) • Sep-Dec 2021. https://doi.org/10.1590/2238-38752021v11310

[14] C. CHAN, «The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles, » Proceedings of the IEEE, vol. 95, nº 4, p. Proceedings of the IEEE, 2007. https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489

[15]. MERCADO, A., Córdova, K. Desarrollo tecnológico en baterías e impulsión eléctrica ¿Sistemas tecnológicos disruptivos promovidos por imperativos ambientales. Cuadernos Del Cendes, Vol. 31. N° 85, Tercera Época. 2014. https://ve.scielo.org/pdf/cdc/v31n85/art02.pdf

[16]. Rosas, L. M.; Villasana, P., y Ahumada, A. Adopción de Tecnologías de Gestión de Flotas de Vehículos Eléctricos: ¿Un problema socio-técnico? Rev. gest. pers. tecnol. 2022, vol.15, n.43, pp.108-138. http://dx.doi.org/10.35588/gpt.v15i43.5481

[17]. Hernández, C., Ávila, A., y Cerda, D. Impacto de la movilidad urbana en la calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis Potosí, México. Ciencias Ambientales, vol.57, n.1. 2023. http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-1.8.

[18]. MENDOZA, A.; Yumisaca, J., y Peralta, S. Diversificación del turismo mediante rutas culturales en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena. vol.9, n.2. 2022, https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3788.

[19]. QUINTANA, P., Acurio, H., Fonseca, J., Vaca, A., Ullauri, R., Tinajero, Santiago., Villacrés, S. Quintana. Estudio de análisis y perspectiva de la electromovilidad en Ecuador y el mix energético al 2030. Ministerio de Energía y Minas. ISBN: 978-9942-8905-5-9, 2023. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/08/Estudio-de-analisis-y-prospectiva-de-la-electromovilidad-en-Ecuador-y-el-mix-energetico-al-2030.pdf

**Sobre los autores**

Eco. Rosalba Cedeño Pico, MsC. Contabilidad y Auditoría, Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Contabilidad y Auditoría, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Docente auxiliar tiempo completo, Docente Investigador de Universidad Técnica de Manabí-Ecuador, Facultad de Administración. E-mail: rosalba.cedeno@utm.edu.ec

Ing. Líder Macias Ramos, Ingeniero Eléctrico y Civil, MsC. Mención Energías Renovables, Profesor titular principal 1 tiempo completo de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura. E-mail: líder.macias@utm.edu.ec

Lic. María Rodríguez Gámez, PhD, Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Docente titular a tiempo completo, Profesor e Investigador Titular, miembro de la Red del CYTED, Red para la integración a gran escala de energía renovable en los sistemas eléctricos. (RIBIERSE), Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional (RILCO). E-mail: maria.rodriguez@utm.edu.ec

Lic. Antonio Vázquez Pérez, PhD en el programa de desarrollo local sostenible. Trabajo Independiente, Manabí, Portoviejo, Ecuador, Profesor e Investigador Auxiliar, miembro de la Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional (RILCO). E-mail: antoniov5506@gmail.com

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELADO DE UNA MOTO ELÉCTRICA Y SU BATERÍA

Antonio Villasol López [1][0000-0002-1854-1716], Raynel Díaz Santos [2][0000-0003-3134-1871] and Miguel Castro Fernández [3][0000-0002-3983-469X]

[1] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[2] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[3] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: avillaso@electrica.cuaje.edu.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se aborda el tema de modelación de vehículos eléctricos, en especial de motocicletas eléctricas, con el objetivo de analizar los principales aspectos a tener en cuenta para la selección y simulación del método de modelación más eficiente, con el que se potencie el uso de este tipo de tecnología en el sector del transporte en el país. En el mismo se realiza un estudio correspondiente al tema, donde se obtienen experiencias internacionales y avances reportados por diferentes organizaciones que trabajan en esta área. Además, se analizan las técnicas y procedimientos más aplicados a nivel internacional en este campo. A partir de estos análisis, así como de la construcción del método de modelación seleccionado en un software de computadora, se simula el comportamiento de todos los componentes que integran una motocicleta eléctrica teniendo en cuenta diferentes condiciones de operación, donde a partir del estudio de los resultados obtenidos, se demuestra la utilidad de este tipo de herramienta para continuar con la implementación de los vehículos eléctricos en Cuba.

**PALABRAS CLAVES:** Vehículos eléctricos, Motocicleta eléctrica, Modelo

## MODELING AN ELECTRIC MOTORCYCLE AND ITS BATTERY

**ABSTRACT**

In the present work, the subject of electric vehicle modeling, especially electric motorcycles, in order to analyze the main aspects to be taken into account for the selection and simulation of the most efficient modeling method, with which the use of this type of technology in the transport sector in the country is enhanced. In it, a study corresponding to the subject is carried out, where international experiences and advances reported by different organizations working in this area are obtained. In addition, the most widely applied techniques and procedures at the international level in this field are analyzed. Based on these analyses, as well as the construction of the selected modeling method in a computer software, the behavior of all the components that make up an electric motorcycle is simulated taking into account different operating conditions, where from the study of the results obtained, the usefulness of this type of tool to continue with the implementation of electric vehicles in Cuba is demonstrated.

**KEYWORDS:** Electric vehicles, Electric Motorcycle, Model.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MEDICIÓN DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS DURANTE EL PROCESO DE CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

**Ing. Pablo Tomás Herrera Basabe[1], Dr. Orestes Hernández Areu[2], M. Sc. Ernesto Díaz Alfonso[3], M. Sc. Dailen García del Sol[4]**

[1] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba.;
[2]Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba;
[3]Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba.;
[4]Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]email: pablotohe@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La transformación de la matriz energética en Cuba, contempla la incorporación de los vehículos eléctricos. El crecimiento acelerado de esta tecnología, sin la existencia de infraestructuras públicas (estaciones) para el reaprovisionamiento de estos vehículos, propician las condiciones para que se originen situaciones no deseadas en el sistema eléctrico. Es sabido que el proceso de carga de los vehículos movidos por baterías eléctricas es una fuente de contaminación armónica para el sistema de suministro eléctrico que lo alimenta. Como parte del resultado del análisis del comportamiento de las mediciones de los parámetros eléctricos durante el proceso de carga a una motocicleta eléctricas marca Mizhosuki y un auto de tecnología híbrida marca Sunyu S8/C, se concluye que son fuentes de contaminantes amónicas de corrientes, siendo los de mayores incidencias los armónicos 3$^{ero}$, 5$^{to}$, 7$^{mo}$ y 9$^{no}$.

**PALABRAS CLAVES:** Vehículos eléctricos, carga de baterías, calidad de la energía, armónicos

## MEASUREMENT OF ENERGY PARAMETERS DURING THE CHARGING PROCESS OF ELECTRIC VEHICLES.

**ABSTRACT**

The transformation of the energy matrix in Cuba includes the incorporation of electric vehicles. The accelerated growth of this technology, without the existence of public infrastructures (stations) for the refueling of these vehicles, provide the conditions for unwanted situations to arise in the electricity system. It is known that the charging process of vehicles powered by electric batteries is a source of harmonic pollution for the electrical supply system that powers it.
As part of the result of the analysis of the behavior of the measurements of the electrical parameters during the charging process of a Mizhosuki electric motorcycle and a Sunyu S8/C hybrid technology car, it is concluded that they are sources of ammonium pollutants of currents, being the ones with the highest incidences the 3rd, 5th, 7th and 9th harmonics.

**KEY WORDS:** Electric vehicles, battery charging, energy quality, harmonics

## 1. INTRODUCCIÓN

El país en los últimos años ha incentivado el desarrollo de la electromovilidad como alternativa limpia en la transportación pública con la incorporación de disimiles variantes de vehículos eléctricos. Sin embargo, la asimilación de estos valiosos medios ha sido más rápida que la construcción de las infraestructuras públicas para su operación, lo que ha conllevado a la creación de forma improvisada por los propietarios

de estos vehículos de condiciones de cargas en sus hogares, desconociendo el comportamiento de estos y su influencia para el sistema de suministro de energía. El trabajo que se presenta tiene como objetivo ilustrar el comportamiento de la incorporación de armónicos al sistema durante el proceso de carga de dos vehículos eléctricos en las condiciones de los propietarios en sus hogares.

## 2. DESARROLLO

El estudio que presenta, se desarrolla a partir de los registros obtenidos a través del analizador de redes modelo METREL PowerQ+ Fw9.2. Los vehículos que se analizan son un cuatriciclo híbrido y una moto eléctrica cuyas características se exponen debajo.

Tabla 1: Vehículo 1. Cuatriciclo eléctrico híbrido

| Características generales dadas por el fabricante | | | |
|---|---|---|---|
| Marca: | Braval | Motor y controlador eléctrico: | 15 kW |
| Modelo: | Sunyu S8/C | Autonomía con solo batería: | ≤ 200 km |
| Peso Total Máximo: | 840 kg | Autonomía híbrida: | ≤ 600 km |
| Velocidad máxima: | 100 km/h | Cargador de batería | |
| Ángulo máximo en subida: | 45 % | Modelo: | Monofásico, portátil |
| Batería: | 17.28 kWh, $L_iPO_4$ | Entrada: | AC, 250 V, 32 A |
| Tanque de combustible: | 15 L | Salida: | CD, 32-EV-P5 |
| Panel solar: | $S_i$ monocristalino de 300 W | | |

Tabla 2: Vehículo 2. Moto eléctrica

| Características generales dadas por el fabricante | | | |
|---|---|---|---|
| Modelo: | Scotter | Cargador de la batería | |
| Marca: | Mizhosuki | Modelo: | 72V5A |
| Batería: | 72V-35AH, $L_i$ | Entrada: | 110V, 3A, 50/60Hz |
| | | Salida: | 84V,5A CD |

**Registro de parámetros durante el proceso de carga del Vehículo 1**

Para el estudio se tomaron los registros de parámetros eléctricos instantáneos en tres momentos diferentes del proceso de carga: al inicio con carga baja (< 20 %), en un momento intermedio al 40% de la carga de las baterías y al final, próximo a la carga total de las baterías (98.2%). Para la realización de la medición se procedió como sigue: se instala el analizador de redes METREL PowerQ+ Fw9.2 en un esquema de medición trifásico a 3H (el equipo no tiene la posibilidad de la programación de conexiones monofásicas). Para ello se emplean una pinza de corriente:1x1000 A y 2 tomas de tensión. De esta forma se realiza la conexión del esquema monofásico, registrando la corriente de línea ($I_1$) y la tensión de línea ($U_{12}$). Los valores de P, Q y S se corresponden con la potencia activa, reactiva y aparente respectivamente. Los valores picos que se registran se corresponden con los valores instantáneos mínimos y máximos.

Tabla 1. Registro de parámetros al inicio del proceso de carga del vehículo 1

| Símbolo | Parámetro | Unidad | Valores | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fase | Total |
| $I_1$ | Corriente | A | 14.94 | - |
| THD I | THD de Corriente | A | 0.292 | - |
| THD I | THD de Corriente | % | 1.953 | |
| P | Potencia Activa | W | - | 1935.9 |
| Q | Potencia Reactiva | Var | - | 29.38 |
| S | Potencia Aparente | VA | - | 1936.1 |
| fp | Factor de Potencia | - | 1.0 Ind | - |
| $I_{min}$ | Pico mínimo de corriente | A | -21.8 | - |
| $I_{max}$ | Pico máximo de corriente | A | 22.1 | - |
| $U_{12}$ | Tensión | V | 250.3 | - |
| THD U | THD de Tensión | V | 4.415 | - |
| THD U | THD de Tensión | % | 1.764 | |
| $U_{min}$ | Pico mínimo de tensión | V | -351.1 | - |
| $U_{max}$ | Pico máximo de tensión | V | 351.5 | - |

**Gráficos de amónicos de tensión y corriente para el vehículo 1 en el inicio de la carga.**

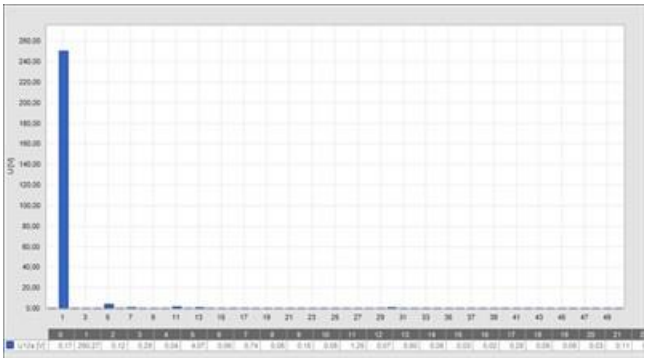


Fig. 1. Gráfico de barra Armónicos de tensión $U_{12}$



Fig. 2. Gráfico de barra armónicos de la corriente $I_1$

**Análisis del registro en el momento inicial de la carga**

De los registros obtenido en el comienzo de la carga del vehículo 1 (con baja carga en la batería), se observa que se demanda de la red una potencia instantánea aparente de 1936 VA. Al analizar los valores del factor de potencia (fp=1.0 inductivo), el termino inductivo, se atribuye al tipo de carga. El valor del factor de potencia igual a 1, se considera que es debido a que este es elevado y los ajustes internos del software lo redondea a uno. Por otro lado, tanto el THD de corriente (1.953 %) como el de tensión (1.76 %) permanecen inferior al 2 %. Otro aspecto a destacar es que, la corriente instantánea mantiene valores máximos de 22.06 A y de tensión de 351,5 V, siendo los valores efectivos de 14.94 A y 250.3 V respectivamente.

Tabla 2. Registro de parámetros al 40% de la carga de la batería

| Símbolo | Parámetro | Unidad | Valores | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fase | Total |
| I | Corriente | A | 8.905 | - |
| THD I | THD de Corriente | A | 0.323 | - |
| THD I | THD de Corriente | % | 3.626 | |
| P | Potencia Activa | W | - | 1154.3 |
| Q | Potencia Reactiva | Var | - | -9.6 |
| S | Potencia Aparente | VA | - | 1154.3 |
| fp | Factor de Potencia | - | 1.0 Cap | - |
| $I_{min}$ | Pico mínimo de corriente | A | -13.3 | - |
| $I_{max}$ | Pico máximo de corriente | A | 13.57 | - |
| U | Tensión | V | 251.9 | - |
| THD U | THD de Tensión | V | 4.514 | - |
| THD U | THD de Tensión | % | 1.792 | |
| $U_{min}$ | Pico mínimo de tensión | V | -352.0 | - |
| $U_{max}$ | Pico máximo de tensión | V | 353.2 | - |

**Gráficos de amónicos de tensión y corriente para el vehículo 1 al 40 % de carga.**

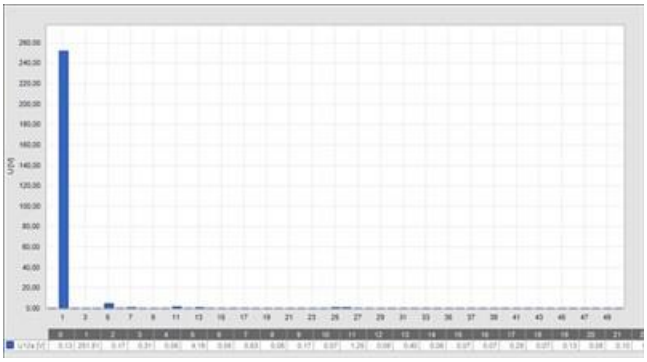


Fig. 3. Gráfico de barra Armónicos de la tensión $U_{12}$

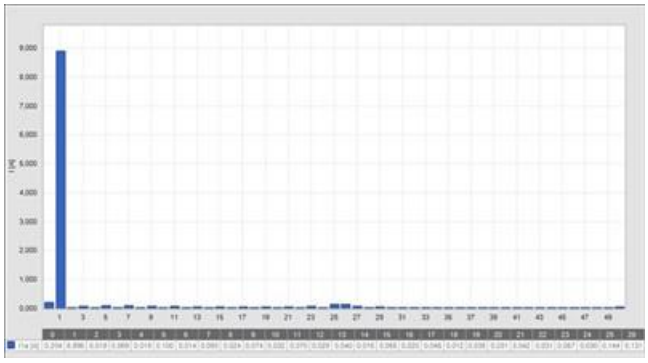


Fig. 4. Gráfico de barra Armónicos de la corriente $I_1$

**Análisis de los registros de mediciones al 40% de carga de las baterías**

Del análisis de los datos registrados, se observa que la corriente de línea es de 8.09 A, corrompiéndose con la potencia demandada de la red de aproximadamente el 60 % de la potencia instantánea total del sistema descargado. Se aprecia, un incremento en el THD de corriente (3.6 %) de un 46%, aunque prevalece la armónica fundamental. Se mantiene con poca variación el THD de tensión (1.8 %) con relación al sistema descargado. Además, el valor máximo de la tensión instantánea es de 353,2 V y el de la corriente máxima 13.53 A. El factor de potencia, aunque se mantiene en la unidad pasa a ser capacitivo, aportando a la red 9.6 Var. El valor modular, se considera que es producto al redondeo interno en el software del equipo.

Tabla 3. Registro de mediciones momentos antes de la carga total de la batería

| Símbolo | Parámetro | Unidad | Valores | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fase | Total |
| I | Corriente | A | 0.806 | - |
| THD I | THD de Corriente | A | 0.294 | - |
| THD I | THD de Corriente | % | 51.17 | |
| P | Potencia Activa | W | - | 35.2 |
| Q | Potencia Reactiva | Var | - | -61.2 |
| S | Potencia Aparente | VA | - | 70.63 |
| fp | Factor de Potencia | - | 0.53 Cap | - |
| $I_{min}$ | Pico mínimo de corriente | A | -2.48 | - |
| $I_{max}$ | Pico máximo de corriente | A | 2.714 | - |
| U | Tensión | V | 253.6 | - |
| THD U | THD de Tensión | V | 4.469 | - |
| THD U | THD de Tensión | % | 1.762 | - |
| $U_{min}$ | Pico mínimo de tensión | V | -354.5 | - |
| $U_{max}$ | Pico máximo de tensión | V | 355.8 | - |

**Gráficos de amónicos de tensión y corriente para el vehículo 1 al 98.2 % de carga.**

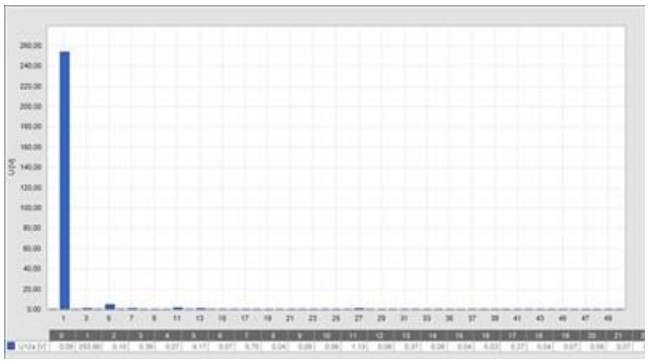


Fig. 5. Gráfico de barra Armónicos de la tensión $U_{12}$

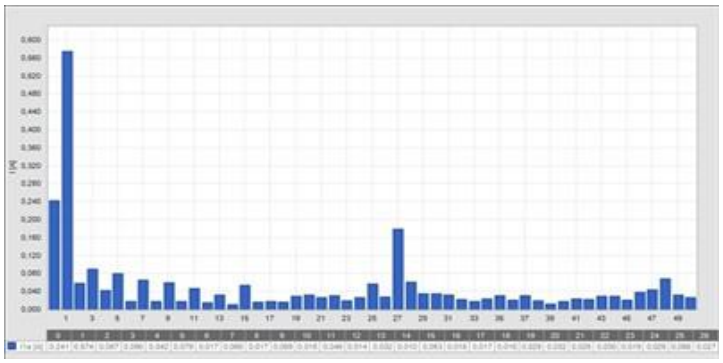


Fig. 6. Gráfico de barra Armónicos de la corriente $I_1$

**Análisis de los registros de mediciones momentos antes de la carga total de las baterías**

A partir de los datos registrados, se infiere que: el sistema de baterías se encuentra prácticamente cargado (98.2 %). La corriente demandada de la red es de 0.806 A (5.4 % de la corriente demandada de la red por el sistema de baterías descargado). Se aprecia, además que la tensión y corriente máxima es de 2.714 A y 355.8 V respectivamente. El valor efectivo de la tensión es de 253.6 V y el factor de potencia se reduce bruscamente a 0.5 capacitivo. En este momento el sistema inyecta a la red 61.2 VAr. Por otro lado, los niveles de armónicos en la corriente se elevan 51.17 %, manteniéndose prácticamente invariable los armónicos de tensión (1.762 %). Los armónicos de corrientes que más influyen en el incremento del THD de corriente son: el 3$^{ero}$ (15.7%), el 5$^{to}$ (13.8%), el 7$^{mo}$ (11,3 %) y el 9$^{no}$ (10.2 %).

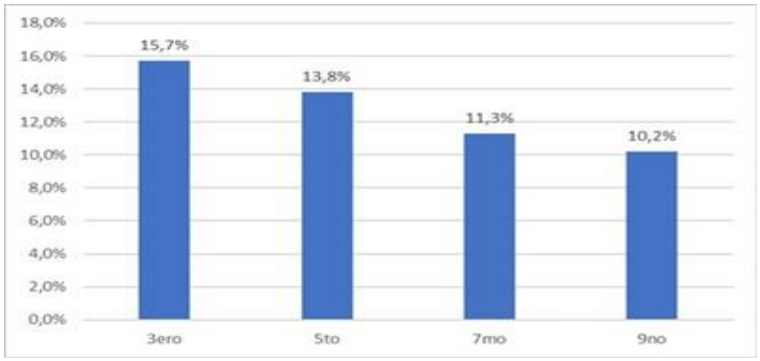


Fig. 7. Armónicos que más contribuyen al THD de corriente al final del proceso de carga del vehículo 1

**Conclusiones parciales**

Del análisis en el comportamiento del proceso de carga del sistema de baterías en el vehículo 1, se concluye que:

- Se introducen armónicos de corrientes a la red que afectan la calidad de la energía y el nivel de afectación es proporcional al estado de carga de las baterías, inyectando mayor nivel de armónico cuando más se acerque al completamiento de la carga de las baterías.
- Los armónicos que más prevalecen son los de $3^{ero}$, $5^{to}$, $7^{mo}$ y $9^{no}$.
- Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables y menores al 2 %.
- El banco de baterías durante el proceso de carga transita por comportarse como una carga casi resistiva al inicio del proceso de carga y finaliza comportándose como una carga capacitiva inyectando reactivo a la red de suministro.
- El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo de 14.94 A y disminuye a su mínimo valor cuando la batería queda completamente cargada.

**Vehículo 2**

Para el estudio se tomaron los registros de parámetros eléctricos instantáneos en 2 momentos diferentes del proceso de carga. Para ello se procedió como sigue: se instala el analizador de redes METREL PowerQ+ Fw9.2 en un esquema de medición trifásico a 4H (el equipo no tiene la posibilidad de la programación de conexiones monofásicas). Para ello se emplean una pinza de corriente:1x1000 A y 2 tomas de tensión. De esta forma se realiza la conexión del esquema monofásico, registrando la corriente de línea ($I_1$) y la tensión de fase ($U_1$). Los valores de P, Q y S se corresponden con la potencia activa, reactiva y aparente respectivamente. Los valores picos que se registran se corresponden con los valores instantáneos mínimos y máximos.

Tabla 4. Registro de parámetros al inicio del proceso de carga Vehículo 2

| Símbolo | Parámetro | Unidad | Valores | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fase | Total |
| I | Corriente | A | 5.984 | - |
| THD I | THD de Corriente | A | 4.252 | - |
| THD I | THD de Corriente | % | 92.95 | |
| P | Potencia Activa | W | - | 468.0 |
| Q | Potencia Reactiva | Var | - | -462.5 |
| S | Potencia Aparente | VA | - | 658 |
| fp | Factor de Potencia | - | 0.71 Cap | - |
| $I_{min}$ | Pico mínimo de corriente | A | -23.2 | - |
| $I_{max}$ | Pico máximo de corriente | A | 23.2 | - |
| U | Tensión | V | 109.8 | - |
| THD U | THD de Tensión | V | 4.2 | - |
| THD U | THD de Tensión | % | 3.829 | |
| $U_{min}$ | Pico mínimo de tensión | V | -154.0 | - |
| $U_{max}$ | Pico máximo de tensión | V | 155.0 | - |

**Gráficos de amónicos de tensión y corriente para el vehículo 2 en el momento inicial de carga.**

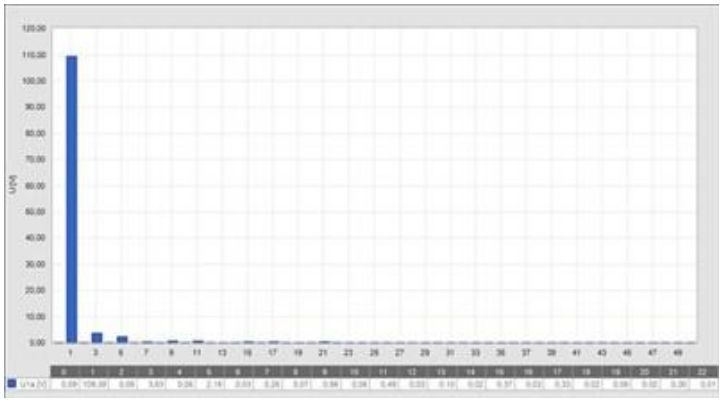


Fig. 8. Gráfico de barra Armónicos de la tensión $U_1$

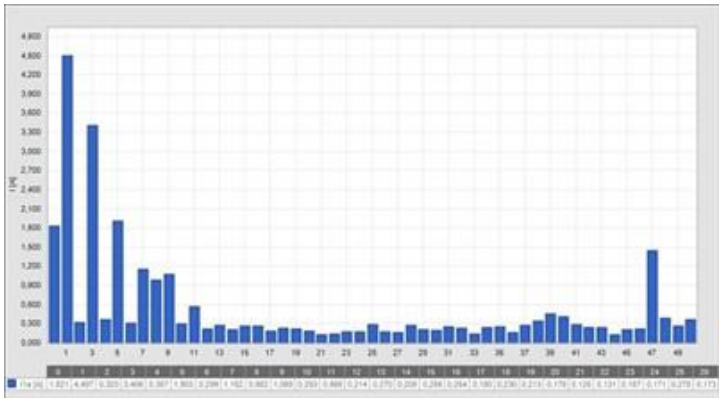


Fig. 9. Gráfico de barra armónicos de la corriente $I_1$

**Análisis del registro en el momento inicial de la carga de las baterías**

De los registros obtenido en el comienzo de la carga del vehículo 2, se observa que se demanda de la red una potencia instantánea aparente de 658 VA. Al analizar los valores del factor de potencia (fp=0.71 Cap), se observa que se comporta como una carga capacitiva inyectando a la red 462.5 VAr. Por otro lado, el THD de corriente (92.95 %) alcanza un alto valor. Los armónicos individuales que más afectan son el $3^{ero}$ (75.7%), $5^{to}$ (42.3%), $7^{mo}$ (25.6 %) y $9^{no}$ (23.6 %), superando el porciento permitido para los armónicos individuales de corrientes del 7% según la IEEE 519-2022. El armónico de la tensión (3.829 %), se mantiene por debajo del 8% normado según la IEEE 519-2022. Se destaca además que la corriente instantánea mantiene valores máximos de 23.2 A y de tensión de 155 V, siendo los valores efectivos de 5.984 A y 109.8 V respectivamente.

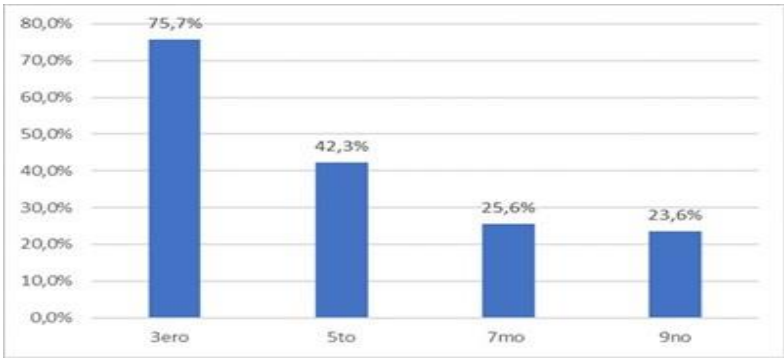



Fig. 10. Armónicos que más contribuyen al THD de corriente al inicio del proceso de carga del vehículo 2

Tabla 5. Registro de parámetros al 17 % de la carga de la batería

| Símbolo | Parámetro | Unidad | Valores | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fase | Total |
| I | Corriente | A | 4.988 | - |
| THD I | THD de Corriente | A | 3.843 | - |
| THD I | THD de Corriente | % | 110.9 | |
| P | Potencia Activa | W | - | 364.2 |
| Q | Potencia Reactiva | Var | - | -425.5 |
| S | Potencia Aparente | VA | - | 560.1 |
| fp | Factor de Potencia | - | 0.65 Cap | - |
| $I_{min}$ | Pico mínimo de corriente | A | -18.6 | - |
| $I_{max}$ | Pico máximo de corriente | A | 23.2 | - |
| U | Tensión | V | 112.1 | - |
| THD U | THD de Tensión | V | 4.170 | - |
| THD U | THD de Tensión | % | 3.724 | |
| $U_{min}$ | Pico mínimo de tensión | V | -156.3 | - |
| $U_{max}$ | Pico máximo de tensión | V | 157.2 | - |

**Gráficos de amónicos de tensión y corriente para el vehículo 2 al 17 % de carga de las baterías.**

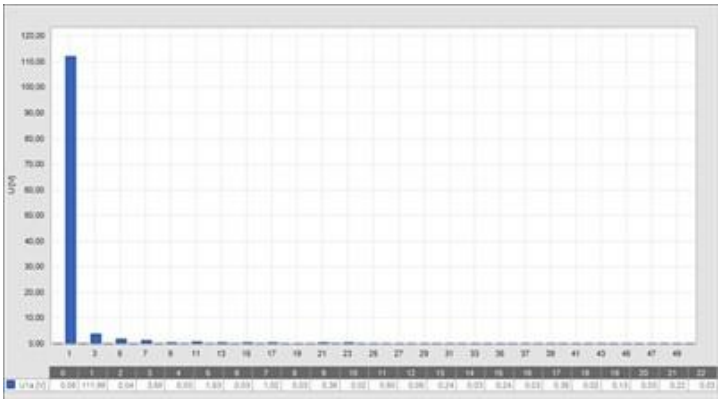


Fig. 11. Gráfico de barra Armónicos de la tensión $U_1$

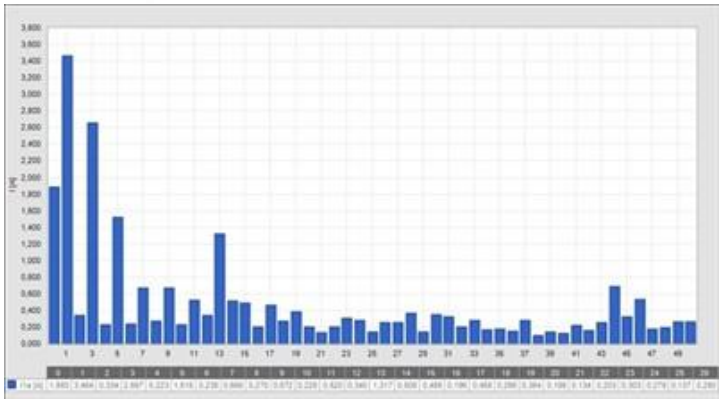


Fig. 12. Gráfico de barra Armónicos de la corriente $I_1$

**Análisis de los registros de mediciones del vehículo 2 al 17% de carga de las baterías**

Del análisis de los datos registrados, se observa que la corriente de línea se disminuye a 4.988 A. Se aprecia, un incremento en el THD de corriente (110.9 %), contribuyendo en mayor proporción los armónicos 3$^{ero}$ (76.7%), 5$^{to}$ (43.7%), 13$^{ero}$ (38 %), 9$^{no}$ (19.4 %) y 7$^{mo}$ (19.2 %). El THD de tensión se mantiene con poca variación (3.724 %) con relación al momento inicial. Además, el valor máximo de la tensión instantánea es de 157.2 V y el de la corriente máxima permanece contante en 23.2 A. El factor de potencia, se reduce a 0.64 capacitivo, aportando a la red 425.5 VAr.

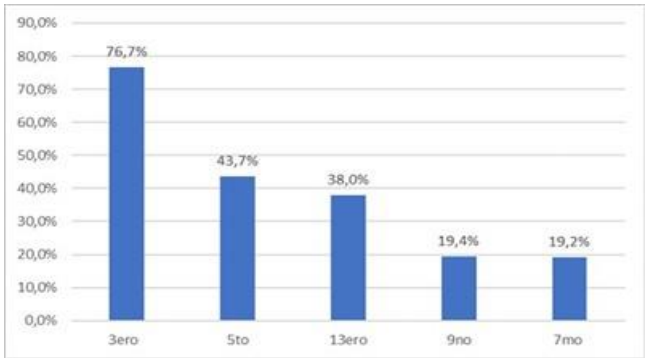



Fig. 13. Amónicos que más contribuyes al THD de corriente en el vehículo 2 al 17 % de carga de las baterías.

**Conclusiones parciales**

Del análisis en los resultados durante el proceso de carga del sistema de baterías en el vehículo 2, se concluye que:

- Los THD de los armónicos de corriente y tensión que se introducen a la red a causa del proceso de carga del vehículo 2 alcanzan valores de 110.9 % y 3.8 % respectivamente.
- Los armónicos que más contribuyendo al incremento del THD de corriente son: el 3$^{ero}$ (76.7%), 5$^{to}$ (43.7%), 13$^{ero}$ (38 %), 9$^{no}$ (19.4 %) y 7$^{mo}$ (19.2 %).
- Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables, aunque no superan los valores normados del 8 %, no comportándose de igual manera los armónicos individuales de corrientes los cuales superan el valor normado del 7% según establece la IEEE 519-2022.
- El banco de baterías durante el proceso de carga se comporta como una carga capacitiva inyectando reactivo a la red de suministro.
- El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo de 23.2 A.

## 3. CONCLUSIONES GENERALES

Se realizan las mediciones de los parámetros eléctricos durante el proceso de carga de los vehículos identificados 1 y 2, arribando a las siguientes conclusiones generales.

1. En ambos casos durante el proceso de carga, se generan armónicos de corrientes que son inyectados a la red de suministro.
2. Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables y son de menores magnitudes que los de corrientes.
3. Los bancos de baterías se comportan como cargas capacitivas en momentos del proceso de carga inyectando reactivo a la red.
4. El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo que disminuye a su mínimo valor cuando la batería aumenta su nivel de carga.
5. El nivel del indicador THD de corrientes, denotan una relación directa con el estado de carga de los bancos de baterías en ambos vehículos, aumentando estos mientras aumenta el porciento de carga de las baterías.

## 4. BIBLIOGRAFIAS

1. Adrian tarsia, G. s.f. *Calidad de la Energía. Medidas eléctricas.* Facultad de Ingeniería UBA.
2. Contreras Mora, A. 2023. *Análisis de las inyecciones armónicas de la carga de vehículos eléctricos en las instalaciones de la escuela.* Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
3. Grau MerconchniI, F, E. López Pérez, M. Castro Fernández, y O. Hernández Areu. 2023. «Influencia de la carga de los vehículos eléctricos en las redes de distribución secundarias.» *Ingeniería Energética* 44 (3).
4. IEC. 2017. *IEC 61000-2-2. Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems.* Geneva: IEC.
5. Jimenez Pérez, N. s.f. *AGRUPACION DE ARMONICOS POR CARGA DE VEHICULO ELÉCTRICO Y SU IMPLICACION EN EL DIMENSIONAMINETO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.* Bogotá: Universidad de los Andes.
6. Kumar Karmaker, A., S. Roy, y R. Ahmed. 2019. «Analysis of the Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality Issues.» *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), 7-9 February, 2019* . Bangladesh.
7. Normalización, Oficina Nacional de. 2012. *NC.775-10. BASES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INVERSIONES TURÍSTICAS-PARTE 10: REQUISITOS DE ELECTROENERGÉTICA.* La Habana: Oficina Nacional de Normalización .
8. Rosario-Berenguer Ungaro, M., R. E. Conde García, D. Deás Yero, N. R. Hernández Rodríguez, y R. Arias Gilar. 2018. «Gestión de la calidad de la energía eléctrica.» *Revista de Ingeniería Energética* 39 (1): 62-68.
9. Socarras Córdova, A., A. Virginia Acosta Corzo, y A. Loreta Arencibia. 2020. «Sistema de monitorización de consumo de energía eléctrica en el Hotel Nacional de Cuba.» *Revista Cubana de Ingeniería* XI (3): 22-32.
10. Society, IEEE 519. 2022. *IEEE Standard for Harmonics Control in Electric Power System.* New York, 13 de Mayo.
11. subtransmisión, Evolución y evaluación de la calidad de la energía en redes de distribución y. 2024. «Castro TorresI, N. A.; Sierra GilII, E.; López Pérez, E.; Grau Merconchini, F.» *Ingeniería Energética* 45 (3).

**Sobre los autores.**

**P.T. Herrera Basabe,** graduado en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (CUJAE) en 1997, se ha desemeñado en áreas del diseño, construcción y explotación de los sitemás de generación convensional y con energías renovables. Se desempeña como profesor e investigador de la facultad de ingeniería eléctrica de la Universidad Tecnológica de la Habana (CUJAE) y en proceso de formación doctoral. Participó en el diseño de la investigación, en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**O. Hernández Areu**, graduado en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (CUJAE) en 1981. Doctor en Ciencias técnicas 1995. Se desempeña como profesor e investigador en Ingeniería Eléctrica, diseño, pruebas, modelación y diagnóstico de transformadores y máquinas eléctricas. Participó Diseño de la investigación, en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Ernesto Díaz Alfonso,** graduado en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE) en 2018. Master en Ingeniería en 2022. Se desempeña como profesor e investigador en Ingeniería Eléctrica, diseño, pruebas, modelación y diagnóstico de transformadores. Participó Diseño de la investigación, en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Dailen García del Sol,** graduada en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE) en 2018. Master en Ingeniería Eléctrica en 2022. Se desempeña como profesor e investigador en Ingeniería Eléctrica, diseño, pruebas, modelación y diagnóstico de transformadores. Participó en el diseño de la investigación, la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARGA DE BATERÍAS INALÁMBRICA, MÉTODO MAGNETO – DINÁMICO RESONANTE

Pedro Osvaldo Diaz Fustier [1] [0000-0003-2005-4412] Orestes Hernández Areu [2] [0000-0002-2672-239X]

[1] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[2] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: pedro@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La transmisión inalámbrica de la energía eléctrica nació a principios del siglo XX, pero con carácter comercial es relativamente reciente en recarga de baterías en móviles (primeras pruebas en 2009 y comercialmente Apple y LG en 2014, Samsung en 2015, estandarizadas las normas Qi desde 2017) y en vehículos eléctricos (primeras pruebas en Nueva Zelandia 2010), para esto en ambos casos se utiliza exitosamente el desarrollo de la electrónica contemporánea, en el presente texto se presentan experimentos basados en rotación mecánica de campos magnéticos de forma muy similar a la excitación en los generadores sincrónicos, hay conocimiento de unas primeras pruebas en Gran Bretaña 2014, pero no hay conocimiento de rotación simulada como método de transmisión inalámbrica.
Experimentar en este tema es novedoso en nuestro país y cualquier logro científico en el tema debe ser analizado y valorado porque son vías no usualmente utilizadas, por lo que su potencial desarrollo es un campo fértil a profundizar futuras investigaciones que pudieran obtener resultados interesantes a partir de los experimentos de laboratorio realizados.

**PALABRAS CLAVES:** Transmisión inalámbrica, Carga de baterías, Eficiencia

## WIRELESS BATTERY CHARGING, RESONANT MAGNET –DYNAMIC METHOD

**ABSTRACT**

The wireless transmission of electrical energy was born at the beginning of the 20th century, but on a commercial basis it is relatively recent in recharging batteries in mobile phones (first tests in 2009 and commercially Apple and LG in 2014, Samsung in 2015, Qi standards standardized since 2017) and in electric vehicles (first tests in New Zealand2010), for this the development of contemporary electronics is successfully used, in this text the experiments are based on mechanical rotation of stationary magnetic fields are presented, in a very similar way to the excitation in the synchronous generators, there is knowledge of first tests in Great Britain 2014 and there is no knowledge of simulated rotation as a wireless transmission method.To experiment on this topic is new in our country and any scientific achievement on the topic is highly valued because they are roads not usually used, being a fertile field to deepen future research that could obtain potentially interesting results developed from the laboratory experiments carried out.

**KEY WORDS:** Wireless transmission, Battery charging, Efficiency.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# COMPARACIÓN PRELIMINAR ENTRE FUENTES DE INFORMACIÓN DE DESCARGAS ELÉCTRICAS I: ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y SENSORES TERRESTRES

**Lourdes Álvarez Escudero[1], Anisbel León Marcos[1], Adrián L. Ferrer Hernández[1]**

[1] Instituto de Meteorología
Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba
e-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realizar una comparación muy preliminar de los reportes de tormentas eléctricas en Cuba determinadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas y los de la estación Earth-Network (EN) instalada en Casablanca al norte de la provincia La Habana. Se utilizaron los registros de diez días del mes de agosto de 2018 de EN y las variables estado del tiempo presente y pasado de 14 estaciones meteorológicas de las provincias La Habana, Artemisa, Mayabeque y oeste de Matanzas. Para la comparación se estableció una prueba de criterios de veracidad. Los valores de densidad de descargas oscilaron entre 0.58 descargas por km$^2$ con máximo en Melena del Sur y 0.03 descargas por km$^2$ para la estación Varadero. Las intensidades registran los valores más altos en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA y el menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA. Los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad y de intensidad promedio de las descargas. Los aciertos presentan un promedio para todas las estaciones de 84 % alcanzando un valor de 91.3% para la estación de Santiago de la Vegas donde es máximo.

**PALABRAS CLAVES:** tormentas eléctricas, sensores terrestres, descargas eléctricas.

## PRELIMINARY COMPARISON BETWEEN SOURCES OF INFORMATION ON ELECTRICAL DISCHARGES I: METEOROLOGICAL STATIONS AND GROUND SENSORS

**ABSTRACT**

In the present work, a very preliminary comparison of the reports of electrical storms in Cuba determined from the records of the meteorological stations and those of the Earth-Network (EN) station installed in Casablanca, north of Havana province, is made. The EN records of ten days of the month of August 2018 and the present and past weather variables of 14 meteorological stations in the provinces of Havana, Artemisa, Mayabeque and west of Matanzas were used. For comparison, a truth criteria test was established. The discharge density values ranged between 0.58 discharges per km2 with a maximum in Melena del Sur and 0.03 discharges per km2 for the Varadero station. The intensities register their highest values in the stations with the lowest densities, thus the highest value is reached for the Varadero station (78328) with 16 kA and the lowest was reached for the Tapaste station with 10 kA. The afternoon hours are those that present the highest values of density and average intensity of the discharges. The hits present an average for all the stations of 84%, reaching a value of 91.3% for the Santiago de la Vegas station where it is maximum.

**KEY WORDS:** thunderstorms, ground sensors, lightnings.

## 1. INTRODUCCIÓN

La muerte por fulguraciones constituye la primera causa de muerte en Cuba asociada a fenómenos naturales [1] con un promedio anual de 60 víctimas entre los años 1987 y 2012. Las tormentas eléctricas provocan también graves daños a la economía del país en sectores como el energético, las comunicaciones, el transporte o la agricultura, de ahí la importancia de conocer su comportamiento diario,

anual y distribución espacial con vistas a realizar diseños de protección contra descargas.

Las principales diferencias entre los estudios de comportamiento diario, anual y distribución espacial de las tormentas eléctricas están en la información base que se usa para caracterizar el fenómeno. En los primeros tiempos se usaban los registros dados por las estaciones meteorológicas [2], [3], [4], [5], pero con la creación y desarrollo de nuevas tecnologías se imponen las climatologías realizadas con la información de dispositivos detectores de tormentas y con datos de satélites [6], [7], [8], [9]. Según [9] las zonas costeras de Cuba, la cuenca del Congo, Arabia Saudita y Yemen son lugares con muy alta densidad de descargas en el mundo, con más de 50 fl $km^{-2}$ $yr^{-1}$ (flashes por kilómetro cuadrado por año, fl $km^{-2}$ $yr^{-1}$).

En Cuba, la red de estaciones meteorológicas aporta de forma trihoraria los datos de código de estado de tiempo presente (WW) y pasado (W1), los cuales reportan los fenómenos ocurridos en el momento de la observación o una hora antes en el caso del primero y las dos horas posteriores a la observación anterior en el caso del tiempo pasado. Hasta el momento estos registros constituyen la única fuente de información sobre fenómenos con largas series de datos que permiten hacer estudios climatológicos sobre fenómenos meteorológicos en Cuba. Los estudios realizados para el país [10], [11], [12] arrojan máximos de ocurrencia de tormentas en zonas montañosas e interiores llanas, con un máximo absoluto en la estación de Pinares de Mayarí con más de 140 días y mínimos de actividad en las regiones costeras con valores inferiores a 40 días con tormentas. En aras de lograr series completas y homogéneas de información se realizaron varias versiones del mapa de niveles ceráunicos de Cuba [13], [14], [15], [16] donde se utilizaba para la caracterización de las tormentas solo el tiempo presente (WW) y el nivel alcanzó alrededor de los 160 días promedio anual. Posteriormente se introdujo el tiempo pasado (W1) para las estaciones de las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque [17] donde se constató que como promedio para todo el país estos registros aumentaban el número de días promedio anual en 25. El nuevo mapa de niveles ceráunicos para todo el país, teniendo en cuenta tanto tiempo pasado como presente, eleva el número de días promedio a 190 [18].

En el año 2017, fue donada a Cuba una estación de detección de rayos de la red estadounidense "Earth-Network" (EN) que fue instalada y puesta en funcionamiento en la estación de Casablanca, en La Habana a principios del 2018. La red de estaciones Earth- Network ha desplegado y operado la red de estaciones meteorológicas más amplia del mundo en los últimos 20 años, con aproximadamente 8000 estaciones. En el 2009, Earth- Network incorporó a su red, una de total de descargas (Earth Networks Total Lightning Network, ENTLN), la más amplia del mundo y con 1100 sensores. El sensor de rayos, detecta descargas nube-tierra e intranube (CG e IC, según sus siglas en inglés), tiene una precisión de detección de hasta 250 m y una eficiencia mayor al 95% en la detección de las descargas CG y mayor de un 85% en las IC, con una exactitud temporal menor de 15 nanosegundos.

El objetivo del presente trabajo es realizar una comparación muy preliminar de los reportes de tormentas eléctricas en Cuba determinadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas y de los registros de la estación Earth-Network (EN).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a la disponibilidad de los datos de ENTLN se trabajó con diez días del mes de agosto de 2018 (20 - 30 de agosto de 2018), registros que se enmarcan en el periodo lluvioso del año en Cuba y en el mes que junto a septiembre ocurre la mayor frecuencia de tormentas en el año [18]. Las tormentas ocurridas estos días estuvieron asociadas mayormente a sistemas de carácter migratorio como ondas tropicales que atravesaban el Mar Caribe y bajas frías en la altura en ocasiones asociadas a la vaguada troposférica superior (TUTT por sus siglas en inglés), acompañado de la inestabilidad vespertina y condiciones locales.

El equipo receptor de EN consta de una antena de descargas, una de GPS, un procesador digital de la señal, un cable transmisor de datos y el dispositivo de la red. La distribución y transmisión de los datos es vía INTERNET en formato binario o ASCII. La conexión directa a los servidores de ENTLN tienen un retraso mínimo de 10 segundos, por tanto los datos son recibidos en tiempo real. El sensor aporta la hora de la descarga, la latitud, la longitud, la polaridad (positiva o negativa), el pico de la corriente para las descargas eléctricas del tipo CG o pico del campo radiado normalizado a 30 Km para rayos IC (en Amperes), la clasificación de la descarga eléctrica (IC / CG), el número de sensores que detectaron la descarga eléctrica, la multiplicidad de las descargas eléctricas IC y CG y la altura de las descargas eléctricas del tipo IC (en metros).

La región seleccionada para el estudio fue la zona occidental de Cuba, en especial las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque y oeste de Matanzas, dado que el sensor está instalado al norte de la provincia La Habana y por tanto la mayor efectividad de detección está en esta zona. Esta región involucra 14 estaciones meteorológicas cuyos datos sirvieron de fuente de comparación y la caracterización y localización de las mismas se resume en la Tabla 1 y se representa en la figura 1.

Tabla 1. Identificador, Nombre, Latitud y Longitud (en grados) de las 14 estaciones meteorológicas involucradas en el estudio.

| **Identificador** | **Nombre** | **Latitud($^0$)** | **Longitud($^0$)** |
|---|---|---|---|
| 78316 | La Palma | 22,77 | 83,56 |
| 78317 | Paso Real de San Diego | 22,56 | 83,31 |
| 78318 | Bahía Honda | 22,93 | 83,22 |
| 78320 | Güira de Melena | 22,78 | 82,51 |
| 78376 | Bauta | 22,98 | 82,54 |
| 78322 | Batabanó | 22,74 | 82,29 |
| 78323 | Güines | 22,85 | 82,04 |
| 78340 | Bainoa | 23,00 | 81,94 |
| 78374 | Tapaste | 23,00 | 82,14 |
| 78375 | Melena del Sur | 22,78 | 82,11 |
| 78325 | Casablanca | 23,14 | 82,34 |
| 78373 | Santiago de las Vegas | 22,98 | 82,39 |
| 78327 | Unión de Reyes | 22,77 | 81,54 |
| 78328 | Varadero | 23,16 | 81,23 |

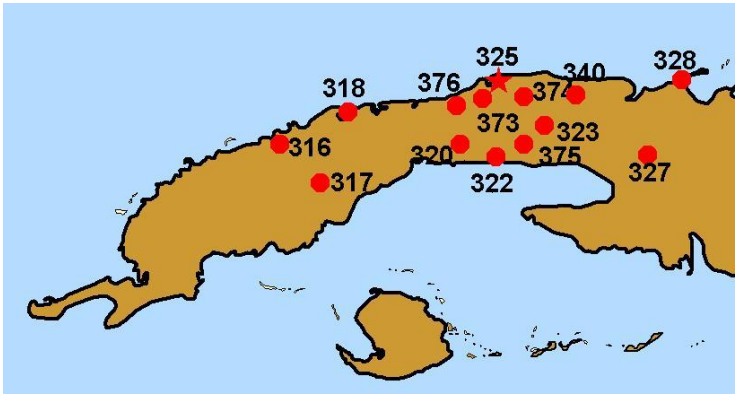



Figura 1. Representación de la localización de las estaciones en estudio. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Los registros de tormentas dados por los código de tiempo presente y pasado no discriminan entre si la descarga fue nube – tierra o intranube y los observadores meteorológicos las declaran a partir de oír el trueno en la estación y este se puede percibir a 12 km alrededor de la estación; aunque en dependencia de las condiciones meteorológicas y la limpieza de ruidos medioambientales, este umbral podría extenderse hasta 25 km.[19].

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado y que los datos de ENTLN aportan la geolocalización de la ocurrencia de descargas tanto nube-tierra como intranube se necesitó establecer un método que permitiera comparar la información. Para ello se calculó la densidad de descargas por km$^2$ y la intensidad promedio (en Amperes) de estas con los datos de ENTLN, para un círculo de 12 km de radio centrado en las localizaciones de las estaciones meteorológicas referenciadas en la Tabla 1. Esto se realizó para períodos trihorarios, dado que esa es la frecuencia con la que se emiten las observaciones en las estaciones meteorológicas. Con la información así obtenida se pasaba a clasificar por rangos los valores de las variables WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN. Los códigos usados para la clasificación de WW y W1 son los descritos en el Manual de Códigos de la Organización Meteorológica Mundial [20], donde debe resaltarse que el código 17 para WW se refiere a que se escucha el trueno en la estación y los restantes códigos se refieren a la tormenta sobre la estación. La clasificación propuesta se representa en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación por rangos de los valores de las variables WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN

| Variable | Código | Criterio de clasificación |
|---|---|---|
| Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN | 0 | Valor igual a cero |
| | 1 | Por debajo de la media para cada estación |
| | 2 | Igual o por encima de la media para cada estación |
| WW | 0 | no hay tormenta |
| | 1 | Código 17 |
| | 2 | Código 29, 90, 91, 95, 96, 97, 99 |
| W1 | 0 | no hay tormenta |
| | 1 | Código 9 |

Con los resultados de la clasificación se realizó un análisis de cluster jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma que considera como variables los valores de código de WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN y como individuos las estaciones meteorológicas en estudio. Se usaron distancias euclidianas y como método de enlace el de varianza mínima o método de Ward, lo que permitió una mayor definición de las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogió tal que la medida entre elementos de un mismo grupo sea menor que la que hay entre grupos o clusters y en este caso fue de 20.
Para la comparación se estableció una prueba de criterios de veracidad detectando “Verdaderos Positivos (VP)”, “Falsos Positivos (FP)”, “Verdaderos Negativos (VN)” y “Falsos Negativos (FN)”. Las definiciones de estos criterios se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Definiciones de criterios para la prueba de veracidad

| Criterio | Parámetro registrado por ENTLN (Densidad de descargas) | Detección de la tormenta según WW y/o W1 |
|---|---|---|
| Verdaderos Positivos (VP) | $\neq 0$ | si |
| Falsos Positivos (FP) | $\neq 0$ | no |
| Verdaderos Negativos (VN) | 0 | no |
| Falsos Negativos (FN) | 0 | si |

Para ilustrar el porcentaje de aciertos obtenidos se utiliza la siguiente relación donde se dividen los casos que coinciden sobre el total de casos expresado en porciento.

$$\% \text{ de aciertos} = \frac{VP+VN}{VP+FP+VN+FN} \; x\,100 \qquad (1)$$

La prueba de veracidad se realizó también para el umbral de 12 km.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el dendrograma mostrado en la figura 2, las estaciones en estudio se aglutinaron en cuatro grupos dados por:
Grupo I: Estación 78328
Grupo II: Estaciones 78323, 78373, 78320, 78317
Grupo III: Estaciones 78318, 78327, 78340
Grupo IV: Estaciones 78316, 78322, 78325, 78374, 78375, 78376
La distribución espacial no muestra en general una regionalización por grupos, aunque se aprecia una mayor representatividad de los grupos II y IV (con excepción de la 78316 y 78317) hacia zonas más cercanas al sensor de ENTLN, sin embargo, el grupo III y el unitario grupo I están en lugares más alejados.
Si se consideran las variables usadas para hacer el análisis de cluster, la diferencia la marca el total de observaciones con tormenta determinadas a partir del código de tiempo presente (WW) y pasado (W1), específicamente el código de tiempo pasado donde los registros de ocurrencia son cuantitativamente mayores que los de tiempo presente. En la figura 4 se muestra la cantidad de observaciones de tiempo pasado que registraron tormentas en la estación, organizadas según el análisis de cluster realizado anteriormente y donde se percibe que el grupo I presenta valores bajos de ocurrencia, el II tiene como promedio 22 observaciones con tormenta, el III alcanza los valores más altos con un promedio de 32 observaciones y el IV presenta valores intermedios entre los grupos II y III, con un promedio de 27 observaciones.
En la figura 5 se muestra el mismo análisis presentado en la figura 4, pero con la variable Densidad total de descargas según ENTLN cuando los valores son desiguales de cero y se ve que no logra representar una diferencia entre grupos.

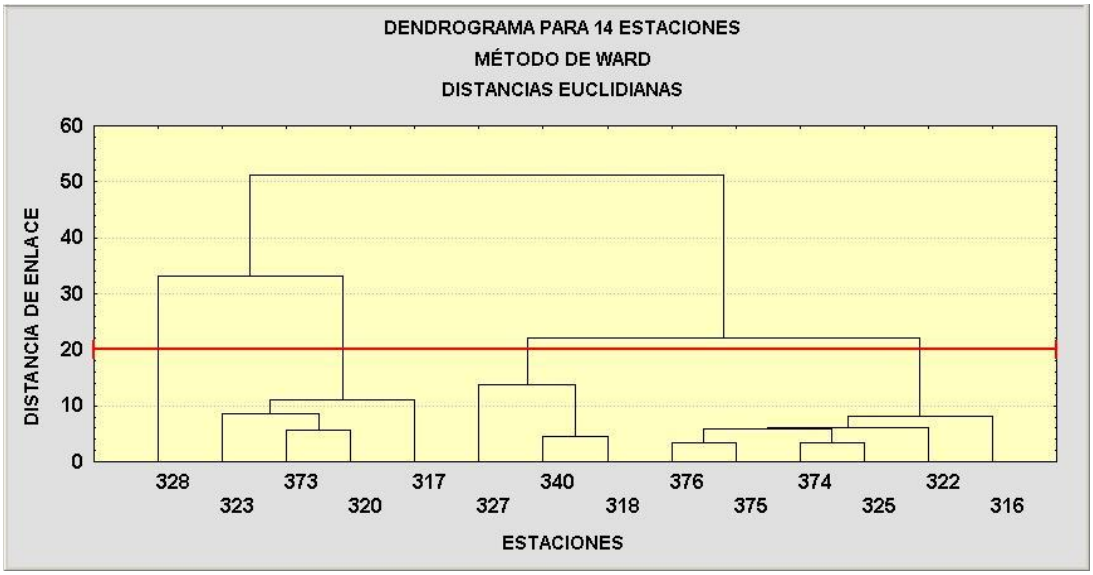



Figura 2. Dendrograma para los códigos de clasificación asumidos de la densidad e intensidad de descargas, WW, W1, en el período del 20 al 30 de agosto de 2018, teniendo como individuos las estaciones y distancia de enlace de 20. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

La representación espacial del agrupamiento obtenido se muestra en la figura 3.

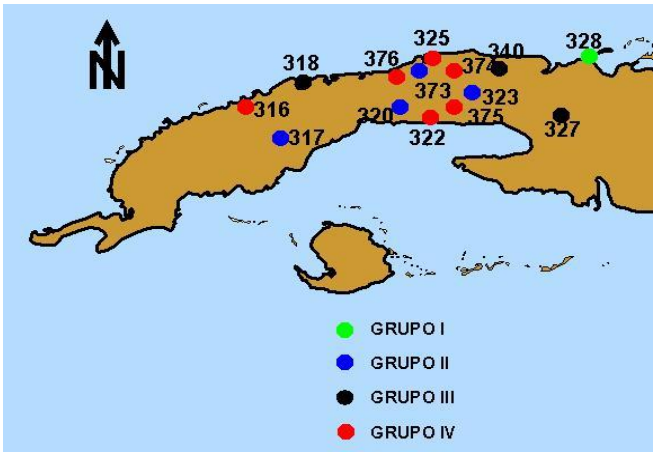



Figura 3. Distribución espacial de las estaciones según el análisis de cluster representado en el dendrograma de la figura 2. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

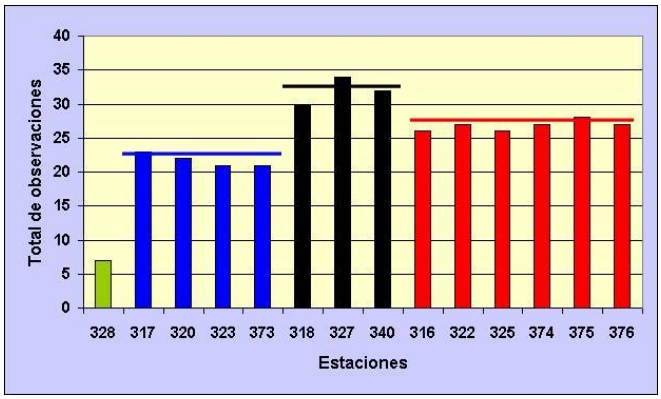



Figura 4. Cantidad de observaciones de tiempo pasado que registraron tormentas, para cada una de las estaciones en estudio en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. Las líneas marcan el valor promedio por grupo. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.




Figura 5. Cantidad de observaciones desiguales de cero de Densidad total de descargas según ENTLN, para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

De los registros dados por el sensor terrestre de la ENTLN se calcula la Densidad de descargas por km$^2$ promedio (DDP) y la Intensidad promedio (IP) cuando ocurrían tormentas (valores desiguales de cero), para un radio de 12 km centrado en cada una de las 14 estaciones en estudio. El resultado de estas estimaciones se visualiza en las figuras 6 y 7.

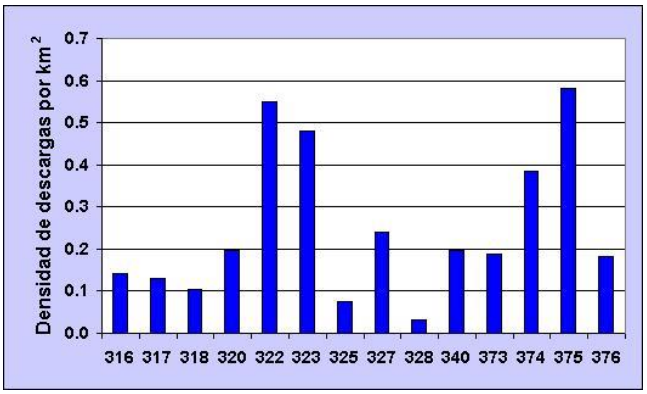



Figura 6. Densidad de descargas por km$^2$ promedio (DDP) para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

De la figura 6 se constata que hay 4 estaciones con valores altos de densidad que son: Batabanó (78322), Güines (78323), Tapaste (78374) y Melena del Sur (78375) donde es máximo con un valor de 0.58 descargas por km$^2$. Los valores más bajos se presentan en las estaciones de Bahía Honda (78318), Casablanca (78325) y Varadero (78328) donde es mínimo con solo 0.03 descargas por km$^2$. Debe notarse que estas 3 estaciones son las más próximas a la costa norte del área de estudio y podrían considerarse costeras y su comportamiento coincide con estudios climáticos anteriores [12], [17], [18] que muestran un aumento de la actividad de tormentas de las costas hacia el interior de la Isla.
Las intensidades sin embargo, tienen un comportamiento diferente (figura 7); en general los valores más altos se registran en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA, seguido por Bahía Honda (78318). El valor menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA. Aquí debe destacarse que aunque la densidad de descargas puede relacionarse con el nivel ceráunico y los puntos de mayor densidad de descargas podrían coincidir con los de mayor ocurrencia de tormentas, para los valores de intensidad no existe ningún antecedente en Cuba, por lo que el estudio de estos parámetros requiere mayor número de datos y mayor profundidad con vistas a aplicarlo a los diseños de protección contra descargas.

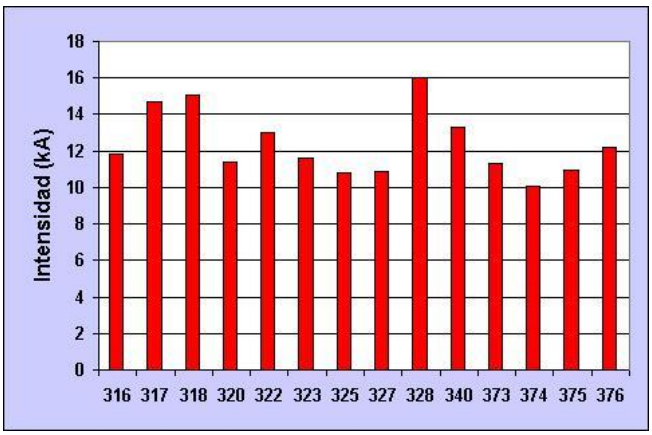



Figura 7. Intensidad promedio (IP) para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

A partir de los datos que constituyen el periodo de estudio también se puede analizar la marcha diaria tanto de la densidad como de la intensidad de las descargas para cada una de las estaciones en estudio y el promedio para todas. La marcha diaria de la densidad de descargas por $km^2$ promedio y de la intensidad promedio para todas las estaciones se representa en las figuras 8 y 9.

Del análisis de la figura 8 se observa que al igual que para el caso de determinar las marchas diarias a partir de WW y W1 [21], los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad de descargas por $km^2$, con máximos a las 16 y 19 hora local con alrededor de 0.2 descargas por $km^2$. El horario de las 22 hora local a diferencia de estudios anteriores presenta valores muy bajos, aunque esto puede deberse a lo corto de la muestra en estudio. La figura 9 presenta un comportamiento algo diferente a la figura 8 pues la intensidad promedio de las descargas aunque es máxima en la tarde y primeras horas de la noche también presenta valores apreciables en las primeras horas del día. El máximo absoluto para la marcha se alcanza a las 16 hora local con 12.9 kA.

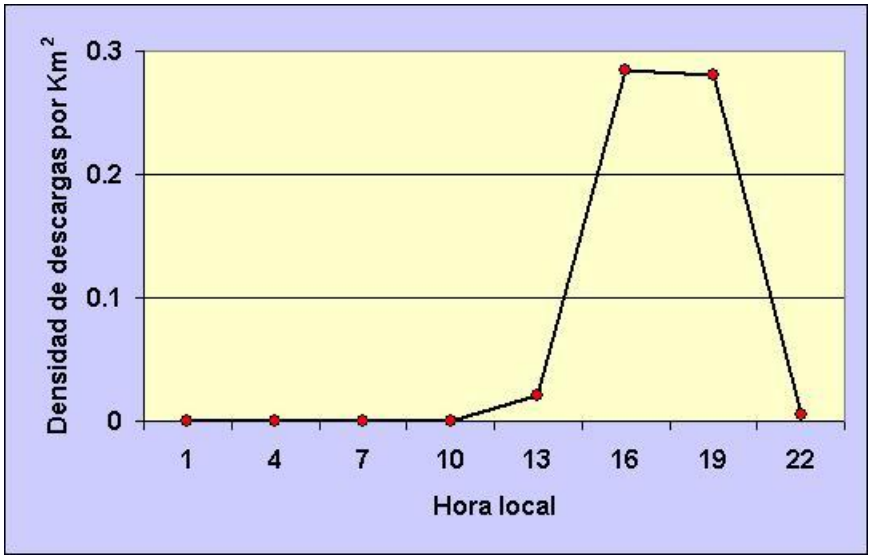



Figura 8. Marcha diaria de la densidad de descargas por $km^2$ promedio para todas las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

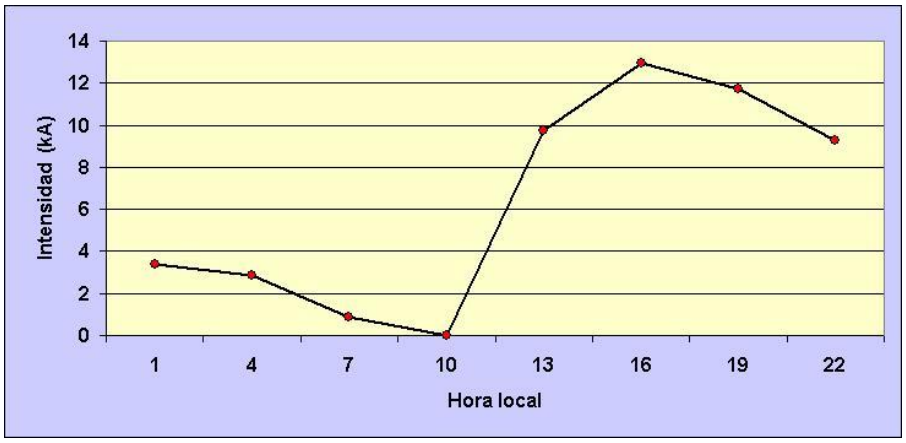



Figura 9. Marcha diaria de la intensidad promedio de las descargas para todas las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

Si se analiza la marcha diaria de la densidad de descargas para cada una de las estaciones se obtiene lo que se muestra en la figura 10 donde los gráficos se han dividido según los grupos definidos en la figura 2.

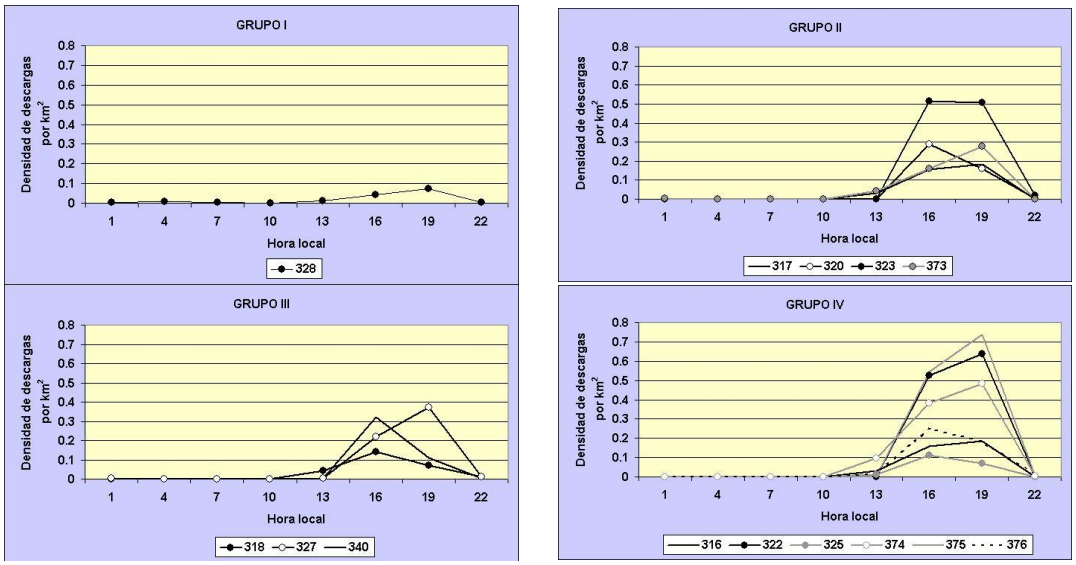



Figura 10. Marcha diaria de la densidad de descargas por km$^2$ promedio para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

Para todas las estaciones los máximos de densidad de descargas ocurren a las 16:00 o a las 19:00 hora local (figura 10) y las diferencias entre los grupos definidos en la figura 2 están dadas por valores más altos o más bajos de densidad de descargas. Así el Grupo I alcanza su valor máximo a las 19:00 hora local con el valor máximo más bajo de 0.07 descargas por km$^2$, el Grupo II con promedio de máximo de descargas de 0.52 descargas por km$^2$ alcanza el valor máximo a las 16:00 hora local en 3 de las 4 estaciones que lo integran y el Grupo III tiene un valor máximo promedio de 0.32 descargas por km$^2$ que es alcanzado por todas las estaciones a las 16:00 hora local. El Grupo IV presenta el valor más alto de promedio del máximo de descargas con 0.72 descargas por km$^2$ y a diferencia de los Grupos II y III la mayoría de las estaciones lo alcanza a las 19:00 hora local.
La marcha diaria de la intensidad de las descargas para cada una de las estaciones según los Grupos definidos en la figura 2 se muestra en la figura 11.
La estación de Varadero (78328) que constituye el Grupo I presenta el pico más alto de intensidad con alrededor de 40 kA y ocurrió a las 04:00 hora local, aunque mantiene valores promedio de 15 kA en horas de la tarde. El Grupo II presenta un máximo de 21 kA para la estación de Paso Real de San Diego (78317) y las horas de máxima ocurrencia para las estaciones que lo integran están entre las 16:00 y las 22:00 hora local. El grupo III presenta un valor máximo de intensidad muy parecido al del Grupo II con 22 kA para la estación de de Bainoa (78340), pero a diferencia de los otros grupos todas las estaciones que lo integran alcanzaron el máximo a las 13:00 hora local, aunque hay valores por encima de los 10 kA en horas de la tarde y la noche. El Grupo IV alcanzó un valor máximo de intensidad de 34 kA para la estación de Batabanó (78322) y los máximos para las estaciones que lo conforman están en las 16:00 y las 22:00 hora local aunque a las 16:00 los valores no son significativamente menores. Lo obtenido está sujeto a cierto sesgo debido a lo pocos días que constituyen el periodo de estudio, pero es la primera vez que se maneja el parámetro de intensidad de las descargas en Cuba. El comportamiento de la marcha diaria en la estación de Varadero (78328) que constituye el Grupo I podría estar relacionado con el carácter costero de la misma y que las tormentas en el mar ocurren generalmente en la noche y que dicha estación se encuentra ubicada en la península de Hicacos y en su radio de 12 km tiene la influencia de tormentas que afectan tanto en las aguas al norte (Estrecho de la Florida) y en la Bahía de Cárdenas. En un caso parecido está la estación de Batabanó (78322) que pertenece al Grupo IV y presenta un pico de 33 kA a las 22:00

hora local. Esta es una estación muy cercana a la costa sur de la Isla y que podría considerarse que presenta convección tardía.

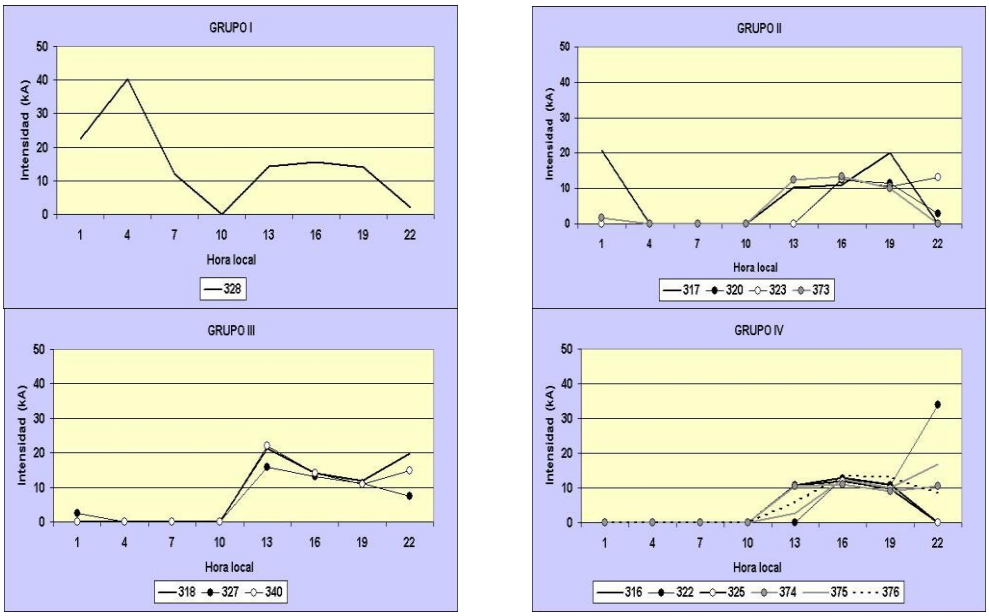



Figura 11. Marcha diaria de la intensidad media de descargas para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

Si comparamos las marchas diarias de los valores de densidad por km$^2$ máximo para todas las estaciones con los valores máximos de intensidad y se presentan estos valores normalizados se observa lo que muestra la figura 12.
Lo presentado en la figura 12 arroja que en los horarios de la madrugada, la mañana y la noche suele haber menos tormentas y las densidades son bajas, pero las descargas son más intensas, sin embargo en horas de la tarde donde la ocurrencia es máxima las intensidades son más bajas, aunque el periodo de estudio es corto para arribar a conclusiones al respecto de este comportamiento.

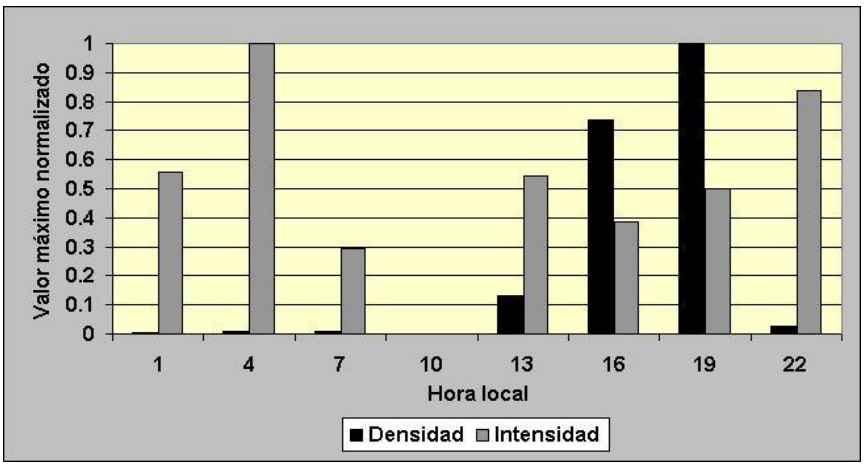



Figura 12. Comparación de las marchas diarias de los valores normalizados de densidad por km$^2$ máximo e intensidad máxima para todas las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

**Pruebas de veracidad**

Según la metodología explicada en la Tabla 3 se pueden conocer los valores de "Verdaderos Positivos" (VP), "Falsos Positivos" (FP), "Verdaderos Negativos" (VN) y "Falsos Negativos" (FN). Los valores de estos 4 indicadores para cada estación se recogen en la Tabla 4 y los porcientos de acierto se representan en la figura 13.

Tabla 4. Cantidad de casos de "Verdaderos Positivos" (VP), "Falsos Positivos" (FP), "Verdaderos Negativos" (VN) y "Falsos Negativos" (FN), según la clasificación convenida en la Tabla 3, para cada una de las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

| Estación | VP | FP | VN | FN | Estación | VP | FP | VN | FN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **78316** | 19 | 1 | 52 | 8 | **78327** | 19 | 3 | 43 | 15 |
| **78317** | 10 | 2 | 55 | 13 | **78328** | 3 | 10 | 63 | 4 |
| **78318** | 14 | 1 | 49 | 16 | **78340** | 17 | 0 | 47 | 16 |
| **78320** | 15 | 1 | 57 | 7 | **78373** | 17 | 2 | 56 | 5 |
| **78322** | 16 | 0 | 52 | 12 | **78374** | 16 | 0 | 53 | 11 |
| **78323** | 12 | 4 | 55 | 9 | **78375** | 17 | 1 | 51 | 11 |
| **78325** | 13 | 2 | 52 | 13 | **78376** | 15 | 2 | 51 | 12 |

| | VP | FP | VN | FN |
|---|---|---|---|---|
| **Total** | 203 | 29 | 736 | 152 |
| **Promedio** | 14.5 | 2.1 | 52.6 | 10.8 |
| **% del Total** | 18 | 2 | 66 | 14 |

Los indicadores con porcientos más altos del total de observaciones son los VN con un 66% y los VP con 18 lo cual es muy representativo dado que según la climatología (Álvarez-Escudero et al., 2020) el mes de agosto es uno de los de mayor ocurrencia para todas las estaciones cubanas. La estación con mayor número de casos de VN es Varadero (78328), al igual que la de menor número de casos de VP debido a que la ocurrencia de tormentas para esta estación es más baja que sus vecinas (ver figura 6). También Varadero presenta el número más alto de FP.

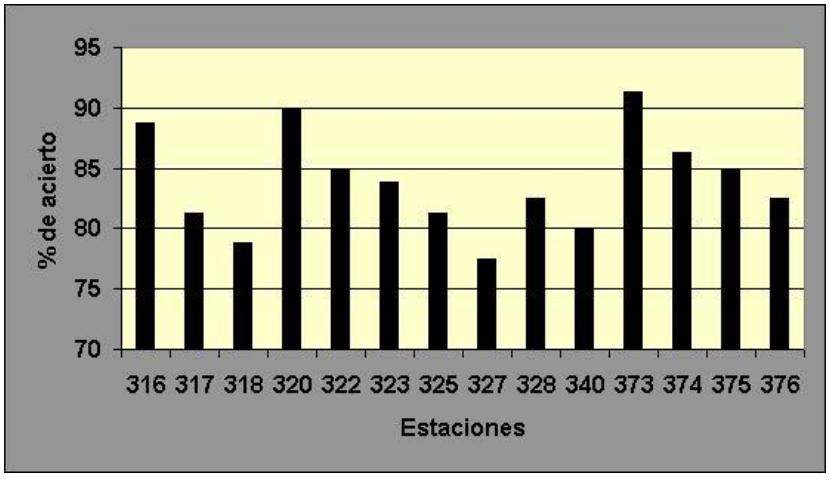



Figura 13. Porciento de aciertos calculado según la fórmula (1) para cada una de las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

El porciento de aciertos según se calcula en la fórmula (1) tiene un promedio para todas las estaciones de 84 y el mayor valor lo alcanza la estación de Santiago de la Vegas (78373) con un destacado 91.3%. El

valor más bajo de aciertos es para la estación Unión de Reyes (78327) con 77.5%, aunque la diferencia entre los valores de % de acierto no es marcada entre estaciones. Por debajo de la media están las estaciones 78317, 78318, 78325, 78327, 78328, 78340 y 78376, cinco de las cuales se encuentran cercanas a la costa norte del área de estudio donde la frecuencia de ocurrencia de tormentas tiende a ser más baja y crecer tierra adentro.

## 4. CONCLUSIONES

La variable que más discrimina la ocurrencia de tormentas de las estaciones en estudio es el código de estado de tiempo pasado y los diferentes grupos obtenidos no muestran un agrupamiento espacial definido.

Hay cuatro estaciones con valores altos de densidad de descargas que son: Batabanó (78322), Güines (78323), Tapaste (78374) y Melena del Sur (78375) donde es máximo con un valor de 0.58 descargas por $km^2$. Los valores más bajos se presentan en las estaciones de Bahía Honda (78318), Casablanca (78325) y Varadero (78328) donde es mínimo con solo 0.03 descargas por $km^2$.

Las intensidades registran los valores más altos en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA y el menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA.

Los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad de descargas por $km^2$, con máximos a las 16 y 19 hora local con alrededor de 0.2 descargas por $km^2$.

La intensidad promedio de las descargas aunque es máxima en la tarde y primeras horas de la noche también presenta valores apreciables en las primeras horas del día. El máximo absoluto para la marcha se alcanza a las 16 hora local.

El porciento de aciertos presenta un promedio para todas las estaciones de 84 y el mayor valor lo alcanza la estación de Santiago de la Vegas (78373) con 91.3% y el más bajo para la estación Unión de Reyes (78327) con 77.5%,

## REFERENCIAS

1. VALDERÁ N. & GARCÍA E. A. (Diciembre 2013). *Comportamiento de las muertes por fulguración ocurridas en Cuba durante el periodo 1987 – 2012* [Artículo]. Memorias del VII Congreso Cubano de Meteorología, La Habana Cuba. https://www.researchgate.net/328365232_Comportamiento_de_las_muertes_por_fulguracion_ocurridas_en_Cuba_durante_el_periodo_1987-2012.
2. OMM (Organización Meteorológica Mundial). (1956). *World distribution thunderstorm days*. WMO No. 21, TP 21.
3. CHANGNON, S. A. (1988). Climatography of Thunder Events in the Conterminous United States. Part II: Spatial Aspects. *Journal of Climate*, 1(4), 399–405. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2.
4. DAI, A. (2001). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1092–1111. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2.
5. DAI, A. (2001). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1112–1128. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2.
6. ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. R.; BURROWS, W. R; HOLLE, R. L. & CUMMINS K. L. (2002). The North American Lightning Detection Network (NALDN)-First Results: 1998-2000. *Monthly Weather Review*, 130, 2098-2109. https://doi.org/10.1175/2010MWR3452.1
7. VIRTS, K. S.; WALLACE, J. M.; HUTCHINS, M. L. & HOLZWORTH, R. H. (2013). Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology. *BAMS*, 15, 1381-1391. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00082.1.
8. CECIL, D.J.; BUECHLER, D.E. & BLAKESLEE, R.J. (2014). Gridded lightning climatology from TRMM - LIS and OTD: Dataset description. *Atmospheric Research*, 135 – 136, 404-414. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
9. ALBRECHT, R.; GOODMAN, S.; BUECHLER, D. BLAKESLEE, R. & CHRISTIAN, H. (2016). Where are the lightning hotspots on Earth?. *BAMS*, 97(11), 2051-2068. DOI:

10.1175/BAMS-D-14-00193.1

10. ALFONSO A. P. (1980). *Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud* (Informe Científico - Técnico No. 134). Instituto de Meteorología, Cuba. UDICT Instituto de Meteorología http://www.insmet.cu.
11. ALFONSO, A. P. & FLORIDO, A. (1993). *El clima de Matanzas*. Editorial Academia, La Habana.
12. LECHA, L. B.; PAZ, L. R. & LAPINEL, B. E. (eds.). (1994). *El Clima de Cuba*. Editorial Academia.
13. ÁLVAREZ, L. (2006). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. [Tesis doctoral inédita]. Instituto de Meteorología, Cuba.
14. ÁLVAREZ, L.; BORRAJERO, I. & ÁLVAREZ, R. (2009). Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, con tormentas con lluvias sobre la estación y días con tormentas para el territorio cubano. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1), 14-22. http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/121.
15. ÁLVAREZ, L.; BORRAJERO, I.; ÁLVAREZ, R.; AENLLE, L. & BÁRCENAS, M. (2012). Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1), 83-99. http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/49.
16. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L. & BORRAJERO-MONTEJO, I. (2018). Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente II. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1), 111-127. http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303.
17. GARCIA-SANTOS, Y. & ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., (2018). Climatología de las tormentas eléctricas determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(2), 201-215. http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426.
18. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L. & BORRAJERO-MONTEJO, I. (2020). Actualización del mapa de niveles ceráunicos de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(2). http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/508/840.
19. RAKOV A. A. & UMAN M. A. (2003). Thunder. En: Rakov A. A. & Uman M. A., *Lighning. Physics and Effects* (pp. 374-393). Cambridge University Press.
20. OMM (2011). *Manual de Claves*. Claves Internacionales. Volumen I.1, Parte A, Claves Alfanuméricas, OMM No. 306, Tabla 4678
21. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., BORRAJERO-MONTEJO, I. & ROJAS-DÍAZ, Y. (2021). Caracterización de la marcha diaria de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(1). http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/549/1034.

**Sobre los autores**

**Lourdes Álvarez Escudero** es Licenciada en Física, Doctora en Ciencias Meteorológicas, Investigador Titular del Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología y Profesora Titular del Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Además es Miembro del Grupo de Expertos del Programa Sectorial "Meteorología y Desarrollo Sostenible del País" Miembro del Comité Editorial de la Revista Cubana de Meteorología y Editor Asociado de la Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.

**Anisbel León Marcos** es Licenciada en Meteorología. Realizó su servicio social en el Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología. Actualmente cursa estudios de Maestría en el "Department Modelling of Atmospheric Processes. Leibniz Institute of Tropospheric Research". Alemania

**Adrián L. Ferrer Hernández** es Técnico de Nivel Superior del Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPUESTA DE SISTEMA PORTABLE DE MONITOREO Y DIAGNÓSTICO INDUSTRIAL

**Fidel Ernesto Hernández Montero[1], Mario Luis Ruiz Barrios[2], Diana Rosa Hernández Valdés[1], Osniel Alejandro García Orihuela[1], Samuel Casanova Calzadilla[1], Juan Carlos Sepúlveda Peña**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, calle 114 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [2]Instituto Superior de Diseño, Belascoain No. 710 entre Estrella y Maloja, Centro Habana, La Habana, Cuba
[1]e-mail: fhernandez@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En este trabajo se presenta una propuesta de sistema portable de monitoreo y diagnóstico industrial, el cual constituye un resultado recientemente obtenido en el marco de un proyecto asociado a programa nacional de ciencia y técnica.

A partir de la exposición de un conjunto de requerimientos técnicos generales a seguir, en este trabajo se presentan el Concepto básico propuesto, el cual está integrado por tres módulos, así como los elementos de diseño fundamentales, en particular, los concernientes al esquema eléctrico que se requirió implementar, los programas involucrados y el diseño industrial que hubo que proponer para uno de los módulos.

**PALABRAS CLAVES:** mantenimiento, diagnóstico, monitoreo, industria.

**PORTABLE SYSTEM FOR INDUSTRIAL MONITORING AND DIAGNOSTIC**

**ABSTRACT**

This paper presents a proposal for a portable industrial monitoring and diagnostic system, which is a result recently obtained within the framework of a project associated with a national science and technology program.

From the exposition of a set of general technical requirements to be followed, this work presents the basic concept proposed, which is integrated by three modules, as well as the fundamental design elements, in particular, those concerning the electrical scheme that had to be implemented, the programs involved and the industrial design that had to be proposed for one of the modules.

**KEY WORDS:** maintenance, diagnostics, monitoring, industry.

## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea en general y la disponibilidad de imprescindibles servicios y producciones de bienes de consumo, se encuentran íntimamente vinculadas con la disponibilidad energética, la cual, por el cada vez más agudo impacto del cambio climático y el cada vez más cercano agotamiento de los combustibles fósiles, requiere su uso más eficiente. En este contexto representa importancia trascendental el aseguramiento de elevados niveles de confiabilidad de la tecnología industrial instalada, ya no solo para el uso más eficiente de los portadores energéticos, sino también para el aumento de la productividad y la seguridad operacional, y la reducción del impacto ambiental. La estrategia más sintonizada con esta cuestión lo constituye el mantenimiento basado en la condición, para lo cual se requiere monitorear regularmente la condición de los sistemas para tomar decisiones en función de la desviación de su funcionamiento en relación con su comportamiento esperado; es una estrategia de mantenimiento predictivo.

Existen ejemplos de empresas cubanas donde se ha aplicado de manera limitada tecnología foránea moderna de monitoreo y diagnóstico, adquirida a precios apreciablemente elevados, que no se encuentra adaptada a las características propias del contexto industrial nacional. Por otro lado, también existen muchas empresas nacionales que no están utilizando la tecnología más actualizada. A este contexto se suma el hecho de que los fabricantes de los sistemas que se encuentran en uso en el país, por ejemplo, PRUFTECHNIK y SCHENK, o han sido asimilados por firmas estadounidenses, o han decidido no extender los vínculos con nuestro país, por tanto, se puede plantear categóricamente que los sistemas introducidos han perdido sus contactos con sus proveedores, sin poder acceder a los necesarios servicios de postventa, mantenimiento, entre otros.

Esta situación aleja aún más al país de la posibilidad de aprovechar los beneficios que la aplicación de esta tecnología brinda, sobre todo cuando esta tecnología se enfoca al paradigma de Industria 4.0, en cuyo caso no se alcanzaría la mayor integralidad en el desarrollo de soluciones con base en las necesidades del negocio [1].

En este contexto se viene desarrollando, con una proyección claramente en sintonía con el paradigma de Industria 4.0, tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial en Cuba, la cual incidiría favorablemente en los indicadores de eficiencia y productividad de la industria nacional cubana. De manera concreta, en el siguiente trabajo se aborda la propuesta consistente en un sistema portable de monitoreo y diagnóstico industrial, lo cual es uno de los resultados recientemente obtenidos en el marco del proyecto Desarrollo de Tecnología de Monitoreo y Diagnóstico Industrial, asociado al PNCTI Desarrollo Energético Integral y Sostenible.

## 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El sistema portable de monitoreo y diagnóstico se diseñó siguiendo determinados requerimientos técnicos básicos:

- Portabilidad, manuable.

  En general, se desarrolló un sistema en esquema portable, el cual, por su concepción constituye una alternativa más económica para lograr implementar el monitoreo y diagnóstico industrial de un modo más económico y adaptado a las características de la mayoría de las industrias de nuestro país.

- Semejanza en cuanto a forma de uso y funcionalidades con homólogos del mercado
  - Funciones básicas (preanálisis) en el dispositivo colector
  - Funciones más complejas en la computadora

  Este requerimiento es necesario por cuanto ya existe cierta experiencia en el empleo de sistemas similares adquiridos en mercados foráneos, y, por tanto, en algunas esferas se ha creado una cultura en el empleo de esta tecnología. El sistema diseñado pretende seguir el modo general de utilización de esta tecnología, en la modalidad concreta a desarrollar.

- Cierto grado de robustez

  Desde el diseño se ha previsto el logro de cierto grado robustez del sistema, motivado por el ambiente de explotación adverso al cual está expuesto.

## 3. MÓDULOS PRINCIPALES DEL SISTEMA. CONCEPTO

El sistema está compuesto esencialmente por 3 módulos principales, que se emplearán según esquema mostrado en la Fig. 1. Los módulos son los siguientes:

- Aditamento de fijación del teléfono móvil (interfaz Sensor de Aceleración – Teléfono Móvil)
- Teléfono Móvil
- Computadora

El Aditamento tendrá capacidad para conectar un sensor piezoeléctrico de aceleración y tendrá la función de digitalizar la señal y entregarla al teléfono para su procesamiento y registro. Este Aditamento, en conjunto con el Teléfono Móvil, constituyen el dispositivo portable colector y preanálisis de la vibración. En el Teléfono Móvil estará corriendo un programa que estará interactuando con el especialista y ejecutando algunas funciones útiles para esta etapa del proceso. Después de la campaña de registro y preanálisis, será posible descargar los datos en una base de datos en la Computadora. Un programa en la Computadora estará permitiendo la realización de un análisis más profundo de los datos con el propósito de diagnosticar la condición de los sistemas bajo supervisión.

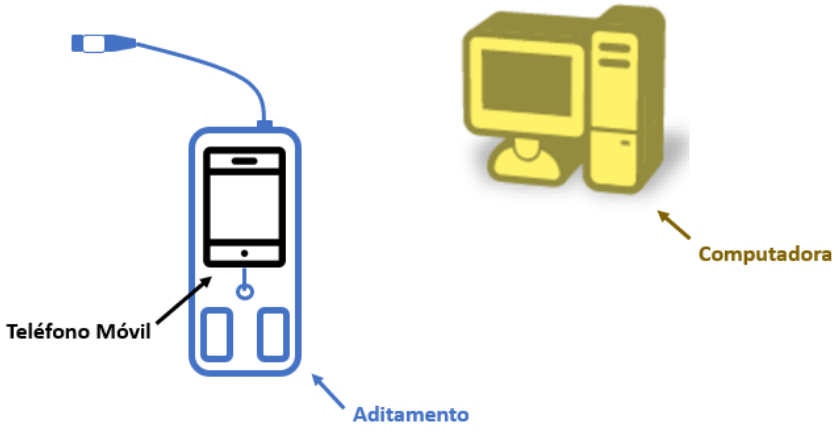



Figura 1: Módulos principales del sistema.

## 4. ELEMENTOS DE DISEÑO

Diferentes aspectos fueron abordados para llegar a una concepción de diseño lo más completa posible y que se encuentra actualmente ya en fase de construcción de prototipo.

### 4.1 Circuito Eléctrico del Aditamento

El esquema eléctrico del dispositivo portable de diagnóstico y monitoreo industrial está constituido por los siguientes componentes (ver Fig. 2):

- Acelerómetro piezoeléctrico, que es el encargado de transformar las vibraciones de la maquinaria a diagnosticar en impulsos eléctricos mediante el efecto piezoeléctrico.
- Conversor Analógico/Digital (A/D), el cual recibe la señal analógica proveniente del sensor piezoeléctrico mediante un cable coaxial, y tendría el encargo de digitalizar la señal analógica.
- Kit de Microcontrolador, el cual recibe la señal digital proveniente del Conversor A/D y la transmite al Teléfono Móvil a través de la interfaz USB.

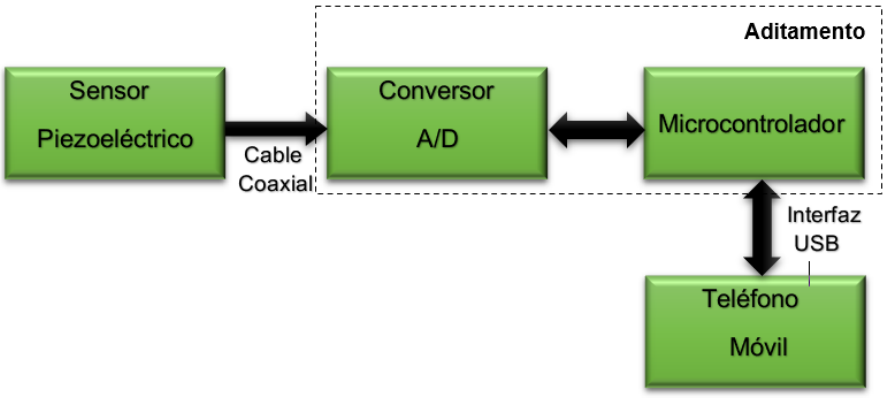



Figura 2: Componentes del esquema eléctrico del Aditamento.

### 4.2 Software/Funcionalidades

Se ha desarrollado un software con el objetivo de disponer de las diferentes funcionalidades previstas. De modo general, además de cuestiones propias de la disponibilidad de interacción con el usuario, estas funcionalidades fueron las siguientes:

- En el Teléfono Móvil:
  - Cálculo de valores globales (rms, peak, peak-to-peak).
  - Espectro (aceleración, velocidad, desplazamiento).
  - Gestión de la Ruta de Medición.

- En la Computadora:
  - Gestión de la Ruta de Medición.
  - Análisis de Tendencia.
  - Valores globales.
  - Establecimiento de niveles Normal, Alarma y Alerta.
  - Espectro.
  - Establecimiento de bandas de análisis.
  - Tendencia de los valores de las componentes de amplitud máxima en determinada banda.

Tanto en el Teléfono Móvil, como en la Computadora, los datos se almacenan en una base de dato, y para controlar el acceso a los datos se asignaron usuarios a roles de seguridad.
En la Fig. 3 se muestra un el diagrama de una de las actividades que corre en el Teléfono Móvil, mientras que en la Fig. 4 se muestra una de las ventanas que se visualizan, asociadas a esta actividad.

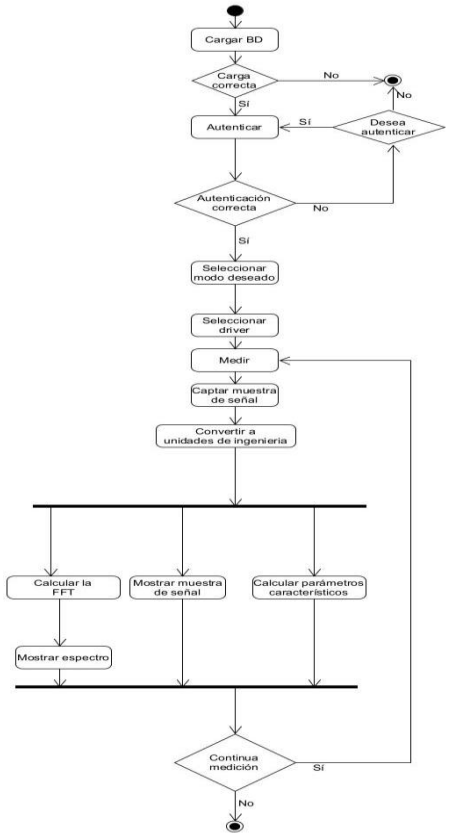



Figura 3: Diagrama de actividades del proceso de medición.

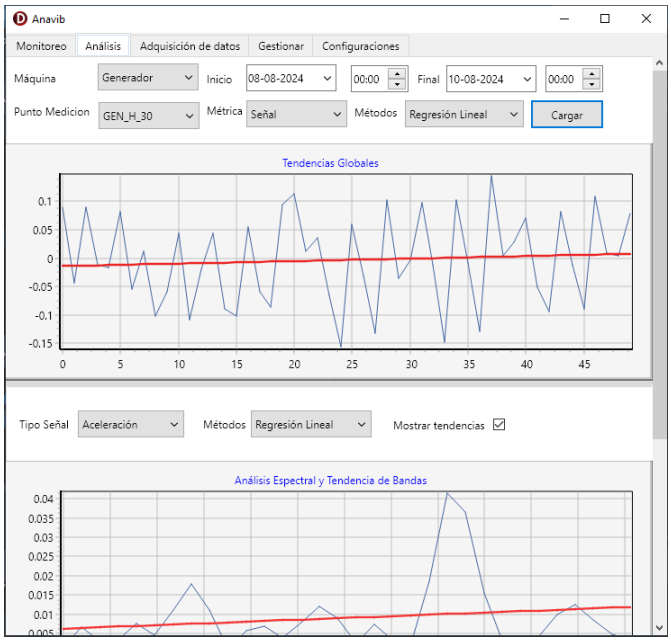



Figura 4: Ventana de muestra en tiempo de real de datos.

### 4.3 Diseño Industrial del Aditamento

El Aditamento presenta tiene las dimensiones 21.0 cm x 8.0 cm x 5.5 cm con la finalidad de alcanzar una adecuada convivencia con otras herramientas de trabajo en el cinturón del uniforme del especialista durante su traslado. En la zona trasera del Aditamento se concibió una cavidad con dimensiones superiores a la anterior para almacenar el cable coaxial y el sensor mientras no se requiera su utilización.

En la Fig. 5 se muestran algunas imágenes del diseño realizado.



Figura 5: Imágenes del diseño industrial realizado.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una propuesta de desarrollo de sistema portable de monitoreo y diagnóstico industrial, que ya se encuentra en construcción.

Esta propuesta constituye una de las vertientes que se viene abordando en lo relativo al desarrollo de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial en Cuba. Desde su concepción, el sistema se presenta como una alternativa más económica para lograr implementar el monitoreo y diagnóstico industrial más adaptado a las características de la mayoría de las industrias de nuestro país, para lo cual se siguió el modo general de utilización de esta tecnología, en la modalidad concreta a desarrollar. Al mismo tiempo se previó cierto grado robustez del sistema, motivado por el ambiente de explotación adverso al cual estaría expuesto.

El sistema está compuesto por varios módulos, y se espera que el concepto plasmado pueda generar tiempos de construcción, y, por tanto, de puesta en marcha, muy cortos. La línea de diseño industrial concebida sigue tendencias internacionales y está en sintonía con las características funcionales y de uso del dispositivo.

**RECONOCIMIENTOS**

Esta investigación contó con el financiamiento de OGFPI, referencia PN211LH005-037.

**REFERENCIAS**

1. HERNÁNDEZ MONTERO, Fidel Ernesto; ANÍAS CALDERÓN, Caridad; RUIZ BARRIOS, Mario Luis. "El camino hacia la implementación del mantenimiento predictivo 4.0 en Cuba". *Ingeniería Industrial*, 2024, 44(3), 1–12.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR MULTIFLUJO CON DEVANADOS HOMÓLOGOS.

**Elías Valentín de la Rosa Masdueño[1], Julio Rafael Gómez Sarduy[2]**

[1]Universidad de Camagüey, Laboratorio Especializado Para la Electroenergética., Circunvalación Norte, Camagüey, Cuba, [2]Centro De Estudios De Energía Y Medio Ambiente, Carretera a Rodas, Cuatro Camino, Cienfuegos, Cuba
[1]elias.delarosa56@gmail.com

**RESUMEN**
En este trabajo se realizó la investigación experimental de un motor de inducción multiflujo de doce terminales. En el mismo se compararon las características de los índices energéticos obtenidas para distintas conexiones posibles sin cambiar el número de polos, mediante el método de segregación de pérdidas conforme a la norma NC/IEC 60034-2: 2007 vigente en Cuba y por el circuito equivalente conforme con la norma IEC 60034-28: 2007. Las características de eficiencia y factor de potencia determinadas experimentalmente se compararon entre sí para establecer su concordancia utilizando estadística no paramétrica. Los resultados obtenidos, se presentan en forma de gráficos y tablas para las conexiones posibles, las que pueden aplicarse cuando se presentan ciclos de trabajo con períodos de muy baja carga con el propósito de mejorar los índices energéticos en particular la eficiencia y el factor de potencia en este período.

**PALABRAS CLAVES:** características de funcionamiento, motor asincrónico, devanado multiflujo.

**MULTIFLUX MOTOR PERFORMANCE CHARACTERISTICS WHITH HOMOLOGOUS WINDINGS.**

**ABSTRACT**
In this work was done an experimental investigation of a twelve terminal multiflux winding induction motor. It is compared the energy indexes characteristics acquired from experiments by the loss-segregation method using the NC/IEC 60034-2:2007 and the equivalent circuit method by the IEC 60034-28: 2007. The efficiency and power factor characteristics determined from experiments are compared between themselves to establish concordance using nonparametric statistics.
The results are presented in graphs and tables for the possible connections, which can be applied when there are duty cycles with low-load periods with the purpose of improving energy indexes, particularly efficiency and power factor

**KEY WORDS:** Characteristics, induction motor, multiflux winding.

## 1. INTRODUCCION.

En la industria los motores de inducción forman parte importante de los ciclos productivos. Se emplean motores para accionar cargas tales como compresores, centrífugas, transportadores de tornillo, esteras transportadoras y elevadores. Existen momentos del ciclo productivo en que los motores trabajan con bajo factor carga debido a la presencia de cargas intermitentes de régimen S6 [1]. Durante estos instantes de baja carga, por exigencias tecnológicas, no se pueden apagar los motores para ahorrar energía.

Los motores con bajo factor de carga mantienen el consumo de potencia reactiva debido a que no varía significativamente con la carga. También se mantiene el consumo de las pérdidas rotacionales, que consisten de las pérdidas de hierro y las mecánicas. Pero debido a que entrega muy baja potencia de salida útil, empeora la eficiencia así como el factor de potencia. También provoca caídas de tensión debido a la circulación de la potencia reactiva en las líneas; y aumenta las pérdidas en las líneas y los transformadores.

Recientemente ha despertado un gran interés y popularidad la reconexión de los devanados de los motores de inducción en los períodos de baja carga. La reconexión es una solución barata, se puede hacer de forma simple, y además logra los resultados deseados. [2], [3], [4]

La utilización de la reconexión de los devanados presenta grandes ventajas para el mejoramiento de la eficiencia de los motores con baja carga ya que no introduce armónicos de tensión y corriente en el sistema, el costo de equipamiento es bajo y el sistema de control es simple y barato. La única desventaja es que necesita motores con los terminales necesarios accesibles. Esta desventaja no existe en los motores de seis y nueve terminales que son comunes en la industria y actualmente se fabrican también con doce terminales. [5], [6], [7].

Algunos autores han sugerido la utilización de conexiones no ortodoxas que mezclan conexiones en estrella y delta con ángulos de desfasaje. Sin embargo, estas propuestas han sido con el uso de devanados no homólogos o sea con diferente número de espiras. [8], [9], [10].

En este trabajo tiene como objetivo determinar de forma experimental las características de funcionamiento, en particular las de eficiencia y factor de potencia para motores de hasta doce terminales con devanados homólogos, determinando los mejores candidatos para diferentes factores de carga.

## 2. DESARROLLO

La regulación adecuada de la tensión de devanados de estator equivalente al flujo magnético, resulta en el mejoramiento de la eficiencia tanto como el factor de potencia de los motores en períodos de baja carga.
La reconexión logra la regulación directa de la tensión de operación para que operen a menor tensión que el nominal. Esto es posible siempre que se tengan accesibles los terminales de los devanados necesarios para el cambio de conexión deseado. Por ejemplo, se necesitan seis terminales para el cambio delta a estrella. En el caso de las reconexiones doble estrella a delta serie se necesitan nueve o doce terminales.

Se pueden utilizar numerosas formas de reconexiones que hacen posible la operación de los devanados. Cada posible conexión corresponde a un nivel de flujo magnético y de tensión. Este concepto logra el mejoramiento de eficiencia y factor de potencia del motor en un rango amplio de carga y tensión.

El cambio de tensión por fase se logra reconectando los devanados en serie o en paralelo, en delta o en estrella y también en conexiones no ortodoxas en las cuales se conectan secciones de los devanados de distintas fases obteniéndose como resultado la suma vectorial de los fasores y que pueden clasificarse según un sistema basado en las agujas del reloj semejante a los grupos de conexión de transformadores y que dan tensiones nominales distintas de los cambios delta-estrella o paralelo-serie.

En la Figura 1 se muestran las conexiones delta serie. Además de las mostradas también pueden realizarse otros grupos de conexión como 2, 10 o 5, 7, etc. que son equivalentes a las presentadas o equivalen a la conexión delta paralelo pero no se utilizaron ya que su efecto es contrario al deseado pues reduce la tensión al mismo valor, pero con la resistencia del devanado mayor lo que incrementa las pérdidas de cobre. El grupo 6 resulta en la anulación del flujo. Tampoco se pueden realizar conexiones donde una mitad del devanado tiene una secuencia de fases negativa y la otra positiva ya que produce un flujo total pulsante al igual que la máquina monofásica.

También es posible utilizar conexiones mixtas Y-Δ interna, sin embargo, las conexiones Δ-Y interna necesitan que los devanados tengan diferente número de espiras en la sección Δ con respecto a la Y [9].

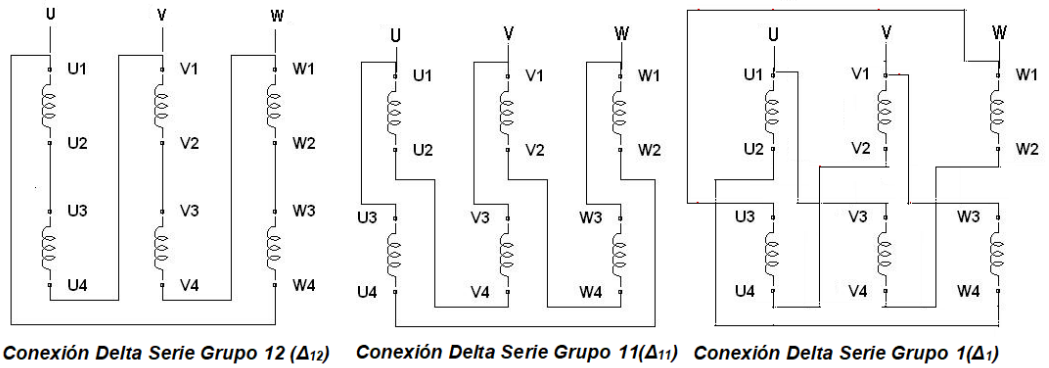



Figura 1. Conexiones delta serie.

Las conexiones analizadas son para el caso particular en que el número de polos permanece constante, si se realizan cambios en el número de polos, entonces se pueden realizar otras conexiones, pero no serán objeto de este trabajo. La Tabla 1 muestra las conexiones posibles de ser utilizadas y la reducción de la tensión durante los períodos de baja carga ordenadas por su reducción de tensión con respecto a la conexión original Δ o Y. Las conexiones para 6 o 9 terminales pueden realizarse también en los de 12 terminales sin embargo el cambio Δ a Y no es posible en motor de 9 terminales.

Tabla1. Formas de reconexión de los devanados

| Conexión Normal | Conexión con baja carga | Factor de Disminución de la tensión ($K_V$) | Relación de corriente nominal ($I_{baja}/I_n$) | Relación de incremento de la resistencia ($K_R$) |
|---|---|---|---|---|
| Motores de 6 y 12 terminales | | | | |
| Δ | Y | 0.58 | 0.58 | 3 |
| Motores de 9 y 12 terminales | | | | |
| YY | $Yserie_{12}$ | 0.50 | 0.50 | 4 |
| ΔΔ | $\Delta serie_{12}$ | 0.50 | 0.50 | 4 |
| Motores de 12 terminales | | | | |
| ΔΔ | YY | 0.58 | 0.58 | 3 |
| ΔΔ | $\Delta serie_{11}$ | 0.58 | 0.58 | 4 |
| ΔΔ | $\Delta serie_{1}$ | 0.58 | 0.58 | 4 |
| ΔΔ | $Y\Delta_{12}$ | 0.38 | 0.29 | 8 |
| ΔΔ | $Y\Delta_{11}$ | 0.38 | 0.29 | 8 |
| ΔΔ | $Yserie_{11}$ | 0.33 | 0.29 | 12 |
| ΔΔ | $Yserie_{1}$ | 0.33 | 0.29 | 12 |
| ΔΔ | Yserie12 | 0.29 | 0.29 | 12 |
| YY | $\Delta serie_{11}$ | 1 | 1 | 1.33 |
| YY | $\Delta serie_{1}$ | 1 | 1 | 1.33 |
| YY | $\Delta serie_{12}$ | 0.87 | 0.87 | 1.33 |
| YY | $Y\Delta_{11}$ | 0.65 | 0.50 | 2.67 |
| YY | $Y\Delta_{12}$ | 0.65 | 0.50 | 2.67 |
| YY | $Yserie_{1}$ | 0.58 | 0.5 | 4 |
| YY | $Yserie_{11}$ | 0.58 | 0.5 | 4 |
| YY | $Yserie_{12}$ | 0.50 | 0.50 | 4 |

Obsérvese que el cambio de las conexiones YY a Δserie11 y Δserie1 no producen ninguna reducción de tensión e incrementan la resistencia del devanado por lo que no resultan útiles. Si la conexión inicial es ΔΔ se pueden obtener cinco niveles de reducción de la tensión y si es YY se pueden tener cuatro niveles

Para el estudio de las características del motor multiflujo se toman los dos índices energéticos fundamentales, que son la eficiencia y el factor de potencia. Se utilizó un motor de doce terminales, el que trabaja en condiciones nominales en conexión doble delta. De esta manera se pueden comprobar todas las conexiones posibles para reducir el flujo.

Se determinaron las características de eficiencia y factor de potencia sometiendo el motor a carga real con un dinamómetro de polvo magnético, además se realizaron los ensayos en vacío, rotor trancado y medición de resistencia del estator. Esto permitió la obtención de las características reales mediante el método de segregación de pérdidas de acuerdo a la norma NC-IEC 60034-2: 2007[11] vigente en Cuba [12].

También se determinó el circuito equivalente de acuerdo a la norma IEC 60034-28:2012 [13]. Este modelo está corregido para las condiciones de saturación y el efecto superficial.

Primeramente, se obtuvieron todas las características para la conexión doble delta, comparándose los resultados obtenidos por el método de segregación de pérdidas y el circuito equivalente. Luego se repitió el proceso para el resto de las conexiones posibles.

Con los puntos experimentales obtenidos, se realizó un ajuste de curvas utilizando el software profesional Curve Expert1.3©. La función para ajustar la eficiencia tiene la forma que aparece en la expresión (1) donde $P_2$ es la potencia de salida y a, b, c son los factores constantes para el ajuste [14].

$$\eta = \frac{bP_2}{aP_2^2 + bP_2 + c} \qquad (1)$$

Para el factor de potencia se utilizó un polinomio de segundo orden en el caso de las conexiones doble delta y doble estrella ya que existía poca alinealidad, pero se ajustó a un polinomio de cuarto orden en el resto de las conexiones, para tener en cuenta la creciente alinealidad con la reducción de la tensión de fase.

En todos los casos anteriores se determinaron el índice de correlación y la desviación estándar, para comprobar la validez del ajuste de la curva realizado.

Para la realización de los experimentos se utilizó un motor asincrónico de jaula de ardilla cuyos datos de placa se muestran Tabla 2 y que su conexión base es en 220V.

Tabla 2. Datos de placa del motor.

| $P_n$ | $N_n$ | $Cos\Phi_n$ | Motor Inducción J/A |
|---|---|---|---|
| 1.1 kW | 1720 rpm | 0,82 | 3 fases |
| Conexión | $U_N$ | $I_N$ | Modelo GK 72410 |
| ΔΔ | 220 | 4,43 | Frecuencia 60Hz |
| YY | 380 | 2,56 | IP55 |
| Δ | 440 | 2,22 | Aislamiento F |
| Y | 760 | 1,28 | Temp. máx. amb 40°C |

El motor se sometió a los ensayos de medición de resistencia de los devanados del estator (Rcd), ensayo en carga, ensayo en vacío con separación de pérdidas mecánicas y ensayo de rotor trancado a frecuencia reducida variable.

Con los ensayos se determinaron los parámetros del circuito equivalente T que aparece en la Tabla 3 [11]. Donde $R_1$ es la resistencia por fase de estator, $R_2$ la resistencia por fase del rotor referida, $X_1$ y $X_2$ las reactancia de dispersión por fase, $R_m$ la resistencia equivalente de pérdidas de hierro y $X_m$ la reactancia de magnetización.

Tabla 3. Parámetros del circuito equivalente T para cada conexión.

| Conexión | $R_1$ Ω | $R_2$ Ω | $X_1=X_2$ Ω | $R_m$ Ω | $X_m$ Ω |
|---|---|---|---|---|---|
| ΔΔ | 2.28 | 0.5 | 3.3 | 2.63 | 37.2 |
| YY | 6.84 | 1.55 | 9.2 | 7.64 | 149 |
| $\Delta_{12}$ | 9.12 | 1.82 | 12.0 | 11.3 | 195 |
| $Y_{12}$ | 27.4 | 5.25 | 40.2 | 29.4 | 545 |
| $Y\Delta_{12}$ | 18.2 | 3.65 | 23.7 | 27.3 | 352 |
| $Y\Delta_{11}$ | 18.2 | 3.62 | 23.2 | 24.8 | 342 |
| $\Delta_1$ | 9.12 | 2.07 | 11.5 | 14.8 | 152 |
| $\Delta_{11}$ | 9.12 | 1.9 | 11.5 | 14.2 | 149 |
| $Y_1$ | 27.4 | 5.4 | 35.6 | 41.1 | 443 |
| $Y_{11}$ | 27.4 | 5.6 | 37.5 | 39.4 | 432 |

Para validar las características determinadas por el método del circuito equivalente se realizó una comparación entre este método y el método por la segregación de las pérdidas. Esta validación se realizó por la vía de tres pruebas no paramétricas.

La primera es una prueba de correlación la cual determina si existe una alta correlación entre los puntos de los dos métodos. Se observa en la Tabla 4 que para las características de eficiencia y el factor de potencia los dos métodos están altamente correlacionados para todas las conexiones con el menor valor de $R^2$ 0.91268.

Tabla 4. Comparación de las características de eficiencia y factor de potencia por los métodos de segregación y circuito equivalente experimental - índices de correlación

| Conexión | Característica de Eficiencia (η) | | Característica de Factor de Potencia (cosΦ) | |
|---|---|---|---|---|
| | $R^2$ | S | $R^2$ | S |
| ΔΔ | 0.99956 | 0.00356 | 0.99976 | 0.00487 |
| YY | 0.99982 | 0.00417 | 0.99888 | 0.01278 |
| $\Delta_{12}$ | 0.99986 | 0.00423 | 0.99998 | 0.00259 |
| $Y_{12}$ | 0.99918 | 0.01240 | 0.99974 | 0.00572 |
| $Y\Delta_{12}$ | 0.99946 | 0.00727 | 0.99994 | 0.00309 |
| $Y\Delta_{11}$ | 0.99786 | 0.01307 | 0.99826 | 0.01297 |
| $\Delta_1$ | 0.99424 | 0.02078 | 0.99678 | 0.01532 |
| $\Delta_{11}$ | 0.99842 | 0.01106 | 0.99167 | 0.02580 |
| $Y_1$ | 0.99890 | 0.00896 | 0.99850 | 0.00936 |
| $Y_{11}$ | 0.99922 | 0.00760 | 0.99936 | 0.00553 |

La segunda prueba es una prueba de Mann-Whitney (W). Esta prueba se ejecuta la comparación entre las medianas de las dos muestras. Por último se realizó una prueba de Kolmogórov-Smirnof (K-S).

Tabla 4. Comparación de las características de eficiencia y factor de potencia por los métodos de segregación y circuito equivalente experimental- pruebas de Mann-Whitney (w) y Kolmogórov-Smirnof (K-S)

| Conexión | Característica de Eficiencia (η) | | Característica de Factor de Potencia (cosΦ) | |
|---|---|---|---|---|
| | Factor de probabilidad por prueba de Whitney ($p_W$) | Factor de probabilidad por prueba K-S ($p_{K\text{-}S}$) | Factor de probabilidad por prueba de Whitney ($p_W$) | Factor de probabilidad por prueba K-S ($p_{K\text{-}S}$) |
| ΔΔ | 0.716973 | 0.648726 | 0.809039 | 1 |
| YY | 0.489054 | 0.194032 | 0.988762 | 0.958596 |
| Δ12 | 0.200154 | 0.0887268 | 0.551982 | 0.304308 |
| Y12 | 0.909717 | 0.988261 | 0.212293 | 0.405454 |
| YΔ12 | 0.326661 | 0.0571317 | 0.812428 | 0.999887 |
| YΔ11 | 0.214662 | 0.0688894 | 0.978094 | 0.995166 |
| Δ1 | 0.372019 | 0.815272 | 0.967629 | 0.99965 |
| Δ11 | 0.466841 | 0.477004 | 0.712382 | 0.28211 |
| Y1 | 0.619672 | 0.301227 | 0.599229 | 0.301227 |
| Y11 | 0.976704 | 0.793737 | 0.520686 | 0.301227 |

Dado que los factores de probabilidad de ambas pruebas (pW o pK-S) son mayores o iguales a 0.05, se puede concluir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las dos medianas o las dos distribuciones para un nivel de confianza de 95%. En la Figura 2 se pueden observar las características de eficiencia y factor de potencia para la conexión YY, apreciándose la coincidencia de las curvas trazadas por ambos métodos.

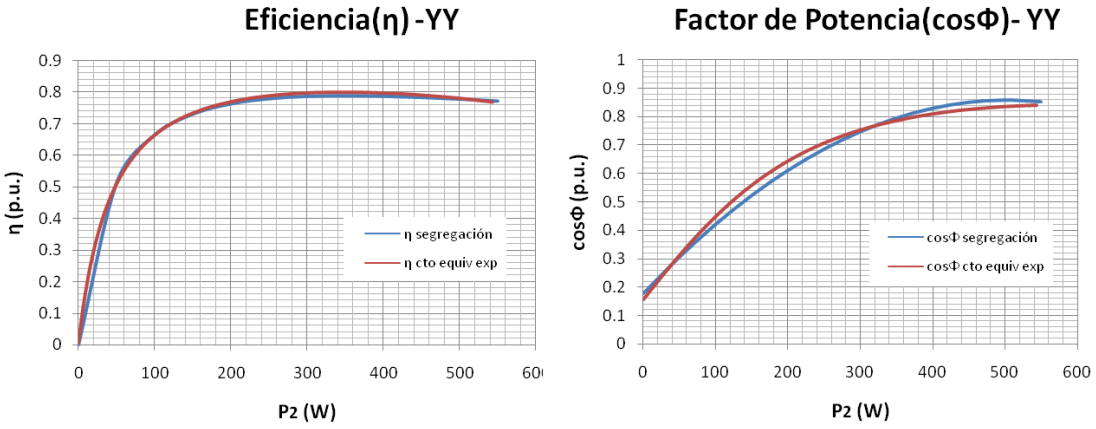



Figura 2. Características para conexiones YY.

En las Figuras 3 y 4 se muestran una comparación de las características de factor de potencia y eficiencia por el método de segregación de pérdidas para todas las conexiones ensayadas. En las mismas se observa que al cambiar la conexión para cargas muy bajas se mejoran considerablemente los índices energéticos.

La conexión $\Delta_1$ aunque reduce la tensión en la misma proporción que la conexión YY, no es recomendable porque tanto su eficiencia como el factor de potencia son menores debido al incremento de la resistencia del devanado en el 33% con respecto a la conexión YY.

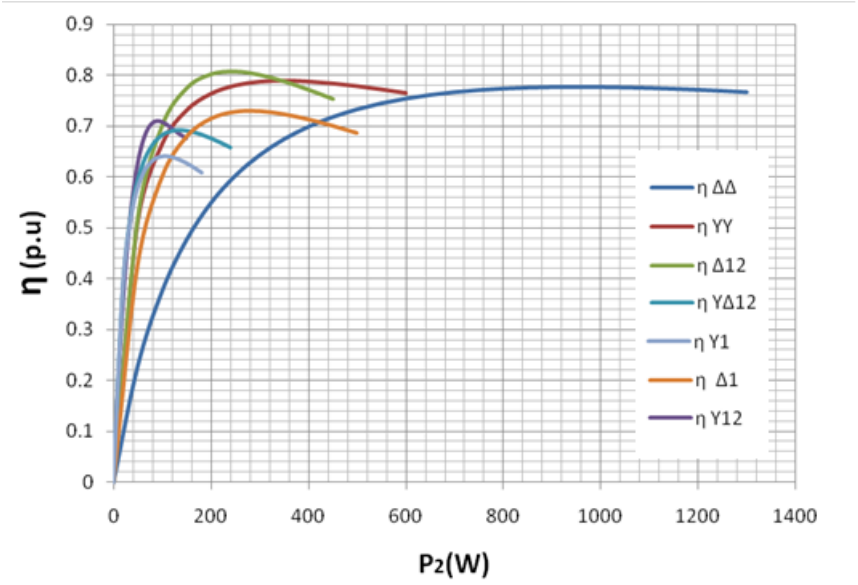



Figura 3. Comparación de las características de eficiencia para cada conexión.

También se puede observar que el mejoramiento del factor de potencia puede ser más importante que el mejoramiento de la eficiencia, ya que se reduce de forma muy significativa el consumo de potencia reactiva para la misma carga servida.

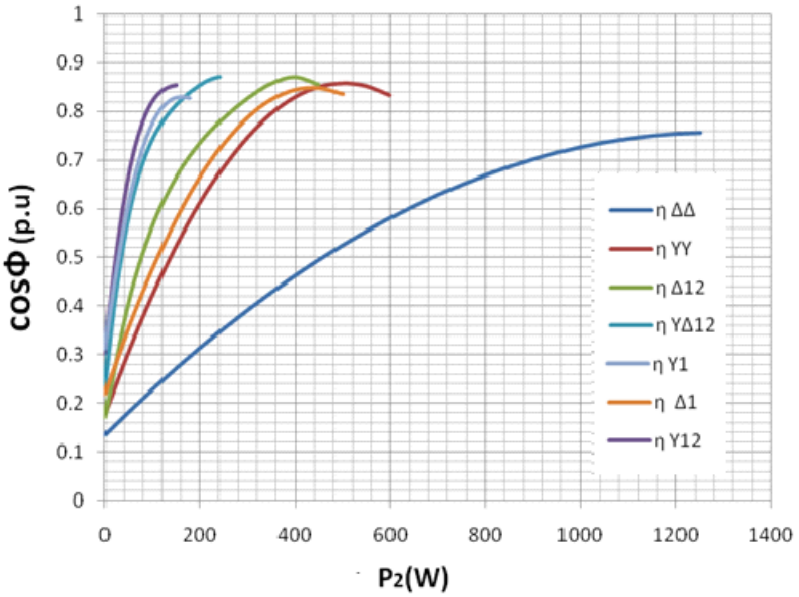



Figura 4. Características de factor de potencia para cada conexión.

Se corrobora que cambiando adecuadamente la conexión, se puede lograr un motor que trabaje para distintos factores de carga a valores de eficiencia y factor de potencia semejantes al nominal cuando trabaja con baja carga.

En la Figura 5 aparecen las características de un motor de 105kW, cuatro polos [15], que acciona un compresor y durante los períodos de baja carga su factor de carga se reduce al 11%. Al ser conmutado a la conexión estrella su eficiencia mejora en un 5% pero su factor de potencia se incrementa en el 42.5% lo que representa un ahorro de 0.65kW y 36.2kVAr respectivamente. Esta disminución muy significativa del consumo de potencia reactiva puede tener un impacto en la eficiencia y capacidad del sistema significativo si se tienen en cuenta la reducción de las pérdidas en líneas y transformadores; y el pago de penalizaciones por bajo factor de potencia.

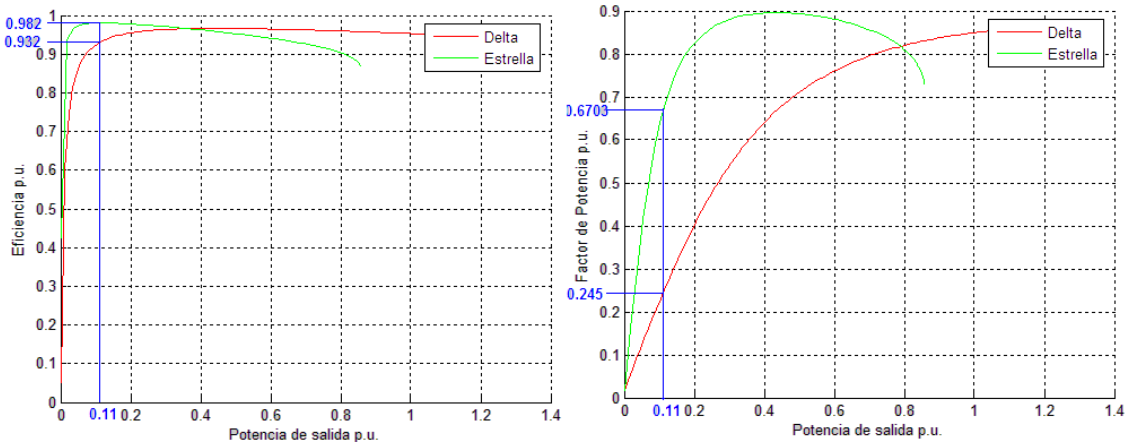



Figura 5. Eficiencia y factor de potencia para delta y estrella de un motor de 105kW, 4 polos. [15]

## 3. CONCLUSIONES

Tanto la desviación estándar como el índice de correlación indican que el ajuste realizado a las curvas características es válido. La incertidumbre estándar de las características obtenidas experimentalmente se corresponde con la norma IEC 60034-1:2022. La comparación entre los resultados obtenidos por el método de segregación de pérdidas y por el circuito equivalente mediante métodos estadísticos, validan las características obtenidas.
La reconexión de los devanados es un método efectivo y económico para el mejoramiento de los parámetros energéticos del motor de inducción que trabaja intermitentemente con baja carga. Del estudio de las características del motor multiflujo para diferentes conexiones se observa un mejoramiento significativo de los índices energéticos cuando se disminuye el flujo para baja carga. La disminución del consumo de energía reactiva puede ser tan importante como el mejoramiento de la eficiencia.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Empresa Tauba Holmotor SURL por su cooperación en la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. IEC**.** *Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance. IEC 60034-1:2022.* Geneva, Swizerland : IEC, 2022. 9782832240144.
2. J. Alberto, F. J. T. E. FERREIRA and A. T. DE ALMEIDA, "Experimental Analysis of Three-Phase Induction Motors with Multiflux, Dual-Winding Configurations," IECON 2019 - 45th Annual Conference

of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 1046-1051, doi: 10.1109/IECON.2019.8926694.
3. Saiganesh, S.. (2024). Automatic Star Delta Starter with an Arduino and Relays for Three Phase Induction Motor. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 12. 183-188. 10.22214/ijraset.2024.58292.
4. Ferreira, Fernando & Maia, Pedro. (2017). Technical and Economic Benefits of Integrating a Smart Electronic Star-Delta Commutator Inside the Terminal Box of "Ex d" Line-Operated Three-Phase Induction Motors.
5. WEG. Baja Tensión Catálogo de Motores AMERICA LATINA - 60Hz. *https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h43/h40/WEG-motores-lineas-de-productos-mercado-latinoamericano-50019658-brochure-spanish-web.pdf.* [En línea] [ref de: 17 de agosto de 2024.]
6. ABB. Catalogo Baja tensión. Motores de aplicación general.. [En línea] 2019. [ref de: 16 de agosto de 2024.] Disponible en WEB: *https://grupogaes.com/wp-content/uploads/2021/01/ABB_Motores_Aplicacion_General_2019_red.pdf*
7. Siemens. Catalogo Simotics Version 2.0.. [En línea] 2020. [ref de: 17 de agosto de 2024.] Disponible en WEB: *https://www.academia.edu/38712470/CATALOGO_SIMOTICS*
8. F. J. T. E. FERREIRA, M. V. CISTELECAN and A. T. de ALMEIDA, "Comparison of Different Tapped Windings for Flux Adjustment in Induction Motors," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 29, no. 2, pp. 375-391, June 2014, doi: 10.1109/TEC.2013.2296300.
9. F. J. T. E. FERREIRA, "Novel Multiflux, Three-Phase, Dual-Winding Configurations," 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Alexandroupoli, Greece, 2018, pp. 2511-2518, doi: 10.1109/ICELMACH.2018.8507066.
10. Zhang Y., "Induction Motor with Adjustable Windings for High Efficiency Drive in Light Load Operation," Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 9, no. 2. The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 508–513, 01-Mar-2014.
11. IEC-NC. Maquinas Eléctricas Rotativas: Métodos para la determinación de las pérdidas y el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción). NC-IEC 60034-2A (2007). (3ra ed.). Comité Estatal de Normalización, La Habana 2007.
12. Oficina Nacional de Normalización. Catálogo de normas cubanas [en línea], La Habana, [referencia de 28 de agosto de 2024]. Disponible en WEB: https://nconline.disaic.cu/index.php?page=m_search_norms.public.search_norms&Block=Cat%E1logo.
13. IEC. Rotating Electrical Machines- IEC Standard Test methods for determining quantities of equivalent circuit diagrams for three-phase low-voltage cage induction motors. IEC 60034-28, (2012).
14 Kostic, Miloje. (2010). Analysis of Induction Motor Efficiency Class Change at Partial Load. Facta universitatis - series: Electronics and Energetics. 23. 10.2298/FUEE1003333K.
15. Barrios, M., de la Rosa, E., "Ahorro Energético en Compresores Accionados por Motores Asincrónicos por Medio de la Reconexión Delta-Estrella", I Congreso Cubano de Ingeniería Eléctrica, La Habana, Diciembre 2008. CD ROM ISBN 978-959-261-281-5.

**Sobre los autores**

Elías Valentín de la Rosa Masdueño: https://orcid.org/0009-0008-8116-5080. Ingeniero electricista, Master en Ingeniería eléctrica y Profesor auxiliar. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte, Camaguey, Cuba. Miembro de la UNAICC, ATAC y Cubasolar. IEEE Senior Member.

Julio Rafael Gómez Sarduy: https://orcid.org /0000-0003-3313-6572. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez: Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba. Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas y Profesor Titular. Centro de Estudios en Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos Miembro de la UNAICC y Cubasolar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ACTUALIZACIÓN DE LAS MARCHAS ANUAL, DIARIA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS EN CUBA

**Lourdes Álvarez Escudero[1], Israel Borrajero Montejo[1], Yanneyis Rojas Díaz[1], Pedro Roura Pérez[1], Yunisleydi Rodríguez Díaz[1]**

[1] Instituto de Meteorología
Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba
e-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

**RESUMEN**

La caracterización del comportamiento de las tormentas eléctricas es un aspecto fundamental en la evaluación del nivel de riesgo y vulnerabilidad en un país o región. El objetivo del presente trabajo es actualizar los mapas de distribución espacial y el estudio de las marchas anual y diaria de ocurrencia de tormentas y días con tormenta para el periodo de información (2005 – 2019) a partir de la información del código de estado de tiempo presente y pasado obtenido de las estaciones meteorológicas de Cuba. La distribución espacial varió muy poco con respecto a estudios anteriores donde las series de análisis terminaban en 2016 y solo se acentuaron un poco los mínimos de actividad. Los máximos de ocurrencia se encontraron al sur de Pinar del Río, centro de las provincias Mayabeque y Matanzas, centro de Ciego de Ávila y regiones montañosas de la región oriental del país. La marcha anual muestra máximos en los meses de verano con máximo absoluto en agosto. La marcha diaria muestra mayor actividad en los horarios de la tarde con máximo entre las 16:00 y las 18:00 hora local.

**PALABRAS CLAVES:** tormenta eléctrica, marcha anual, marcha diaria, distribución espacial.

## UPDATE OF ANNUAL AND DAILY CYCLES, AND SPATIAL DISTRIBUTION OF THUNDERSTORMS IN CUBA

**ABSTRACT**

The characterization of the behavior of thunderstorms is a fundamental aspect in the evaluation of the level of risk and vulnerability in a country or region. The objective of the present work is to update the maps of spatial distribution and the study of the annual and daily cycles of occurrence of storms and number of days with storms for the period 2005 - 2019, for which weather information code reports are available, present and past, obtained from weather stations in Cuba. The spatial distribution varied very little with respect to previous studies where the series of analyzes ended in 2016 and only the minima of activity were slightly accentuated. The maximum occurrences were found south of Pinar del Río, center of the Mayabeque and Matanzas provinces, center of Ciego de Ávila and mountainous regions of the eastern region of the country. The annual cycle shows maxima in the summer months with an absolute maximum in August. The daily cycle shows more activity in the afternoon with a maximum between 16:00 and 18:00 local time.

**KEY WORDS:** thunderstorm, annual course, daily course, spatial distribution.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Cuba la fulguración constituye la primera causa de muerte por fenómeno natural y en varias zonas del país pueden producirse hasta 150 días con tormenta al año como promedio. Los estudios que caracterizan, tanto su marcha diaria como la marcha anual presentan especial interés para planificar actividades al aire libre o activar sistemas de protección donde se necesita un conocimiento sobre qué hora u horas del día, o meses del año, son aquellos en que las tormentas son más frecuentes. Asimismo la realización de mapas de distribución espacial de tormentas es materia de amplio estudio a nivel mundial, por la necesidad de elaborar, a partir de esta información, sistemas de protección contra descargas eléctricas.

Tradicionalmente se han usado los registros dados por las estaciones meteorológicas ([1], [2], [3], [4]), pero con la creación y desarrollo de nuevas tecnologías se imponen las climatologías realizadas con la información de dispositivos detectores de tormentas y con datos de satélites ([5], [6], [7], [8]). En Cuba, sin embargo no se cuenta con series largas de este tipo de información, por lo que los estudios de ocurrencia de tormentas se realizan a partir de los códigos de estado de tiempo presente y pasado reportados desde las estaciones meteorológicas de superficie.

Respecto a la marcha anual de las tormentas, el antecedente más abarcador en Cuba es el realizado por Lecha y colaboradores [9] donde se presentan distribuciones espaciales de las tormentas para algunos meses y por estaciones. En 2006, Álvarez [10], realizó un estudio de la marcha anual a partir de información de tiempo presente que arrojó que las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas día a día, presentan máximos en los meses de verano y su marcha se diferencia entre las estaciones de la región occidental donde son unimodales y la región oriental donde son bimodales, muy parecidas a la marcha anual de los acumulados de precipitación. Ese estudio fue actualizado con resultados similares para series más largas de código de estado de tiempo presente ([11], [12]). A partir de 2018 se realizaron nuevos estudios con series más completas que tenían en cuenta las observaciones de tiempo presente y tiempo pasado ([13], [14]) y donde se reforzó el criterio de la mayoría de ocurrencia de tormentas en verano con máximo en julio.

Los estudios primarios de marcha diaria fueron realizados para localidades específicas del país ([15], [16], [9]). En estudios posteriores usando primero observaciones de código de estado de tiempo presente ([10], [17], [18]) y posteriormente de tiempo presente y pasado ([13], [19]) se caracterizó a las tormentas como un fenómeno fundamentalmente vespertino con máximos de ocurrencia entre las 16:00 y las 19:00 hora local.

Los primeros estudios sobre distribución espacial de las tormentas fueron realizados para regiones específicas como Matanzas y la Isla de la Juventud ([15], [16]). En 1994 [9]como parte del estudio del Clima de Cuba se presentó el primer mapa de número promedio anual de días con tormentas para todo el país elaborado a partir de 10 años de reportes de tormentas de alrededor de 60 estaciones meteorológicas. Este estudio arrojó máximos de ocurrencia en zonas montañosas e interiores llanas, con un máximo absoluto en la estación de Pinares de Mayarí con más de 140 días y mínimos de actividad en las regiones costeras con valores inferiores a 40 días con tormentas. La primera distribución espacial de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta, se realizó utilizando 25 años como promedio de registros de código de estado de tiempo presente reportado por las 68 estaciones meteorológicas activas en ese momento en el país ([10], [20]). Allí se obtuvieron distribuciones semejantes a las obtenidas por Lecha y colaboradores [9], pero se destacaba una zona de máxima actividad en la llanura Habana – Matanzas con 130 días promedio anual y como salida del estudio se tenía una rejilla con resolución de 4 kms, de valores interpolados de las variables asociadas a tormentas, sobre el territorio nacional. Después de estos trabajos primarios se han realizado dos actualizaciones del mapa de niveles ceráunicos ([21], [22]) cambiando el periodo base y los métodos de interpolación para construir una rejilla regular de puntos de alta resolución a partir de los valores promedios en las estaciones. Todos estos trabajos se realizaron teniendo en cuenta el código de tiempo presente debido a que los registros estaban incompletos. Al asumir periodos más recientes, se pudo llegar a un compromiso entre la información faltante y el uso del estado del tiempo pasado para caracterizar las tormentas; así García-Santos y Álvarez Escudero [13], lograron representar una nueva distribución teniendo en cuenta tiempo presente y pasado para las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. La última actualización fue la publicada por Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo[23] donde se obtuvo que la inclusión de los registros de código de tiempo pasado había provocado un crecimiento del 4% para la ocurrencia de observaciones con tormenta, de 40 días para el nivel ceráunico y 7 para la desviación estándar con respecto a estudios anteriores, aunque la distribución en general era parecida con algunos cambios en puntos específicos.

El objetivo del presente trabajo es actualizar los mapas de distribución espacial y el estudio de las marchas anual y diaria de ocurrencia de tormentas y días con tormenta para el periodo 2005 – 2019 a partir de la información del código de estado de tiempo presente y pasado obtenido de las estaciones meteorológicas de Cuba.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La base de información para el presente estudio la constituyen los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para 68 estaciones meteorológicas del territorio cubano, en el periodo 2005 – 2019 (15 años), que es el periodo con información más completa para ambos códigos, donde no hay sesgos ni mensuales ni horarios y las series son más actuales [14]. Los datos fueron tomados de la Base de Datos "Nueva_THOR" [21] a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2011 – 2019, obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del INSMET. A estos registros agregados se le realizaron las debidas validaciones para lograr la uniformidad en la información. La distribución espacial de las estaciones meteorológicas se refleja en la figura 1.

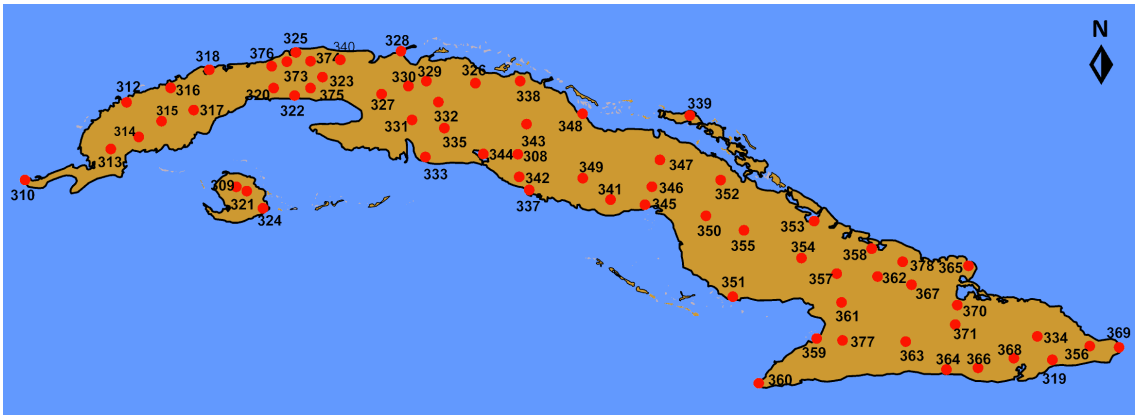



Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio.

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del tiempo presente según la Tabla 4678, sobre "Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal", del Manual de Claves [24] se seleccionaron los siguientes códigos: 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refieren a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o con anterioridad, mientras que para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del código de estado de tiempo pasado se tomó según la Tabla correspondiente del Manual de Claves [24], donde solo se tendrá en cuenta el código "9", que identifica la tormenta pero no la cualifica.

En el caso de las marchas diarias y anuales de frecuencia de observaciones con tormenta y de días con tormenta en el año, además de obtener el comportamiento medio, se hicieron agrupamientos de estaciones meteorológicas mediante análisis de cluster, lo que permite revelar detalles del comportamiento de estaciones o grupos de estaciones que pueden quedar enmascarados en las marchas dadas por valores medios.

En el caso del estudio de la marcha anual las variables para trabajar fueron el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas obtenido al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas o realizadas y expresarlo en por ciento y el número de días con tormenta que se contabiliza cuando al menos hubo una observación con tormenta en el día.

Para el análisis de la marcha anual de las tormentas por estaciones se realizaron los siguientes pasos:

a) Se calculó el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas por meses a partir de los registros de tiempo presente y pasado.

b) Se calculó el número de días con tormenta por meses para cada estación y se dividió por el número de años del periodo 2005 – 2019 (15 años) para calcular un promedio.

c) Como la mayor diferencia entre los valores por meses y estaciones está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno, se calculó por meses y para cada estación el por ciento de ocurrencia y el número promedio de días con tormenta normalizada, lo que permitió analizar la marcha más por su forma que por la ocurrencia o no del fenómeno.

d) A partir del por ciento de ocurrencia o número de días por meses para cada una de las 68 estaciones en estudio, se realizó un análisis de cluster jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma que considera a las estaciones como variables y a los meses como individuos. Aquí se utilizaron distancias euclidianas y método de enlace simple para identificar agrupamientos por meses en el comportamiento de la marcha anual. Posteriormente se realizó otro análisis de cluster tomando los valores mensuales como variables y las estaciones como individuos y también se usaron distancias euclidianas, pero como método

de enlace el de varianza mínima o de Ward que es muy robusto para encontrar asociaciones entre grupos y que permitió una mayor definición de las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogió de forma tal que la espacio entre elementos de un mismo grupo sea menor que el que existe entre grupos o clusters.
e) Se graficaron las marchas anuales promedio por cada grupo para establecer sus diferencias.
f) A partir de los grupos de estaciones meteorológicas obtenidos se buscó alguna regionalización de los comportamientos anuales mediante su representación en un mapa.
Para el análisis de la marcha diaria de las tormentas por estaciones se realizaron los siguientes pasos:
a) Se calculó el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas por horas del día a partir de los registros de tiempo presente y pasado. Para evaluar el aporte del tiempo pasado se realizó el análisis de dos formas, primero asociando los por cientos a las horas de observación trihorarias establecidas y segundo poniendo en horas distintas el aporte del tiempo presente y el tiempo pasado, donde este último se asociaba a las 02, 05, 08, 11, 14, 17, 20 y 23 hora local.
b) Como la mayor diferencia entre los valores por horas y estaciones está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno, se calculó por horas y para cada estación el por ciento de ocurrencia normalizada, lo que permitió analizar la marcha más por su forma que por la ocurrencia o no del fenómeno.
d) Se realizó un análisis de cluster similar al utilizado para la marcha anual, pero donde se consideraron primero a las estaciones como variables y a los horarios como individuos y posteriormente se realizó tomando los valores horarios como variables y las estaciones como individuos.
e) Se graficaron las marchas diarias promedio por cada grupo para establecer sus diferencias.
f) A partir de los grupos de estaciones obtenidos se buscó alguna regionalización de los comportamientos horarios mediante su representación en un mapa.
Para el estudio de la distribución espacial las variables de trabajo fueron el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas, el número de días con tormenta o nivel ceráunico y la desviación estándar del número promedio anual de días con tormenta.
Las variables en estudio se representaron como mapas de isolíneas, siguiendo el método de interpolación dado por Álvarez y colaboradores [21], con los cambios y adaptaciones sugeridos por Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo [22], manteniendo como las bases de los campos de referencia el relieve del terreno y la distancia a la costa con una resolución de 30 segundos de grado (0.92 km) y usando los datos de la base GEBCO [25].
A partir de los valores de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas y número promedio anual de días con tormentas en las estaciones se obtuvieron los mapas de estas dos variables en una rejilla que abarca todo el territorio cubano (entre 19.8 y 23.2° de latitud norte y 74.1 y 84.9 de longitud oeste) y un mapa de desviación estándar con respecto a la media para la misma rejilla. Las representaciones se realizaron para una carta base a escala de 1:250000 que abarca todo el Territorio Nacional y que se redujo según el formato de impresión.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Marcha anual

El por ciento de ocurrencia promedio mensual de observaciones con tormenta para todas las estaciones en estudio se muestra en la figura 2. Aquí se observa que los mayores valores cercanos al 20% del total de observaciones se agrupan en los meses de junio a septiembre con el máximo en agosto. Los meses de mayo y octubre muestran valores intermedios (alrededor del 10%) y de enero a abril, noviembre y diciembre los valores son bajos con un mínimo absoluto en enero (0.5%). Un estudio anterior realizado por Álvarez-Escudero y colaboradores [14] para todas las estaciones del país en el periodo 2005 – 2016, muestra valores de ocurrencia más altos, con el máximo en septiembre. La diferencia se corresponde con la disminución de los reportes que presentan los 3 últimos años incluidos en este estudio.
El análisis de cluster en que se utilizan las estaciones como variables y los meses como individuos (figura 3) muestra una marcada división en 2 grupos que representan los meses de máxima ocurrencia (mayo – octubre) y los meses de baja ocurrencia (noviembre – abril). En el estudio anterior [14], con datos hasta 2016, los meses de mayo y octubre formaban un tercer grupo muy bien definido, como meses de transición, en este caso forman un subgrupo menos separado, dentro de los meses de valores altos.
Cuando se usan los valores mensuales como variables y las estaciones como individuos se obtiene lo que refleja la figura 4. Esta figura muestra dos grupos bien definidos para una distancia de enlace de 3.0,

mucho mayor que la distancia entre elementos del mismo grupo. Los valores promedio normalizados por cada grupo de por ciento de observaciones con tormenta se muestran en la figura 5. A diferencia de lo obtenido por [10], [11], [12], [14], el contraste entre grupos no se basa aquí en el carácter unimodal o bimodal de la marcha (donde se ve un decrecimiento relativo en los meses de julio y agosto), sino que el Grupo I presenta valores similares entre junio y agosto con un máximo absoluto en septiembre y meses de transición (mayo y octubre) con por cientos altos de ocurrencia y el Grupo II presenta máximos similares de ocurrencia en julio y agosto y por cientos más bajos en los meses de transición. Esta diferencia podría deberse a que el periodo de estudio es distinto en todas las investigaciones realizadas, además hay un aporte significativo en el conteo de tormentas dado por las observaciones de tiempo pasado y que para el periodo 1989 – 2010 se había constatado un crecimiento significativo de la ocurrencia de tormentas clasificadas por el código de tiempo presente para más del 50 % de las estaciones en estudio [26].

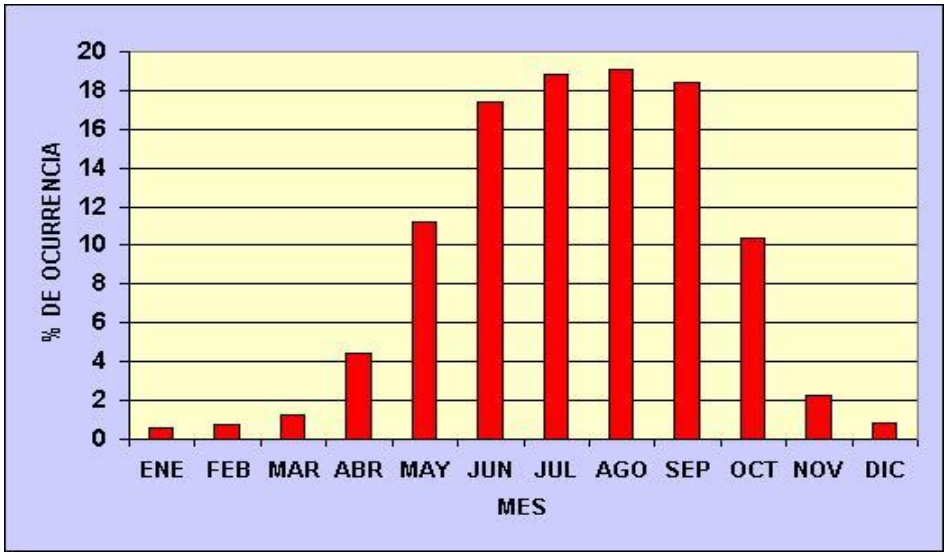



Figura 2. Marcha anual promedio para todas las estaciones en estudio del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta caracterizadas por código de tiempo presente y pasado, con periodo de análisis 2005 – 2019.

La distribución espacial de los grupos definidos en el análisis de cluster (figura 6) muestran un agrupamiento bastante definido donde las estaciones que pertenecen al Grupo I se localizan en su mayoría en la parte oriental del país desde la provincia de Ciego de Ávila y las que integran el Grupo II son generalidad en las regiones occidental, oeste de la parte central y el Municipio Especial Isla de la Juventud.

La marcha anual del número promedio de días con tormenta se representa en la figura 7 y su forma es muy parecida a la del Grupo II del dendrograma reflejado en la figura 4 (ver forma de la marcha en la figura 5) con máximo de días por encima de 20 y máximo absoluto en julio y agosto con 24 días. Los meses de transición presentan valores altos con 15 días y el mínimo está en los meses de diciembre, enero y febrero con solo un día.

El análisis de cluster realizado de la misma forma que lo hecho para el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta arroja dos grupos (figura 8), uno de 23 estaciones (Grupo I) con mayor número de días entre junio y septiembre y máximo absoluto en julio (ver figura 9) y otro con las restantes estaciones (Grupo II) que también presenta mayor cantidad de días con tormenta entre junio y septiembre pero con máximo absoluto en agosto y donde los meses de transición presentan altos valores de días promedio.

La distribución espacial de las estaciones pertenecientes a cada grupo se muestran en la figura 10 y refleja que las estaciones del Grupo I, que son minoría, se encuentran en el occidente, específicamente al norte de Pinar del Río, La Habana, Artemisa, Mayabeque y el oeste de Matanzas, mientras que las del grupo II se extienden desde Matanzas hasta el extremo oriental del país.

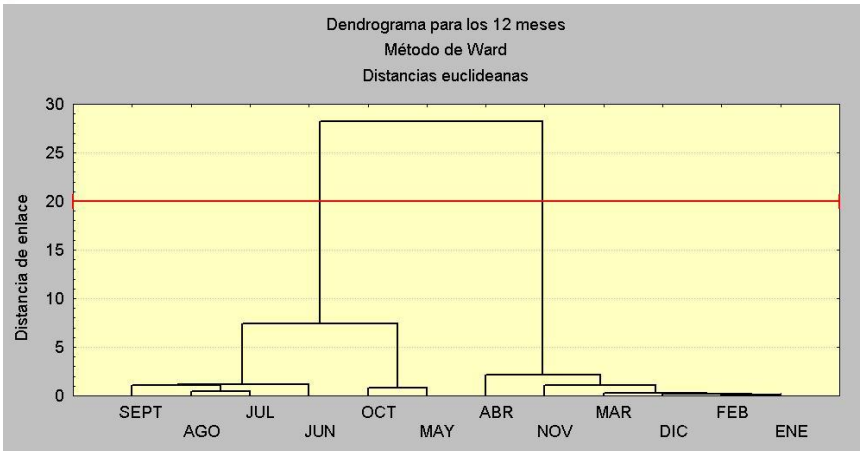



Figura 3. Dendrograma para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas mensuales en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos los meses y como variables las 68 estaciones en estudio.

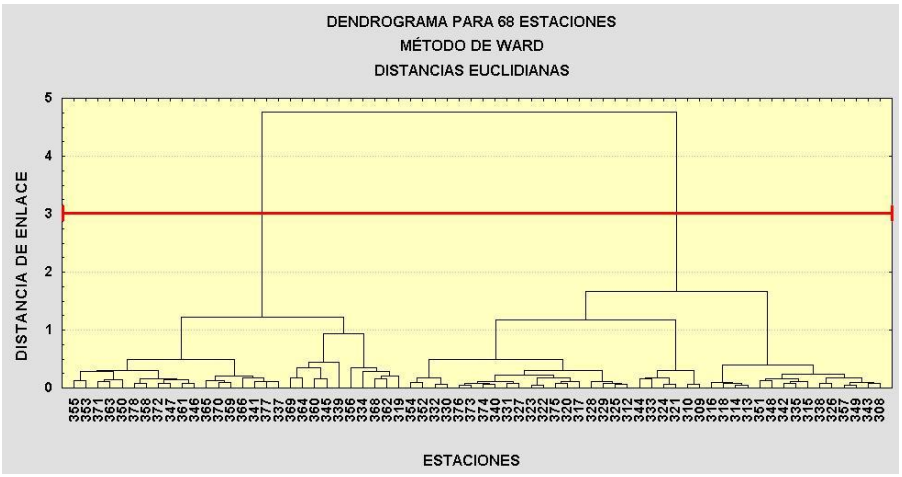



Figura 4. Dendrograma del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos las 68 estaciones en estudio y como variables los valores mensuales.

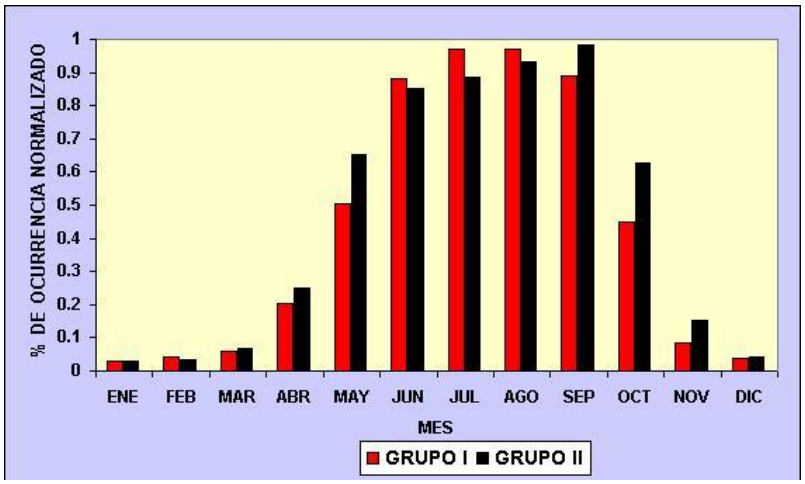



Figura 5. Marcha anual de los valores promedio normalizados por cada grupo definido por el análisis de cluster de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para el periodo 2005 – 2019.

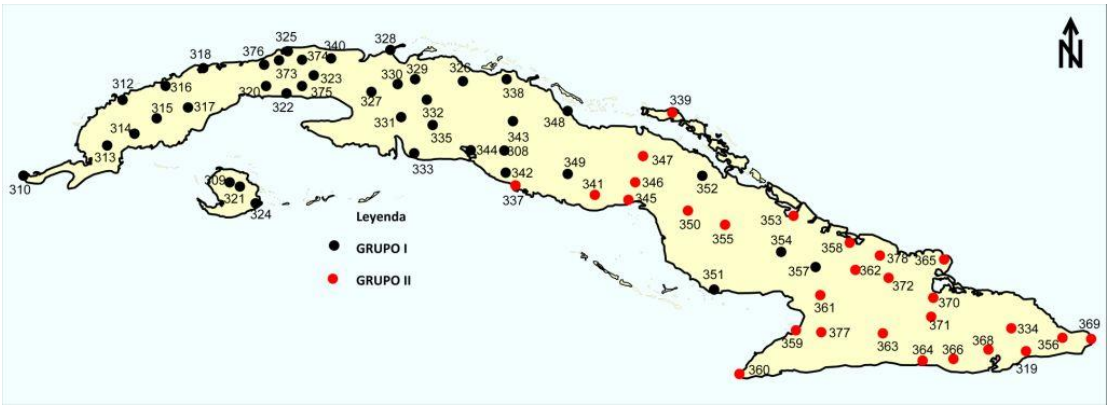



Figura 6. Distribución espacial de las estaciones pertenecientes a los grupos definidos en el análisis de cluster representado en la figura 4.

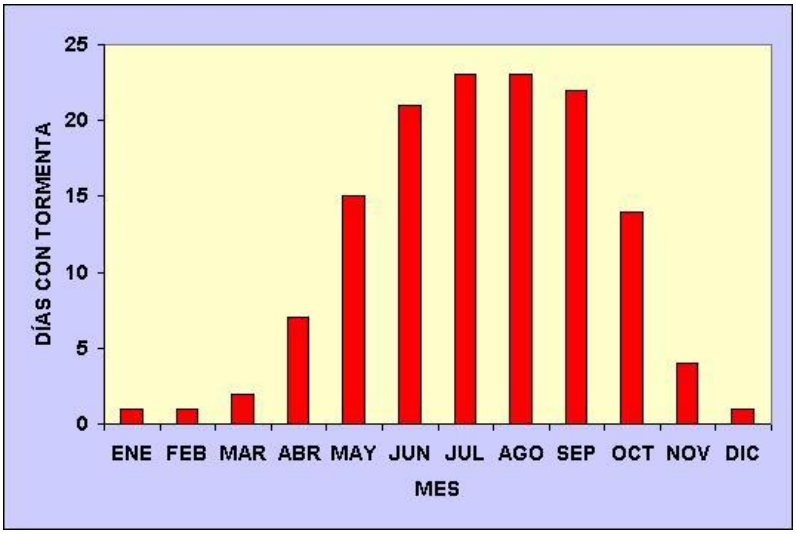



Figura 7. Marcha anual del número promedio de días con tormenta, caracterizadas por código de tiempo presente y pasado, promedio para todas las estaciones en estudio con periodo de análisis 2005 – 2019.

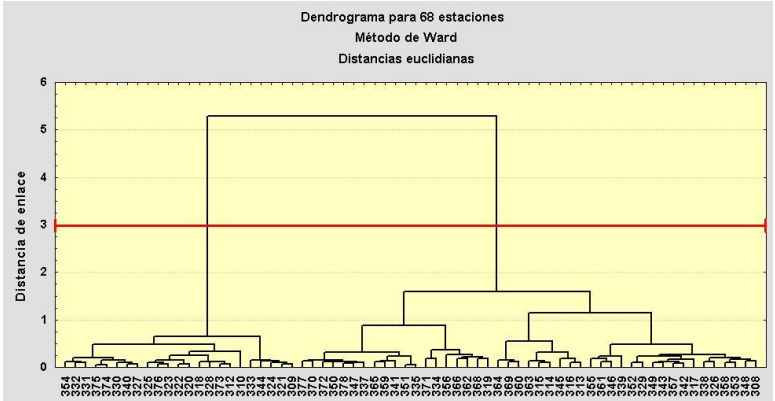



Figura 8. Dendrograma del número de días con tormenta, en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos las 68 estaciones en estudio y como variables los valores mensuales.

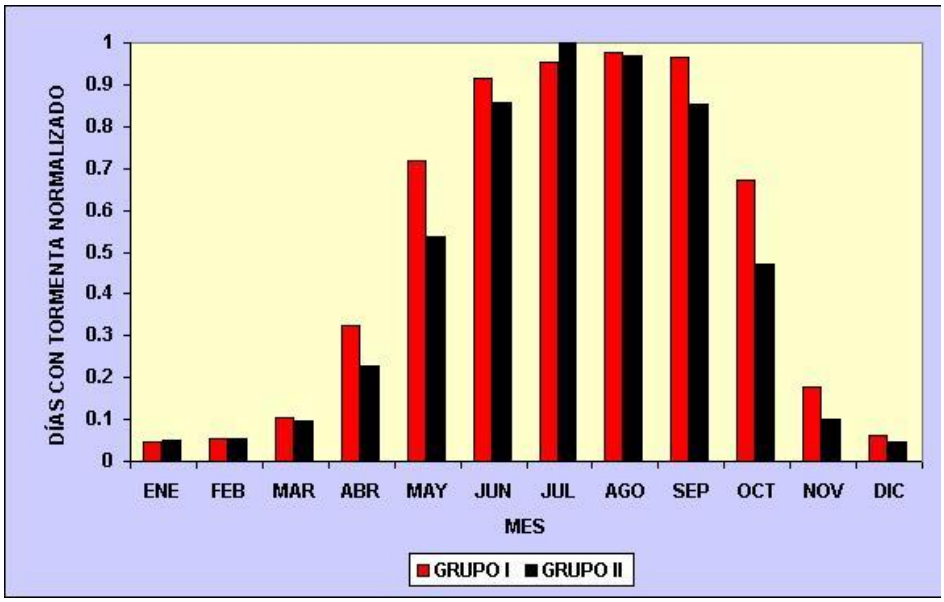



Figura 9. Marcha anual de los valores promedio normalizados por cada grupo definido por el análisis de cluster de número promedio de días con tormenta para el periodo 2005 – 2019.

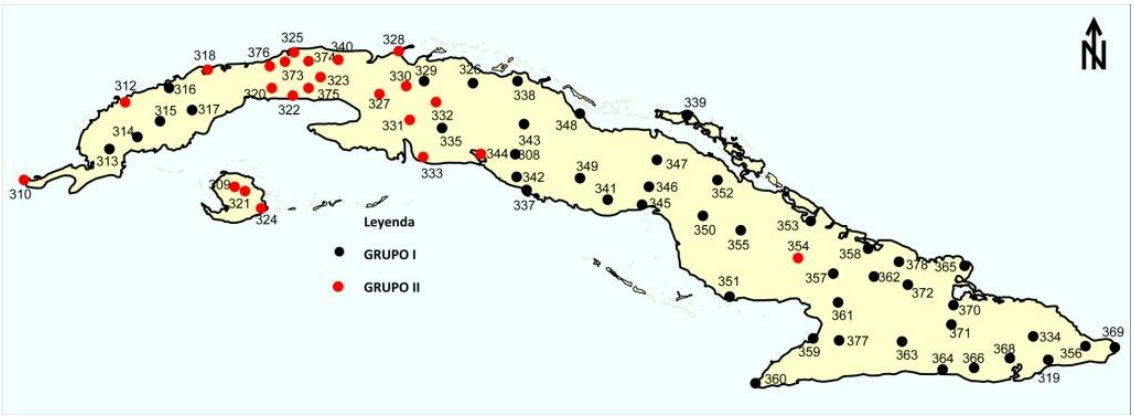



Figura 10. Distribución espacial de las estaciones pertenecientes a los grupos definidos en el análisis de cluster del número promedio normalizado de días con tormenta por meses en el periodo 2005 – 2019.

En general las marchas anuales del número promedio anual de días y por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta son similares, con valores máximos en verano entre junio y septiembre.

**Marcha diaria**

La marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio se muestra en la figura 11. Aquí se observa como con la incorporación de lo aportado por el código de tiempo pasado, en los plazos cubiertos por éste, (las 2 horas anteriores a la hora de la observación) se reportan más casos de tormentas que en los horarios reglamentarios cubiertos por el tiempo presente, ya que éstos sólo cubren la última hora. El plazo horario con más reportes es el de las 16 horas, con 17.13% de observaciones reportando tormentas mientras que el bihorario con más reportes es el de las 17 – 18 horas, con 31.42%, también el de las 14 – 15 muestra valores altos de 24.2%. En general, tanto para los plazos horarios como para los bihorarios, el número de reportes disminuye para los horarios anteriores y posteriores, con un incremento aislado en el plazo 23 – 24 hasta 13.68%.

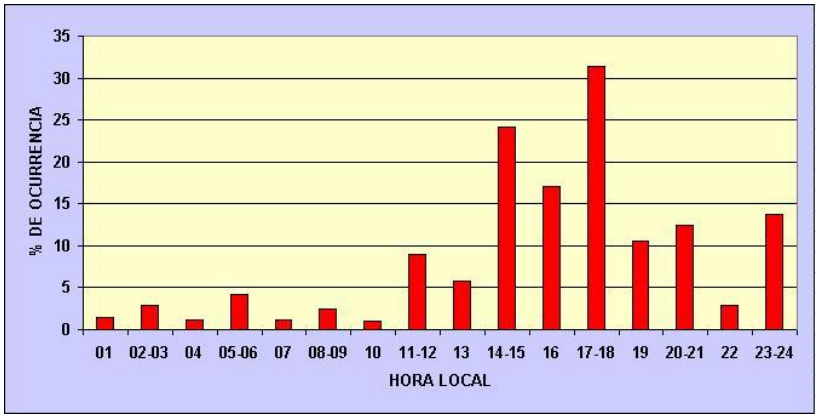



Figura 11. Marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio en el periodo 2005 – 2019.

Si se realiza un análisis de cluster a partir de los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables los horarios de observación y como individuos las estaciones en estudio, se obtiene un dendrograma como el que se observa en la figura 12, que revela tres grupos bien definidos. En la figura 13 se muestran las marchas diarias promedio de cada grupo y en la figura 14, la distribución espacial de las estaciones comprendidas en cada grupo

El grupo I tiene las frecuencias de reportes mas bajas antes de los plazos de máxima ocurrencia (14 - 15, 16 y 17 – 18), después de estos horarios tiene por cientos intermedios entre los de los grupos II y III. El grupo II es el que tiene mayores valores fuera de los plazos de máxima ocurrencia, con excepción de las 19 horas. El grupo III tiene valores intermedios entre los de los grupos I y II antes del horario máximo, después de éstos presenta los menores por cientos. En el mapa de la figura 14 se observa que el grupo I está desplegado principalmente desde la región central hasta La Habana, Mayabeque y Artemisa al oeste y hasta Las Tunas y Granma al este. El grupo II, con el menor número de estaciones, se distribuye principalmente en la Isla de la Juventud y en estaciones próximas a las costas, como Cabo Cruz (360), Maisi (369), Playa Girón (333), Cayo Coco (339) o Caibarién (348). El grupo III se concentra en los extremos este y oeste de la Isla, en La Habana, Artemisa y Pinar del Río, y Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. Esta distribución no se diferencia sustancialmente de la obtenida con la serie de datos hasta 2016 presentada por [19].

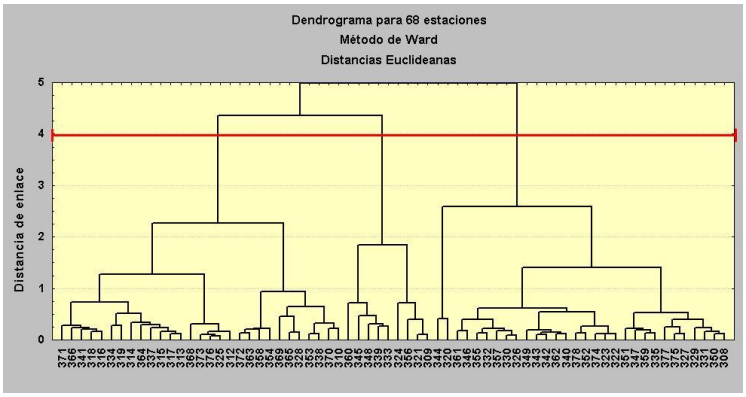



Figura 12. Dendrograma para los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables las estaciones en estudio y como individuos los horarios de observación. Aquí el Grupo I lo constituyen las estaciones entre la 344 y la 308 de la abscisa del dendrograma el Grupo II aglutina las estaciones entre la 360 y la 309 y el Grupo III de la 371 a 310.

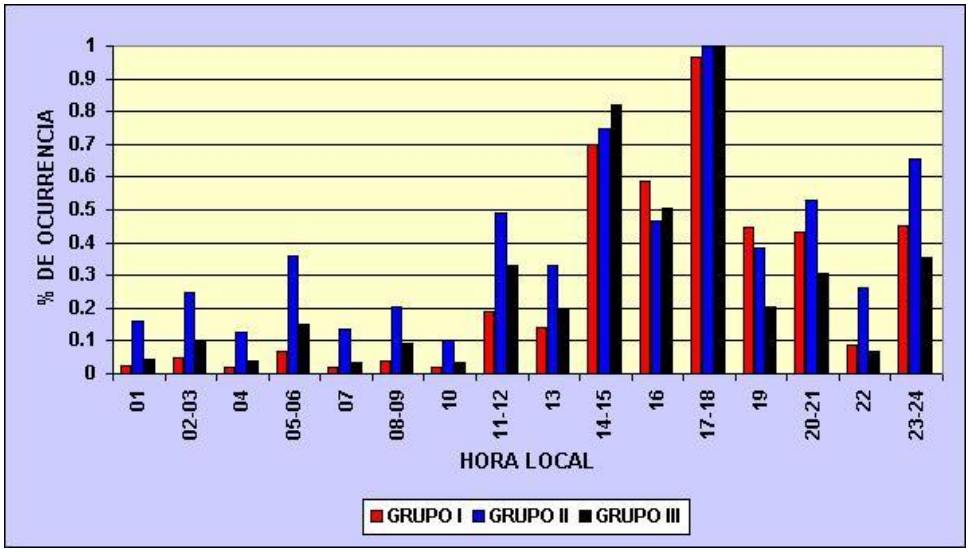



Figura 13. Marcha diaria promedio para las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 12.

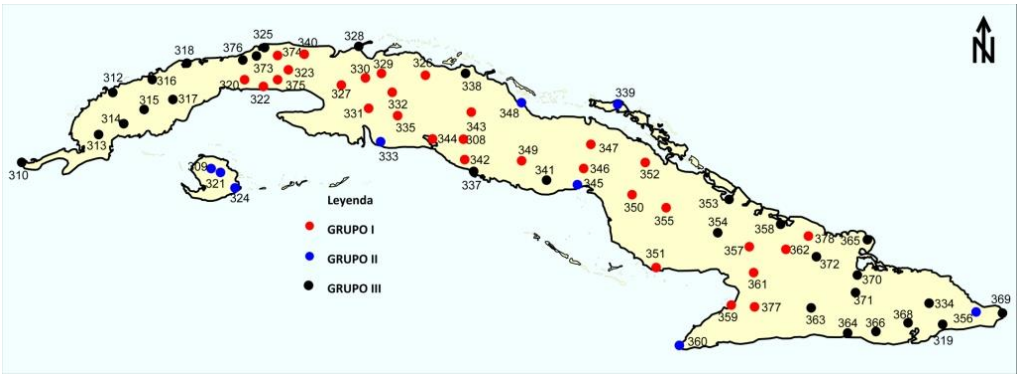



Figura 14. Representación espacial de las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 12.

**Distribución espacial**

La distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta se muestra en la figura 15, la del número medio de días con tormenta reportada al año en la figura 16 y la desviación estándar de la variable anterior se muestra en la figura 17. Los mapas de por ciento de ocurrencia y número de días con tormenta al año (figuras 15 y 16) guardan cierta semejanza morfológica; en ambos casos hay valores altos hacia el suroeste de Pinar del Río, que disminuyen suavemente hacia Artemisa y La Habana. Entre Mayabeque y Matanzas hay una zona de valores ligeramente mayores que se prolonga por el norte de Matanzas. Hacia el centro de esta provincia hay una disminución definida por la estación de Colón y hacia el sureste, en Cienfuegos, un aumento asociado a la estación de Aguada de Pasajeros. En general en esta sección de la isla los valores tienden a ser mayores hacia el interior del territorio que cerca de las costas, pero más al este la estación de Sancti Spíritus provoca una zona de disminución desde las costas hacia el centro. La estación de Florida, mas al este refleja un aumento tierra adentro que se vuelve a invertir con los mínimos de las estaciones de Camaguey y Palo Seco. En la región oriental se observa una zona de valores altos en el entorno de las estaciones de Veguitas, Jucarito y Manzanillo, en la provincia Granma. En esta región también se observan valores mayores hacia el interior del territorio que cerca de las costas.

El mapa de la desviación estándar del número de días con tormentas en el año (figura 17) refleja cuán cercanos o alejados del valor medio han sido los valores de cada año en el período considerado. En el intervalo definido entre el valor medio menos la desviación estándar y el valor medio mas la desviación estándar se encuentra el número de días con tormenta para un año arbitrario con aproximadamente un 67% de probabilidad. En las zonas con valores más altos de la desviación estándar localizadas al norte de Ciego de Ávila y en Nuevitas es mas probable encontrar años con valores notablemente más altos, o más bajos que el número de días con tormenta promedio anual.

En los dos primeros mapas (figuras 15 y 16) se mantiene en general la forma de la distribución espacial obtenida por Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo [23], con datos hasta 2016, aunque los valores ahora son menores y en el mapa de la desviación estándar, por el contrario, se tienen valores más altos. Esto es consistente con la disminución de reportes observada en los tres años adicionados en este estudio.

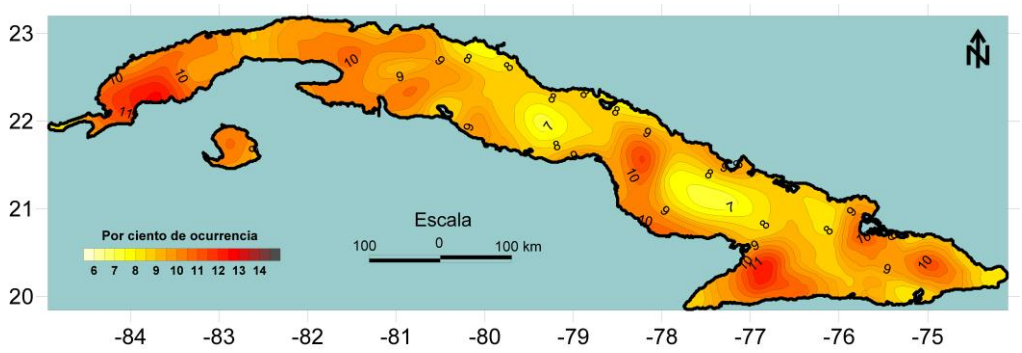



Figura 15. Distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

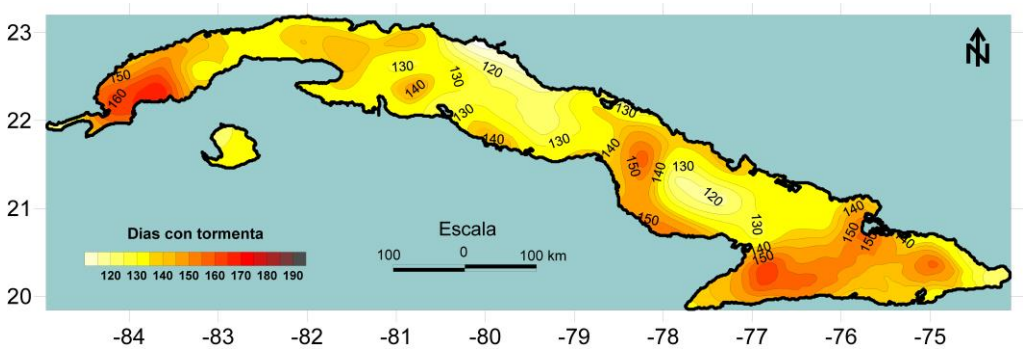



Figura 16. Distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta (nivel ceráunico) para Cuba (carta base escala 1:250000).

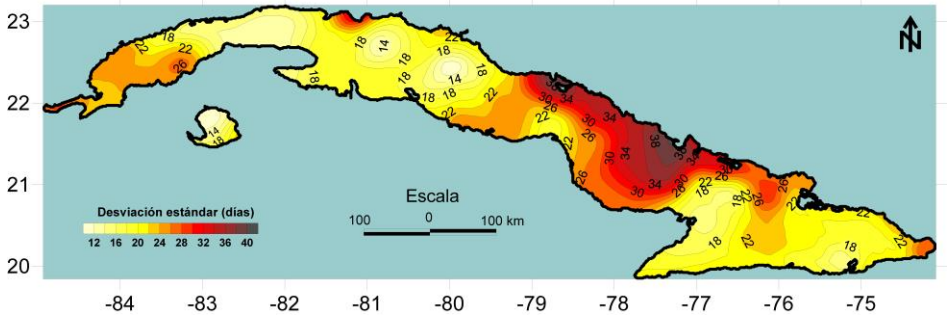



Figura 17. Distribución espacial de la desviación estándar de la series de días con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

## 4. CONCLUSIONES

El por ciento de ocurrencia promedio de observaciones con tormenta para todas las estaciones de Cuba muestra máximos cercanos al 20% del total de observaciones en los meses de verano y con máximos absolutos para julio y agosto.
La temporada de mínima actividad de frecuencia de observaciones con tormenta abarca de enero a abril, noviembre y diciembre con un mínimo absoluto de 0.58% en enero.
Por su distribución las marchas anuales de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta presentan dos comportamientos, uno que muestra máximos en julio, característico de la mitad occidental del país y otro con máximo absoluto en agosto, característico de la mitad oriental.
La marcha anual del número promedio de días con tormenta muestra máximos de ocurrencia en verano por encima de los 20 días y máximo absoluto en julio y agosto con 23 días.
Las marchas anuales del número promedio de días con tormenta muestran diferencias en sus formas entre las que presentan máximo absoluto en julio características de la región occidental y las que presentan máximo absoluto en agosto, características de la región central y oriental del país.
La mayor cantidad de reportes de observaciones con tormenta ocurre entre las 14 y las 19 hora local para todas las estaciones en estudio, con los valores disminuyendo hacia los plazos anteriores y posteriores. En el plazo de las 23 – 24 horas hay un ligero incremento de casos.
La marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta permite agrupar las estaciones en tres conjuntos con rasgos comunes: un primer grupo tiene valores muy bajos fuera de los horarios de máximo y es característico de la zona central de la isla, desde Mayabeque hasta Las Tunas; el segundo tiene valores relativamente altos fuera de los horarios de máximo, comprende un conjunto pequeño de estaciones que se distribuyen casi por completo en la Isla de la Juventud y en zonas próximas a las costas y un tercer grupo que marcha entre los mencionados anteriormente en los horarios que preceden al máximo de ocurrencia, donde tiene los valores más altos de la muestra y está compuesto por estaciones localizadas hacia los extremos oriental y occidental del país.
El por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y el número de días con tormentas en el año tienen distribuciones semejantes, independientemente de la naturaleza diferente de cada variable. Presenta zonas de máximo al sur de Pinar del Río con énfasis en la zona de la estación de San Juan y Martínez, al centro de Matanzas y Mayabeque con un marcado crecimiento de las costas hacia el interior, el centro y sur de la provincia Ciego de Ávila, que se extiende al sur de Camagüey y en zonas montañosas de las provincias Granma, Santiago de Cuba, Guantánamo y Holguín.

## REFERENCIAS

1. OMM (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL). (1956). World distribution thunderstorm days. WMO No. 21, TP 21.
2. CHANGNON, S. A. (1988). Climatography of Thunder Events in the Conterminous United States. Part II: Spatial Aspects. *Journal of Climate*, 1(4), 399–405. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2.
3. DAI, A. (2001). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1092–1111. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2.
4. DAI, A. (2001). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1112–1128. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2.
5. ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. R.; BURROWS, W. R; HOLLE, R. L. & CUMMINS K. L. (2002). "The North American Lightning Detection Network (NALDN)-First Results: 1998-2000". *Monthly Weather Review*, 130: 2098-2109. https://doi.org/10.1175/2010MWR3452.1
6. VIRTS, K. S.; WALLACE, J. M.; HUTCHINS, M. L. & HOLZWORTH, R. H. 2013. "Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology". *BAMS*, 15: 1381 - 1391, DOI:10.1175/BAMS-D-12-00082.1.

7. CECIL, D.J.; BUECHLER, D.E. & BLAKESLEE, R.J. (2014). Gridded lightning climatology from TRMM - LIS and OTD: Dataset description. Atmospheric Research, 135 – 136, 404-414. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
8. ALBRECHT, R.; GOODMAN, S.; BUECHLER, D. BLAKESLEE, R. & CHRISTIAN, H. 2016 "Where are the lightning hotspots on Earth?". *BAMS*, 97(11):2051-2068, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00193.1
9. LECHA, L. B.; PAZ, L. R. & LAPINEL, B. E. (eds.). (1994). El Clima de Cuba. Editorial Academia.
10. ÁLVAREZ, L. (2006). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. [Tesis doctoral inédita]. Instituto de Meteorología, Cuba.
11. ÁLVAREZ, L.; BORRAJERO, I. & ÁLVAREZ, R. 2015. "Estudio de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas". *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2)**:** 3-15, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2015/n2/01.pdf.
12. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L. & BORRAJERO, I. (2016). "Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente". *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1), 3-28. Recuperado a partir de http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2016/n1/01.pdf
13. GARCIA-SANTOS, Y. & ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., (2018). "Climatología de las tormentas eléctricas determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado". *Revista Cubana de Meteorología*, 24(2): 201-215. Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426.
14. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., BORRAJERO-MONTEJO, I., ROJAS-DÍAZ, Y., 2020. "Caracterización de la marcha anual de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado". Revista Cubana de Meteorología, 26(3). Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/523/884, ISSN: 2664-0880.
15. ALFONSO A. P. (1980). Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud (Informe Científico - Técnico No. 134). Instituto de Meteorología, Cuba. UDICT Instituto de Meteorología http://www.insmet.cu.
16. ALFONSO, A. P. & FLORIDO, A. (1993). El clima de Matanzas. Editorial Academia, La Habana.
17. ÁLVAREZ, L, BORRAJERO, I, ÁLVAREZ, R, RIVERO, I, CARNESOLTAS, M, ROJAS Y. (2013). "Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta". Ciencias de la Tierra y el Espacio, 14(1): 5- 13, ISSN 1729-3790.
18. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., BORRAJERO, I. (2016). "Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente". *Cienc. Tierra y Esp.*, 17(2): 145-159, ISSN 1729-3790. Recuperado a partir de http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye17no2-art3.html.
19. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., BORRAJERO-MONTEJO, I., ROJAS-DÍAZ, Y. 2021. 'Caracterización de la marcha diaria de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado'. Revista Cubana de Meteorología, 27(1) Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/549/1034, ISSN: 2664-0880
20. ÁLVAREZ, L.; BORRAJERO, I. & ÁLVAREZ, R. (2009). "Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, con tormentas con lluvias sobre la estación y días con tormentas para el territorio cubano". *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1), 14-22. Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/121.
21. ÁLVAREZ, L.; BORRAJERO, I.; ÁLVAREZ, R.; AENLLE, L. & BÁRCENAS, M. 2012. "Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1): 83-99, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/49
22. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L. & BORRAJERO-MONTEJO, I. (2018). Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente II. Revista Cubana de Meteorología, 24(1), 111-127. Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303.

23. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L., BORRAJERO-MONTEJO, I. 2020. "Actualización del mapa de niveles ceráunicos de Cuba". Revista Cubana de Meteorología, 26(2). Recuperado a partir de http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/508/840, ISSN: 2664-0880.
24. OMM (2011). Manual de Claves. Claves Internacionales. Volumen I.1, Parte A, Claves Alfanuméricas, OMM No. 306, Tabla 4678
25. GEBCO. 2003. "Digital Bathymetry Atlas". Published by the British Oceanographic Data Center, under the joint auspices of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographical Organization, with founding provided by the Environment Research Council (update May 2009).
26. ÁLVAREZ-ESCUDERO, L.; BORRAJERO, I. & BARCENAS, M. 2014. "Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2): 56 – 69, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf.

**Sobre los autores**

**Lourdes Álvarez Escudero** es Licenciada en Física, Doctora en Ciencias Meteorológicas, Investigador Titular del Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología y Profesora Titular del Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Además es Miembro del Grupo de Expertos del Programa Sectorial "Meteorología y Desarrollo Sostenible del País" Miembro del Comité Editorial de la Revista Cubana de Meteorología y Editor Asociado de la Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.

**Israel Borrajero Montejo** es Licenciado en Física e Investigador Agregado del Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología

**Yanneyis Rojas Díaz** es licenciada en Geografía, Máster en Ciencias Meteorológicas e Investigador Auxiliar del Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo del Instituto de Meteorología

**Pedro Roura Pérez** es licenciado en Matemáticas, Máster en Ciencias Matemáticas, Investigador Auxiliar del Centro del Clima del Instituto de Meteorología y Profesor Auxiliar del Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas

**Yunisleydi Rodríguez Díaz** es Licenciada en Meteorología, Técnico de Nivel Superior del Centro del Clima del Instituto de Meteorología, Máster en Ciencias Meteorológicas y Secretaria del Programa Nacional de Cambio Climático

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DETECCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO A TRAVÉS DE IMÁGENES TOMADAS DE UNA BASE DE DATOS UTILIZANDO REDES NEURONALES

Francisco Eneldo López Monteagudo[1[0000-0001-6082-1546]], Carlos Alberto Olvera Olvera[1[0000-0003-1519-7718]], Jesús Gerardo Ávila Sánchez[1[0000-0001-8518-2023]], Héctor Alonso Guerrero Osuna[1[0000-0003-0743-842X]], and Santiago Villagrana Barraza[1[0000-0002-8810-0801]]

[1] Unidad Academica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. López Velarde No. 801, CP 98060 Zacatecas, México
e-mail: eneldolm@yahoo.com

**RESUMEN**

Las redes neuronales cada día engloban un sinfín de usos dentro de la sociedad y el desarrollo científico, pero qué sería de estos algoritmos sin las bases de datos para su entrenamiento, es por ello que en este artículo se propone el desarrollo de una base de datos compuesta por un conjunto de imágenes de automóviles y accidentes automovilísticos y sus respectivos archivos xml en donde se encuentren los valores en coordenadas y sobre todo a qué clase pertenece esa imagen, esto con el fin de contribuir al desarrollo de sistemas de redes neuronales que tengan la capacidad de detectar este tipo de clases, ya sea en imágenes, videos grabados o video en tiempo real.

**PALABRAS CLAVES:** Base de datos, Inteligencia artificial, Accidentes de tránsito.

## DETECTION OF TRAFFIC ACCIDENTS THROUGH IMAGES TAKEN FROM A DATABASE USING NEURAL NETWORKS

**ABSTRACT**

Neural networks every day encompasses endless uses within society and scientific development, but what would be of these algorithms without the databases for their training, that is why this article proposes the development of a database composed of a set of images of cars and car accidents and their respective xml files where the values are in coordinates and, above all, to which class that image belongs, this in order to contribute to the development of neural network systems that have the capacity to detect this type of class, either in images, recorded videos or video in real time.

**KEYWORDS:** Database, Artificial intelligence, Traffic accidents.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CÁLCULO DEL NIVEL MÁXIMO DE PENETRACIÓN SOLAR EN REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA DISTINTAS ESTRATEGIAS DE OPERACIÓN DE CONTROL DE TENSIÓN

Miguel Ángel Enríquez Labrador[1]; Daheri Javier Alarcón Torres[2]; Urbano J. Pedraza Ferreira[3]; Orestes G. Osorio Rodríguez[4]; Ariel Santos Fuentefria[5]

[1, 3, 4, 5] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[2] Unión Eléctrica. Ave. Salvador Allende No. 666 entre Oquendo y Amistad, centro Habana, La Habana, Cuba
e-mail: asantosfuentefría@electrica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

A lo largo de los años, la tecnología fotovoltaica ha experimentado avances significativos impulsados por la demanda mundial de energía y la necesidad de reducir el impacto ambiental de las fuentes convencionales. En Cuba, el gobierno ha implementado un Plan Nacional para el Desarrollo de la Energía Fotovoltaica para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mejorar la seguridad energética. Para aumentar la instalación de paneles solares, se han implementado leyes para promover su uso, donde se espera un aumento significativo en las capacidades instaladas en las redes de distribución secundaria. Para mitigar los efectos negativos, se han establecido tres estrategias de operación: método de control de cambiadores de tomas en carga (OLTC) basado en resultados precisos de estimación del estado de distribución (DSE) para mantener el voltaje a través de la red dentro del rango deseado; control activo de la salida de potencia activa y reactiva del panel fotovoltaico e integración de sistemas de almacenamiento estacionarios para equilibrar las fluctuaciones del panel solar. El algoritmo desarrollado permite calcular el límite de penetración solar teniendo en cuenta la estrategia de control utilizada, o una combinación de estrategias. Los resultados muestran que la elección correcta puede garantizar la operación dentro de los límites y maximizar la energía generada por los paneles solares.

**PALABRAS CLAVEs**: Energía solar, estrategias de operación, paneles solares.

## MAXIMUM SOLAR PENETRATION LEVEL CALCULATION IN DISTRIBUTION NETWORKS FOR DIFFERENT VOLTAGE CONTROL OPERATION STRATEGIES

## ABSTRACT

Over the years, photovoltaic technology has experienced significant advances driven by the global demand for energy and the need to reduce the environmental impact of conventional sources. In Cuba, the government has implemented a National Plan for the Development of Photovoltaic Energy to reduce reliance on fossil fuels and enhance energy security. To increase the installation of solar panels, laws for promote their use have been implemented, where is expected a significant increase in the capacities installed in secondary distribution networks. To mitigate negatives effects, three operation strategies have been established: On-load Tap Changers (OLTC) control method based on precise Distribution State Estimation (DSE) results to maintain voltage across the network within the desired range; active control of active and reactive power output from the photovoltaic panel and integration of stationary storage systems to balance solar panel fluctuations. The developed algorithm allows calculating the solar penetration limit taking into account the control strategy used, or a combination of strategies. The results shows that the correct choice can ensure operation within limits, and maximize the energy generated by the solar panels.

**KEY WORDS:** Solar energy, operation strategies, solar panels.

## 1. ENVÍO DE ARTÍCULOS

Para el envío de artículos se exige a los autores que visiten el sitio web de la XXI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, https://ccia.cujae.edu.cu y consulten la descripción de cada uno de los eventos así como las temáticas que estos abordan. El autor principal debe estar inscrito en el evento al que desea participar y en su sesión de usuario, completar los 5 pasos que ahí se describen para el envío de su artículo.
El formato de archivo *Word* (.doc) es el único aceptado para el envío de los artículos, en su versión 6.0 o superior.

## 2. PREPARACIÓN DEL TEXTO Y SU EXTENSIÓN

**Texto**

Escriba directamente sobre este formato. El texto debe escribirse a una sola columna con espaciado sencillo y justificado. Utilice el tipo de letra *Times New Roman* o su equivalente. El tamaño de letra a usar es de 10 puntos. Al comenzar un párrafo deje una línea en blanco (espacio) extra. La redacción será impersonal. Se omitirán las abreviaturas y las siglas deben aparecer con su significación debidamente aclarada. Debe evitarse la escritura haciendo uso de listado con números y/o viñetas.

El resumen deberá estar ubicado en la primera página del artículo. El primer punto del artículo deberá ser "Introducción" y comenzar en la primera hoja y después de dejar dos líneas en blanco (espacio) extra al finalizar "*Key Words*".

**Extensión**

Los artículos deben tener una extensión máxima de 12 páginas y no menos de 6 páginas, incluyendo figuras, tablas y referencias. Trate de ser conciso para que las figuras y tablas sean de fácil lectura.

**Título del artículo y autores**

En la primera página del artículo escriba el título del mismo, los nombres de los autores, sus filiaciones y correo electrónico. Debe ser declarado un título en inglés. Escriba el título centrado con el tipo de letra 12 pt *Times New Roman* en negritas, solo con mayúsculas y a espaciado sencillo. Deje un renglón vacío (de 12 ptos) entre el título y los nombres de los autores. El título del artículo no debe exceder de 80 caracteres, contando los espacios.

El número máximo de autores del artículo debe ser cuatro y ser identificadas apropiadamente con superíndices sus afiliaciones, direcciones y correos electrónicos. Escriba los nombres de los autores. Primero nombres completos y después todos los apellidos, centrados debajo del título. Use el tipo de letra 10 pt *Times New Roman* en negritas, con mayúsculas y minúsculas. Deje un renglón vacío (de 10 ptos) entre los nombres de los autores y sus filiaciones. Escriba las filiaciones y sus direcciones, usando mayúsculas y minúsculas y a espaciado sencillo. Incluya su dirección de correo electrónico. Use el tipo de letra 10 pt *Times New Roman*.

**Resumen y palabras claves**

El resumen debe tener más de 150 palabras y menos de 250 palabras, no debe contener referencias ni fórmulas. El encabezado **RESUMEN** debe escribirse usando el tipo de letra 10 pt *Times New Roman* en negritas y mayúsculas. Debe escribirse a la izquierda tal como se ve en la primera página. Escriba el resumen en una sola columna usando el tipo de letra de 10 puntos. Deje un renglón vacío entre el encabezado RESUMEN y PALABRAS CLAVES. Después del encabezado **PALABRAS CLAVE**S escriba un máximo de cinco palabras relativas al tema principal del artículo. El resumen y palabras claves deben ser escritos en español e inglés.

**Encabezados o apartados**

Use solo dos tipos de encabezados:

Los encabezados principales se escriben en mayúsculas y negritas en el lado izquierdo de la columna usando el tipo de letra 10 pt *Times New Roman*. Se debe dejar un renglón vacío arriba y abajo del encabezado principal. Los encabezados principales son los únicos que se numeran para ello emplee números enteros en orden ascendente.

Los encabezados secundarios se escriben iniciando con la primer letra mayúscula usando negritas y el tipo de letra de 10 pt. Así mismo, deben ubicarse en el lado izquierdo de la columna y se debe dejar un renglón vacío arriba y abajo del encabezado secundario.

## 3. ECUACIONES

Para escribir las ecuaciones en el texto utilice el Microsoft Equation Editor o el MathType. Las ecuaciones se deben escribir centradas dejando un renglón vacío arriba y debajo de las mismas. Numérelas consecutivamente. Asegúrese de que los símbolos en su ecuación hayan sido definidos antes de que aparezca la ecuación o inmediatamente después. Los símbolos deben aparecer en cursiva.

$$x_{1,2}=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \qquad (1)$$

Como se muestra en (1), encierre el número de la ecuación entre paréntesis redondos y ubíquelo en la parte derecha de la columna. Cuando se refiera a una ecuación en el texto escriba (1). Cuando se refiera a varias ecuaciones consecutivas en el texto escriba (1)-(3).

## 4. TABLAS Y FIGURAS

Debe ser referida cada tabla o figura en el texto. Numere las tablas y figuras por separado y consecutivamente con números arábigos, por ejemplo: Fig. 1, Fig. 2, Tabla 1 y Tabla 2. De ser posible, ubique las tablas y figuras en el orden mencionado en el texto, y preferentemente en la parte superior o inferior de la columna, lo más cercano posible a la referencia del texto. Las tablas y figuras no deben repetir los datos que se proporcionen en algún otro lugar del artículo.

Escriba el título de las tablas sobre las mismas como se indica en la Tabla 1. El título de las figuras debe escribirse debajo de éstas como se indica en la Fig. 1. El texto y los símbolos deben ser claros y de dimensiones razonables de acuerdo al tamaño de la tabla o figura. Por favor verifique que las tablas y figuras que mencione en el texto existan en realidad. No colocar bordes en la parte exterior de sus figuras. No utilice la abreviatura para la palabra “Tabla”. Deje un renglón vacío entre el título de la tabla y la misma tabla (o entre la figura y su título). Deje dos renglones vacíos arriba y debajo de las tablas o figuras.

En caso de emplearse en el artículo fotografías y figuras de escala gris estas deben ser preparadas con una resolución de 220 dpi. Las figuras a color deben ser diseñadas con una resolución de 400 dpi.

A continuación se muestran los ejemplos de una tabla y una figura:

Tabla 1: Rango de valores de velocidades angulares y diámetros de poleas.

| Perfil | $\omega$ ($s^{-1}$) | | $d$ (mm) | |
|---|---|---|---|---|
| | Desde | Hasta | Desde | Hasta |
| Z | 50 | 200 | 45 | 112 |
| A | 50 | 200 | 71 | 180 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| B | 50 | 200 | 112 | 280 |
| C | 50 | 200 | 180 | 450 |
| D | 50 | 120 | 315 | 900 |
| SPZ | 50 | 200 | 63 | 200 |
| SPA | 50 | 200 | 90 | 315 |
| SPB | 50 | 200 | 140 | 400 |
| SPC | 50 | 150 | 224 | 630 |

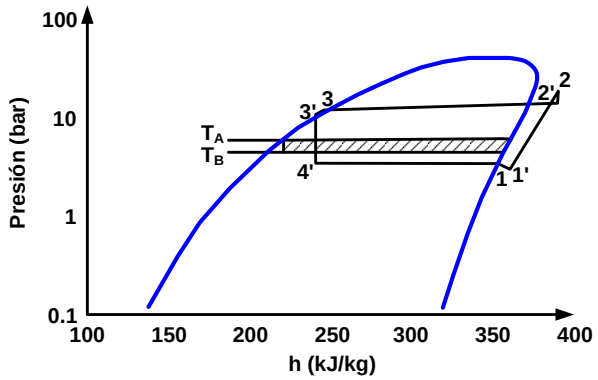



Figura 1: Diagrama presión-entalpía de los ciclos ideal y real de refrigeración.

## 5. CONCLUSIONES

Aunque una conclusión puede resumir los aspectos fundamentales del artículo, no se requiere una sección de conclusión. De todas formas, es recomendable redactar unas conclusiones finales en el artículo.

En caso de que usted haga conclusiones, no utilice el resumen como la conclusión. Una conclusión podría elaborarse haciendo referencia a la importancia del trabajo o sugiriendo sus aplicaciones y generalizaciones.

**RECONOCIMIENTOS**

Es recomendable que los autores agradezcan a los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo. En caso de que sea procedente expresar agradecimientos, se sugiere utilizar un encabezamiento típico como: “Los autores desean agradecer…”

**REFERENCIAS**

Todas las referencias deben citarse en el texto, estar identificadas en el texto entre corchetes (paréntesis cuadrados) y agrupadas al final del texto en el **orden de aparición**. Las referencias deben ser de actualidad y se recomienda que el 60% de las referencias pertenezcan a los últimos 5 años. Las referencias deben escribirse de acuerdo con las normas cubanas NC 497: 2007 (ISO 690:1987, Mod) y NC ISO 690-2 (ISO 690-2: 1997, IDT). Las siguientes referencias son ejemplos de: artículo de revista [1], libro [2], tesis [3], reporte [4], memoria de congreso [5], documento normativo [6] y documento electrónico en Internet [7].

1. GONZÁLEZ REY, Gonzalo; MARRERO OSORIO Sergio. "Reingeniería de la geometría desconocida de engranajes cónicos con dientes rectos y curvilíneos". *Ingeniería Mecánica*, 2008, vol 11, núm. 3, pp. 13 - 20.
2. ARZOLA, José. *Selección de propuestas*. Ciudad de La Habana: Editorial Científico Técnica, 1989. 299 pp. ISBN 978-959-261-281-5.

3. PEREDA, Rosa. "Residuos sólidos mineros de la extracción del níquel como estimulantes para la producción de biogás". Director: Deny Oliva. Tesis de doctorado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2007.
4. LEWICKI, D. G; SANE A. D. **"**Three-dimensional gear crack propagation studies". National Aeronautics and Space Administration, TR: NASA TM-1998-208827. Washington DC, Dec. 1998. 23 pp.
5. UMEZAWA, K. et al. "The Influence of flank deviations on the vibration of a helical gear pair transmitting light load". En actas de International Power Transmission and Gearing Conference, American Society of Mechanical Engineers, 1992, DE-Vol. 43-2, pp. 681-688.
6. ISO. *Synchronous belt drives - Automotive belts*. ISO Standard 9010. ISO/IEC Office. Geneva. Switzerland. 1997.
7. U.S. ISBN Agency. *The Digital World and the Ongoing Development of ISBN* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 16 de agosto 2002]. Disponible en Web: http://www.isbn.org/standards/home/isbn/digitalworld.asp>.

**sobre los autores**

Se incluirá con una extensión no mayor de un párrafo, información sobre cada autor, donde sea declarada institución y labor que desempeña, categoría docente y categoría científica, membresía en organizaciones profesionales, etc.

## REVISIONES FINALES

Antes de enviar su artículo le recomendamos hacer las siguientes revisiones finales:

1. Revise la secuencia de los encabezados.
2. Revise la numeración de las referencias, las ecuaciones, las tablas y las figuras.
3. Revise las citas en el texto de las referencias, figuras, tablas y ecuaciones.

## CONTACTOS

Si tiene alguna pregunta u observación en la preparación de su artículo por favor diríjase a la siguiente dirección de correo electrónico: gil@tesla.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA EN EL GENERADOR SINCRÓNICO: ENFOQUES PROPUESTOS Y EXPERIMENTOS

Pedro Osvaldo Diaz Fustier [1] [0000-0003-2005-4412] Orestes Hernández Areu [2] [0000-0002-2672-239X]

[1] Faculty of Electrical Engineering, Electroenergetic Research and Testing Center (CIPEL), Technological University of Havana (CUJAE), Cuba.
[2] Faculty of Electrical Engineering, Electroenergetic Research and Testing Center (CIPEL), Technological University of Havana (CUJAE), Cuba.
E-mail: pedro@electrica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Cuando la sostenibilidad energética del futuro se busca modificando el generador sincrónico cuyos valores de eficiencia rebasan muy fácilmente el 90%, incluso en potencias nominales relativamente bajas y existen en explotación comercial generadores sincrónicos con 98,5 y 99% de eficiencia, cabe cuestionarse si científicamente insistir en el generador sincrónico es sensato o no, pero cuando los resultados experimentales muestran ahorros nada despreciables (5 a 15%), la práctica es siempre el criterio de la verdad objetiva y conociendo que la Ley de Conservación de la Energía rige inobjetablemente todos los procesos energéticos, hay una sola posibilidad lógica: la forma en que se está evaluando la eficiencia está incompleta y realmente la eficiencia energética es inferior a esas cifras. Hacer un nuevo circuito magnético en el generador sincrónico como vía de ahorro sostenible es por ello un doble reto científico: reto físico de alcanzar el resultado y el reto teórico de explicar coherentemente el proceso de conversión de energía, siendo estos los objetivos de este artículo.

**PALABRAS CLAVES**: Generador sincrónico, Conversión de energía, Eficiencia.

## THE ENERGY CONVERSION PROCESS IN THE SYNCHRONOUS GENERATOR: PROPOSED APPROACHES I

## ABSTRACT

When the energy sustainability of the future is sought by modifying the synchronous generator whose efficiency values very easily exceed 90% even at relatively low nominal powers and there are synchronous generators in commercial exploitation with 98.5 and 99% efficiency (Siemens SGen 2000P), it is worth questioning whether scientifically to insist on the synchronous generator is right or not, but when the experimental results show non-negligible savings (5 to 15%), practice is always the criterion of objective truth and knowing that the Law of Conservation of Energy unobjectionably governs all energy processes, there is only one logical possibility: the way in which efficiency is being evaluated is incomplete and energy efficiency is actually inferior to those beautiful numbers of excellence. Making a new magnetic circuit in the synchronous generator as a way of sustainable savings is therefore a double scientific challenge: the physical challenge of achieving the result and the theoretical challenge of coherently explaining the energy conversion process in the synchronous generator, the latter being the objective of this article.

**KEYWORDS:** Synchronous generator, Energy conversion, Efficiency.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# UN NUEVO MÉTODO ROBUSTO DE SINTONIZACIÓN SIMULTÁNEA DE PSS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL ÁNGULO DEL ROTOR

Antonio Martínez García [1] [0000-0001-7006-4454], Orlando Delgado Fernández [2] [0000-0001-6186-891X], Miriam Vilaragut Llanes [3] [0000-0002-5453-1136], Orlys E. Torres Breffe [4] [0000-0001-7781-2611], Yorlandys Salgado Duarte [5] [0000-0002-5085-3170]

1, 3, 4 Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[2] Estudiante de doctorado de la Universidad de Tampere. Tampere, Finlandia
[5] Universidad de Ciencias y tecnología (AGH). Cracovia, Polonia
e-mail: miriamv@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Este artículo propone un nuevo y robusto método de coordinación simultánea de estabilizadores de sistemas de potencia (PSS) para asegurar la estabilidad de señales pequeñas y proporcionar una evaluación de la estabilidad transitoria para un sistema multimáquina. La compensación de fase se determina a priori utilizando un método secuencial y la coordinación de ganancias se resuelve como un problema de optimización. Para reducir la complejidad de este problema de optimización multivariable no lineal, se realiza una nueva descomposición que permite obtener una función objetivo explícita (FO) basada en las ganancias del PSS. Finalmente, el método de aplicación práctica se prueba en el sistema de referencia de dos áreas para demostrar que responde a los requisitos de la industria.

**PALABRAS CLAVES:** Estabilidad del ángulo del rotor, coordinación simultánea de ganancias del PSS, oscilaciones electromecánicas.

## A NEW ROBUST SIMULTANEOUS TUNING METHOD OF PSS IMPROVING ROTOR ANGLE STABILITY

**ABSTRACT**

This paper proposes a novel and robust power system (PSS) stabilizers simultaneous coordination method to ensure small signals stability and provide assessment transient stability for a multimachine system. Phase compensation is determined a priori using a sequential method and gains coordination is solved as an optimization problem. To reduce the complexity of this nonlinear multivariable optimization problem, a novel decomposition is performed, which allows an explicit objective function (OF) to be obtained based on the PSS's gains. Finally, the practical application's method is tested in the two-area benchmark system to demonstrate that it responds to the industry requirements.

**KEY WORDS:** Rotor angle stability, simultaneous PSS's gains coordination, electromechanical oscillations.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# COLOCACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO EL ALGORITMO BETA HILL-CLIMBING

Jorday Arostegui Morell[1][0000-0001-9330-6161], Eduardo Sierra Gil[2][0000-0001-5216-2771] and Julio César Madera Quintana[3][0000-0001-5551-690X]

[1] Empresa Eléctrica de Camagüey, Circunvalación Norte km 4$^{1/2}$, 74650 Camagüey, Cuba
[2] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte km 5$^{1/2}$, 74650 Camagüey, Cuba
[3] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte km 5$^{1/2}$, 74650 Camagüey, Cuba
e-mail: jorday@eleccmg.une.cu

## RESUMEN

El crecimiento de la población mundial, la evolución de la actividad económica e industrial, el confort y la modernización de la vida son factores que han provocado un aumento de la carga eléctrica. Pero la quema de combustibles como el petróleo, el gas natural y el carbón para generar energía eléctrica provoca diferentes problemas en todo el mundo como el cambio climático, el efecto invernadero y la contaminación, que es excepcionalmente dañina para los seres humanos y peligrosa para la existencia de nuestro planeta. Debido a la presión de los problemas ambientales actuales, las empresas de distribución de energía se ven obligadas a cambiar de la generación de energía eléctrica a gran escala a la generación de energía eléctrica distribuida. En este trabajo, se presenta el algoritmo Beta Hill Climbing para resolver el problema de localizar y dimensionar unidades de generación distribuida con un factor de potencia unitario. Se utilizaron como funciones objetivo la reducción de pérdida de potencia activa, la desviación de voltaje y el índice de estabilidad de voltaje. Para validar el algoritmo, se seleccionaron circuitos estándar IEEE-33 e IEEE-69 y sus resultados se compararon con otros algoritmos presentados en la literatura, obteniendo el algoritmo propuesto un mejor desempeño.

**PALABRAS CLAVES:** Algoritmo Beta Hill-Climbing, Generación distribuida, Red de distribución radial, Desviación de voltaje, Índice de estabilidad de voltaje

## OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF DISTRIBUTED GENERATION IN DISTRIBUTION NETWORKS USING BETA HILL-CLIMBING ALGORITHM

## ABSTRACT

The growth of the world's population, the evolution of economic and industrial activity, comfort, and modernization of life are factors that have led to an increase in the electrical load. But the burning of fuels such as oil, natural gas, and coal to generate electrical energy causes different problems all over the world such as climate change, the greenhouse effect, and pollution, which is exceptionally harmful to human beings and dangerous for the existence of our planet. Because of the pressure of current environmental problems, power distribution companies are forced to shift from large-scale electric power generation to distributed electric power generation. In this paper, the Beta Hill Climbing algorithm is presented to solve the problem of locating and sizing distributed generation units with a unity power factor. Active power loss reduction, voltage deviation, and voltage stability index were used as objective functions. To validate the algorithm, standard IEEE-33 and IEEE-69 circuits were selected and their results were compared with other algorithms presented in the literature, with the proposed algorithm obtaining a better performance.

**KEY WORDS:** Beta Hill-Climbing algorithm, Distributed generation, Radial distribution network, Voltage deviation, Voltage stability index.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRABAJO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

José Eduardo Montejo Sivilla[1][0009-0000-9426-6210], Eduardo Sierra Gil[2][0000-0001-5216-2771] and Alfredo Carbonell Mendoza[3][0009-0003-4339-1080]

[1] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte km 5[1/2], 74650 Camagüey, Cuba
[2] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte km 5[1/2], 74650 Camagüey, Cuba
[3] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte km 5[1/2], 74650 Camagüey, Cuba
e-mail: jose.montejo@reduc.edu.cu

## RESUMEN

La potencia nominal de un transformador está determinada por la potencia máxima que puede entregar en operación continua sin que la temperatura de operación exceda el límite permisible. La temperatura de operación determina los límites de carga y vida útil del transformador. En este trabajo se utilizó el software Quick Field para modelar y simular la operación de transformadores de distribución monofásicos sumergidos en aceite refrigerante mediante el método de elementos finitos y para determinar la distribución de temperatura al interior del transformador. A partir de datos de catálogo, se determinan los parámetros del modelo matemático del transformador, así como las características constructivas de los transformadores, mientras que el modelado de carga se basa en la información obtenida de los diferentes gráficos de carga de los transformadores. Los resultados de la investigación se obtienen como gradientes de temperatura, mapas multicolor y valores puntuales de temperaturas en los transformadores modelados.

**PALABRAS CLAVES:** Transformador de distribución, Método de los elementos finitos, Temperatura, Transiente térmico

## ESTIMATION OF WORKING TEMPERATURE IN DISTRIBUTION TRANSFORMERS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

## ABSTRACT

The rated power of a transformer is determined by the maximum power it can deliver in continuous operation without the operating temperature exceeding the permissible limit. The operating temperature determines the load and lifetime limits of the transformer. In this work, Quick Field software was used to model and simulate the operation of single-phase distribution transformers immersed in cooling oil using the finite element method and to determine the temperature distribution inside the transformer. From catalog data, the parameters of the mathematical model of the transformer are determined, as well as the constructive characteristics of the transformers, while the load modeling is based on the information obtained from the different load graphs of the transformers. The research results are obtained as temperature gradients, multicolor maps and point values of temperatures in the modeled transformers.

**KEY WORDS:** Distribution transformer, Finite element method, Temperature, Thermal transient.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# FERRORRESONANCIA EN SISTEMAS CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA. ESTADO DEL ARTE.

MSc. Dailen García del Sol[1], MSc. Ernesto Díaz Alfonso[1], Dr. Orestes Hernández Areu[1].

[1]Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba,
[1]email: dailenga@electrica.cujae.edu.cu,

**RESUMEN**

En la literatura especializada actual, se han discutido ampliamente los procesos transitorios electromagnéticos, como sobretensiones, corrientes de inrush de los transformadores, ferrorresonancia en redes eléctricas, etc. Hoy en día, el empleo de la generación distribuida y su conexión a los sistemas eléctricos de potencia está siendo ampliamente investigado por las evidencias que existen de su impacto en la ocurrencia del fenómeno de ferrorresonancia. En Cuba han ocurrido eventos de este tipo, comprobados solo en sistemas de distribución, pero no se ha estudiado el impacto del uso de la generación distribuida en su ocurrencia.

**PALABRAS CLAVES:** Ferrorresonancia, generación distribuida

# FERRORRESONANCE IN DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS.ART STATE

**ABSTRACT**

En la literatura especializada actual, se han discutido ampliamente los procesos transitorios electromagnéticos, como sobretensiones, corrientes de inrush de los transformadores, ferrorresonancia en redes eléctricas, etc. Hoy en día, el empleo de la generación distribuida y su conexión a los sistemas eléctricos de potencia está siendo ampliamente investigado por las evidencias que existen de su impacto en la ocurrencia del fenómeno de ferrorresonancia. En Cuba han ocurrido eventos de este tipo, comprobados solo en sistemas de distribución, pero no se ha estudiado el impacto del uso de la generación distribuida en su ocurrencia.

**KEY WORDS:** Ferrorresonance, distributed generation

## 1. INTRODUCCIÓN

La ferrorresonancia es un fenómeno oscilatorio que amenaza la estabilidad de la red eléctrica [1] [2]. Puede provocar daños en los equipos del sistema, el aislamiento y los dispositivos de distribución de los consumidores. Además, resulta en mal funcionamiento de los dispositivos de protección debido a las sobretensiones y/o sobrecorrientes de valor pico que pueden exceder más del doble, el valor nominal de los equipos [3] [4]. Estos fenómenos son causados por operaciones anormales que provocan estrés térmicos y eléctricos excesivos [5] [6] [7].
Gran parte de las investigaciones sobre el tema de la ferrorresonancia se dedica a su estudio en sistemas de distribución, sin embargo, con el aumento del uso de la generación distribuida, cobra importancia conocer la interacción de esta tecnología con este fenómeno y su comportamiento en estas situaciones.

## 2. FERRORRESONANCIA

La ferrorresonancia es un caso especial de resonancia serie o paralelo que ocurre en circuitos como los mostrados en las figuras 1 y 2 respectivamente, donde la $X_L$ es la inductancia saturable de magnetización de un transformador.
En resonancia serie la impedancia total Z vista por la fuente es:

$$Z = R + J\,(X_L - X_C) \qquad (1)$$

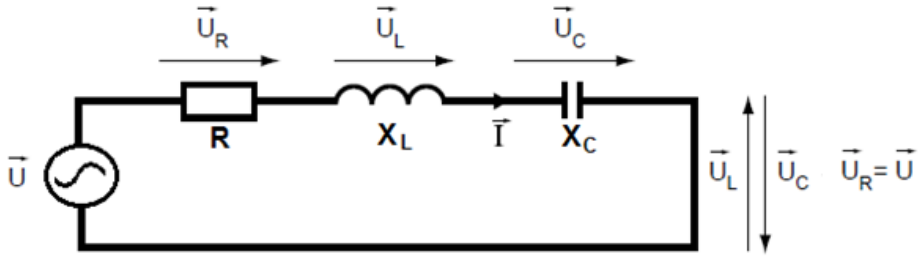



**Fig 1. Circuito resonante serie.**

En este caso, las magnitudes de las reactancias capacitiva e inductiva se acercan en su valor, la Z se hace muy pequeña por lo que la corriente será muy elevada, pudiendo provocar la desconexión del circuito o causar tensiones elevadas tanto en $X_L$ como en $X_C$.

En resonancia paralelo la impedancia total Z vista por la fuente es:

$$Z = R + J\left(\frac{X_C \times X_L}{X_L - X_C}\right) \qquad (2)$$

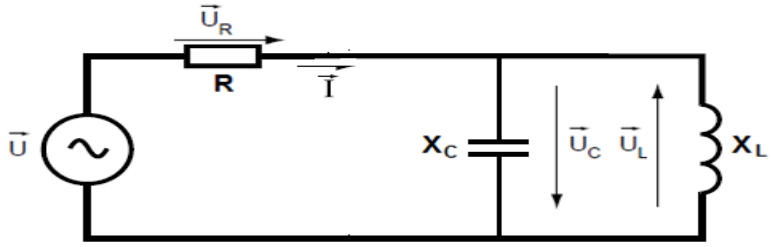



**Fig 2. Circuito resonante paralelo.**

En este caso, si las magnitudes de las reactancias capacitiva e inductiva se acercan en su valor, la Z se hace muy grande por lo que la corriente será mínima pero la tensión muy grande tanto en $X_L$ como en $X_C$.
Se trata de un fenómeno aleatorio, que puede ocurrir debido a la interacción de la capacitancia de los conductores del sistema eléctrico con la inductancia de magnetización de un transformador [8].
Existen condiciones bajo las cuales un transformador o un banco de transformadores están expuestos a la ocurrencia del fenómeno de ferrorresonancia, dos de estas son:

1- Transformador trifásico o banco de transformadores que se encuentre desenergizado y se energiza de forma monopolar una de sus fases.
2- Transformador trifásico o banco de transformadores que se encuentre energizado y ocurra la apertura de una de las fases.

Circuitalmente, en el momento de energización o desenergización de las fases, la fuente de energía queda alimentando un circuito que involucra las reactancias capacitivas en el tramo de las líneas eléctricas que están entre el interruptor y el transformador, y la reactancia de magnetización de cada fase del transformador en las diversas configuraciones.

Dado que $X_L$ es la reactancia de magnetización de un transformador, su característica variable en dependencia de la magnitud de la inducción magnética, determina la diferencia entre resonancia simple y ferrorresonancia. En dependencia de la magnitud del flujo residual en el núcleo o de si el cierre del circuito se hace cercano o en el momento en que la onda de tensión pasa por cero, el núcleo puede ser llevado a saturación. En este caso un gran pico de corriente fluye en los devanados energizados, teniendo su trayectoria a tierra a través de las capacitancias a tierra de las otras líneas abiertas. En el siguiente medio ciclo, el núcleo se satura, pero en la dirección opuesta.
Dependiendo de las conexiones de los devanados y la configuración que ve la fuente dependiendo de la energización o desenergización, quedará un circuito equivalente donde habrá una reactancia capacitiva equivalente de las líneas, $X_{CEQ}$ y una reactancia de magnetización equivalente $X_{LEQ}$.
En la figura 3 se muestra la forma de onda de la tensión de fase resultado de la simulación de un transformador trifásico con conexión primaria en estrella, neutro puesto a tierra y apertura de una fase que provoca ferrorresonancia.

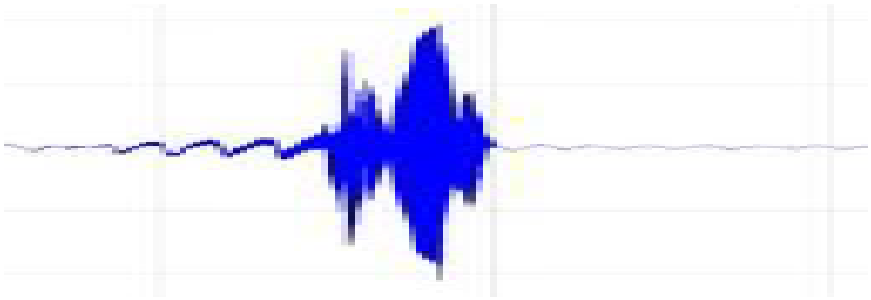


**Fig 3. Tensión de fase de un transformador trifásico. Fuente [9].**

Analíticamente es posible llevar a cabo un estudio que permita prever las posibilidades de ferrorresonancia en una red mediante la obtención de sus parámetros en condiciones de explotación. El análisis se realiza sobre la base de la no linealidad de la reactancia de magnetización del transformador que varía proporcional a la intensidad de campo electromagnético a que está sometida, pudiéndose establecer un límite superior, $X_L$, para la densidad de flujo de operación normal del transformador, y un límite inferior, $X_{LS}$, cuando el núcleo magnético está en saturación [10].
Se puede predecir que la ferrorresonancia periódica es imposible de verificar si se cumple alguna de las condiciones que se plantean en las ecuaciones (3) y (4).

$$X_{CEQ} > X_{LEQ} \quad (3)$$
$$X_{CEQ} < X_{LSEQ} \quad (4)$$

Donde:
$X_{LSEQ}$: Reactancia de magnetización en saturación equivalente que ve la fuente de energía en el momento de la conexión o desconexión de una fase.

Si en el circuito de la figura 1 se considera despreciable el valor de la resistencia R y el transformador se encuentra en vacío, se obtendrá el comportamiento de la tensión para condiciones estacionarias como [11]:

$$U = U_L + U_C \quad (5)$$
$$U_L = U - U_C \quad (6)$$

Si se sabe que:
$$U_C = -\frac{I}{wc} \quad (7)$$

Donde:
U: Tensión de la fuente.

$U_L$: Tensión en reactancia de magnetización equivalente.
$U_C$: Tensión en la reactancia capacitiva equivalente.
I: Corriente circulante por el circuito.
C: Capacitancia equivalente del circuito.
W: Frecuencia angular de la tensión.

En esta configuración, la magnitud de la tensión en la reactancia de magnetización equivalente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$U_L = U + \frac{I}{WC} \qquad (8)$$

Los equipos eléctricos con devanados enrollados en núcleos construidos con material ferromagnético, tienen el problema de que este material se satura al exceder un cierto nivel de flujo circulando por el núcleo. La condición de no linealidad de un circuito, en el caso de transformadores, se puede representar con la curva de magnetización. En la figura 4 se muestra la característica no lineal de la tensión en la reactancia de magnetización equivalente (curva roja) y la línea que caracteriza la tensión en la reactancia capacitiva equivalente del circuito (línea azul).

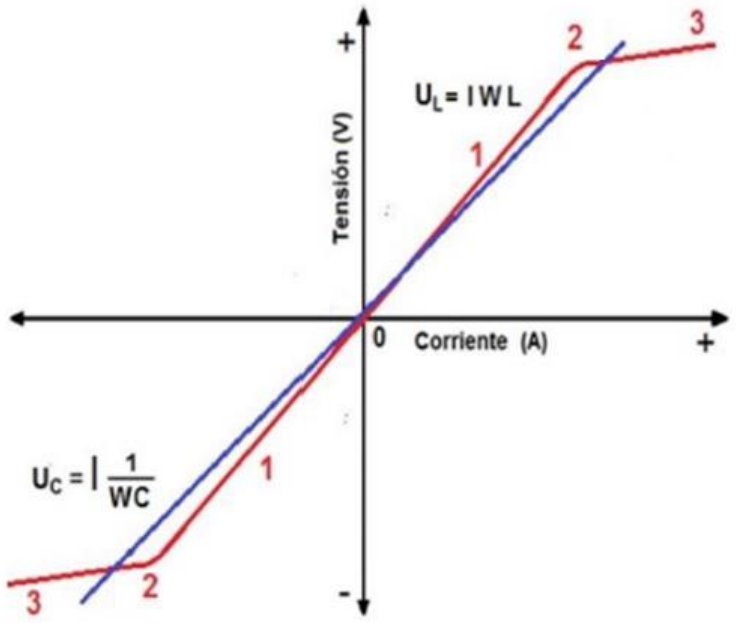



**Fig 4. Gráfica para analizar los puntos de resonancia en un circuito LC no lineal. Fuente: [11]**

La curva de magnetización muestra la relación variable entre la tensión y la corriente en un transformador. La tensión en la reactancia de magnetización tendrá la forma de lazo que tiene la curva de magnetización. WL es la pendiente que tendrá cada sección del lazo.

En la figura se observan tres zonas de intersección que podría satisfacer la igualdad $X_C \approx X_L$.
La zona 1 está en la zona de operación normal del transformador, es la región lineal, con flujo y corriente de excitación dentro de los límites de diseño. La zona 2 está en la rodilla de la curva. La zona 3 está en la región de saturación con grandes corrientes de excitación. Las zonas 1 y 3 son regiones de operación estables, mientras que el punto 2 es inestable donde los trasformadores no operan de forma estacionaria.

## 3. FERRORRESONANCIA EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD)

El concepto de Generación Distribuida (GD) se enfoca en el empleo de pequeñas plantas de generación de energía eléctrica que se localizan cerca de los centros de consumo. Dicha generación puede abarcar el uso de recursos renovables, la instalación de generadores o el uso de bancos de baterías [12] [13]. Su utilización ha cambiado considerablemente las concepciones de transmisión y distribución de electricidad a la vez que minimiza las pérdidas debidas al transporte de energía, incrementa la eficiencia y confiabilidad del sistema, optimiza el uso de los recursos, disminuye la contaminación ambiental y reduce el tamaño de las plantas [14].
Con la implementación de estos sistemas, no solo los generadores inyectan potencia a la red, sino que puede haber otros equipos y dispositivos asociados como transformadores de salida de planta, bancos de condensadores y baterías que pueden crear condiciones que propicien la aparición del fenómeno de ferrorresonancia.
Los sistemas de generación eólica o fotovoltaica, añaden a los sistemas de distribución, capacitancias adicionales, entre las que se encuentran los bancos de condensadores utilizados para compensar potencia reactiva. Si después de una conmutación para desenergizar el sistema, el polo de una de las fases del disyuntor no se abre, puede aparecer ferrorresonancia. En este caso y en cualquier otra condición de desequilibrio, los condensadores de los compensadores y conductores estarían en serie con el devanado del transformador de potencia [15].
En [16] se exponen las condiciones favorables para que ocurra el fenómeno de ferrorresonancia en parques eólicos, por ejemplo:

- Conexiones largas de conductores que alimentan los transformadores.
- Potencia de carga menor de 3 veces la del generador.
- Capacidad del sistema entre un 25% y un 50% de la potencia del generador.
- Maniobras de transformadores o líneas sin carga.
- Transformadores de potencial monofásicos en la red con neutro aislado o altamente inductivo.
- Conexión simultánea de transformadores y conductores (capacitancias).
- Subestaciones con transformadores con neutro aislado o inductivo.
- Protección con fusibles cuya fusión produce cortes no omnipolares.
- Defectos de aislamiento.
- Fuente con pequeña capacidad de cortocircuito (alternadores).
- Distorsión de la forma de onda de tensión y corriente.
- Desplazamiento del punto neutro por defecto monofásico en la red con neutro aislado.

En [17] los autores afirman como dato curioso, que en sistemas tradicionales de distribución la ferrorresonancia aparece comúnmente después de un desequilibrio en el sistema, sin embargo, en redes eléctricas en las que están conectadas unidades de generación distribuida, los factores que intervienen para la aparición de la ferrorresonancia no son los mismos y puede ocurrir en ausencia de desequilibrios.
Según [18], para cada unidad de generación distribuida que tenga asociados un transformador con características no lineales y un valor de capacitancia homopolar propicia, puede ocurrir ferrorresonancia si está operando en isla y el consumo de la carga conectada es bajo.

Las soluciones propuestas en [11] para evitar la ferrorresonancia se basan en utilizar un disyuntor trifásico en lugar de uno monofásico, un transformador de potencia con mayores pérdidas y con una conexión que no sea sensible al fenómeno. Además, la protección contra ferrorresonancia de los transformadores de potencial es asumida por relés de sobretensión.
En [19] los autores presentan el estudio del fenómeno de ferrorresonancia en condiciones de conmutación monopolar en un parque eólico en alta mar, que consta de 72 turbinas eólicas de 2,3 MW y 0,69 kV conectadas a la red a través de conductores soterrados, además de un banco de condensadores conectados por el lado de baja tensión de un transformador de 2,5 MVA, del sistema eólico, para compensar la potencia reactiva. En dicho estudio tienen en cuenta la longitud del conductor, así como un método para mitigar el fenómeno con el uso de pararrayos en el lado de alta tensión del transformador.
En la figura 5 se muestra el esquema planteado por los autores para las simulaciones.

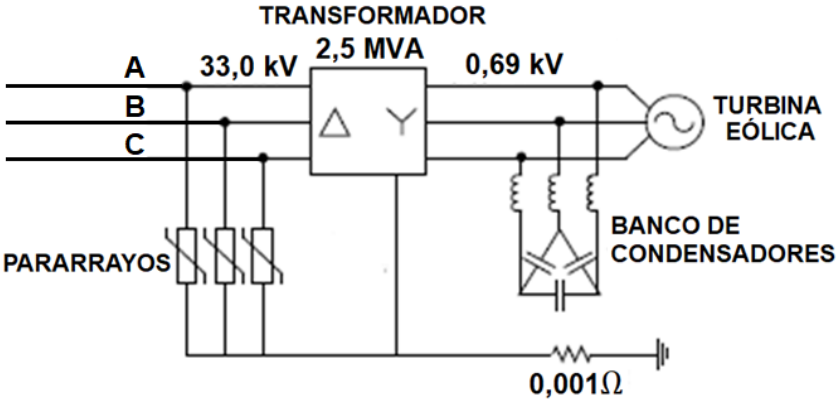



**Fig 5. Esquema del circuito modelado. Fuente:** [19]

En la figura 6 se muestra la forma de onda de la tensión en la fase C tanto por el lado de alta tensión como por el de baja tensión luego de la desconexión de las fases B y C, sin la conexión de los pararrayos.

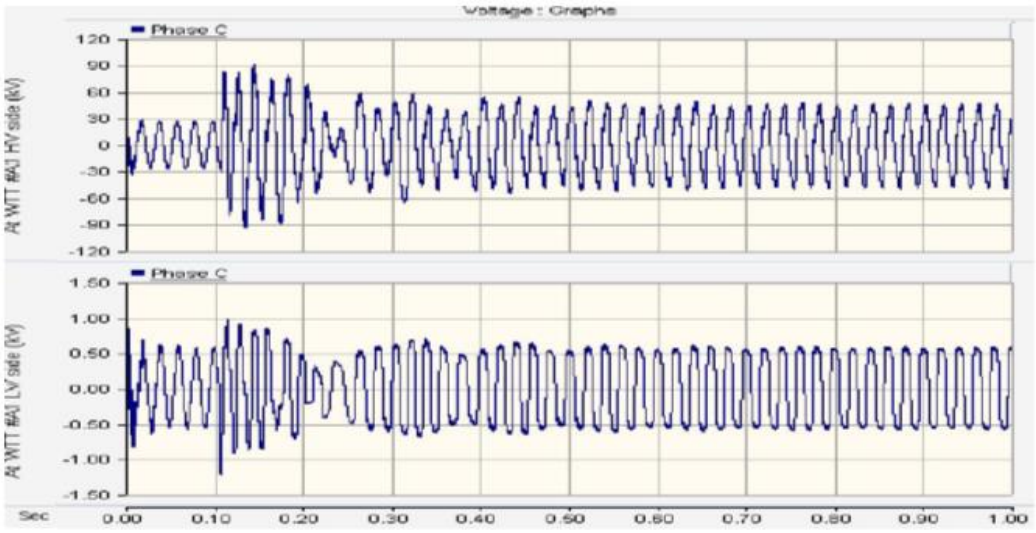



**Fig 6. Registros de la forma de onda de la fase C por alta tensión (superior) y baja tensión (inferior) sin el efecto de los pararrayos. Fuente** [19]**.**

En la figura 7 se muestra la forma de onda de la tensión en la fase C tanto por el lado de alta tensión como por el de baja tensión luego de la desconexión de las fases B y C, con la conexión de los pararrayos.

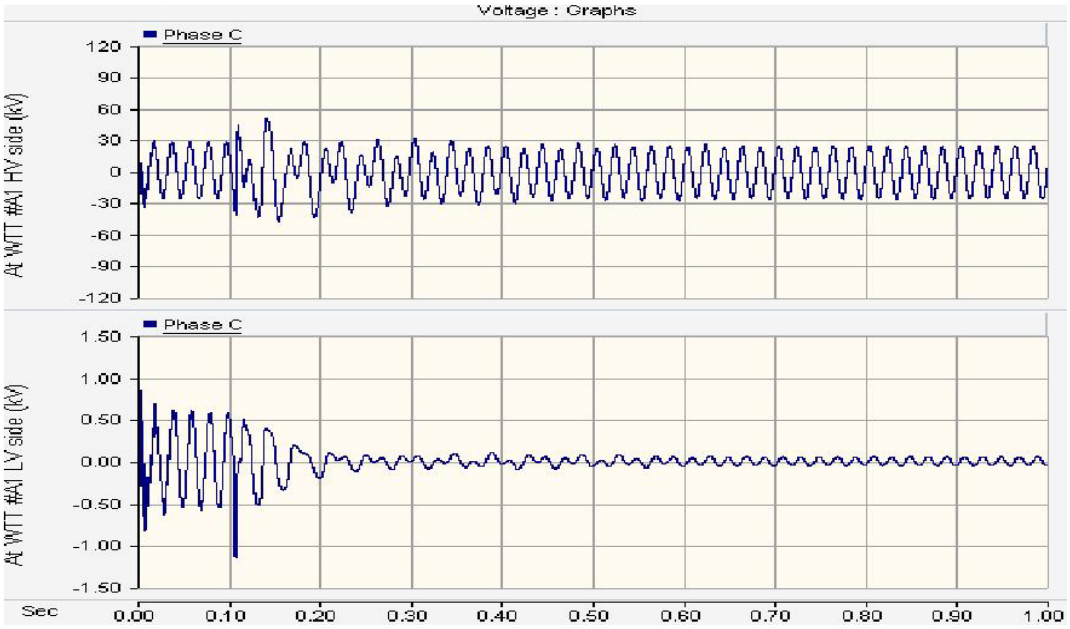



**Fig 7. Registros de las formas de onda de la fase C alta tensión (superior) y baja tensión (inferior) con el efecto de los pararrayos. Fuente** [19]**.**

En las figuras 6 y 7 se puede observar que, en esta condición, aparecen sobretensiones peligrosas para la operación del sistema debido al fenómeno de ferrorresonancia y cómo, con la propuesta de utilización de pararrayos, es posible mitigar el fenómeno.

En [20] se lleva a cabo un estudio de ferrorresonancia en una micro red compuesta por energía eólica y solar fotovoltaica, en el que las corrientes de frecuencias armónicas en la corriente de inrush del transformador, durante el trabajo en isla, interactúan con la inductancia y capacitancia del sistema y desencadenan el desarrollo de condiciones resonantes.

Durante la desconexión monofásica o bifásica del sistema fotovoltaico, se puede generar una sobretensión sostenida debido a ferrorresonancia [21].

Los autores en [22] presentan un estudio del fenómeno de ferrorresonancia en una red de distribución de 22 kV que cuenta con tres transformadores trifásicos (un transformador de 1 MVA y uno de 500 kVA) con un sistema solar fotovoltaico de 500 kW, el sistema presenta una línea de distribución de dos cables soterrados de 20 km y una sección de una línea de transmisión PI de 200 m. Presentan tres casos de estudio; un primer caso es considerar el efecto de ferrorresonancia debido a la conexión de un transformador de 1 MVA y dos de 500 kVA (por el lado de alta tensión) a un sistema fotovoltaico; un segundo caso teniendo en cuenta la desconexión del sistema fotovoltaico por el lado de baja tensión de un transformador de 500 kVA y un tercer caso con la desconexión del sistema fotovoltaico por el lado de baja tensión de un transformador de 500 kVA para diferentes valores de la capacidad instalada del parque fotovoltaico.

En la figura 8 se muestran los esquemas para los diferentes casos de análisis.

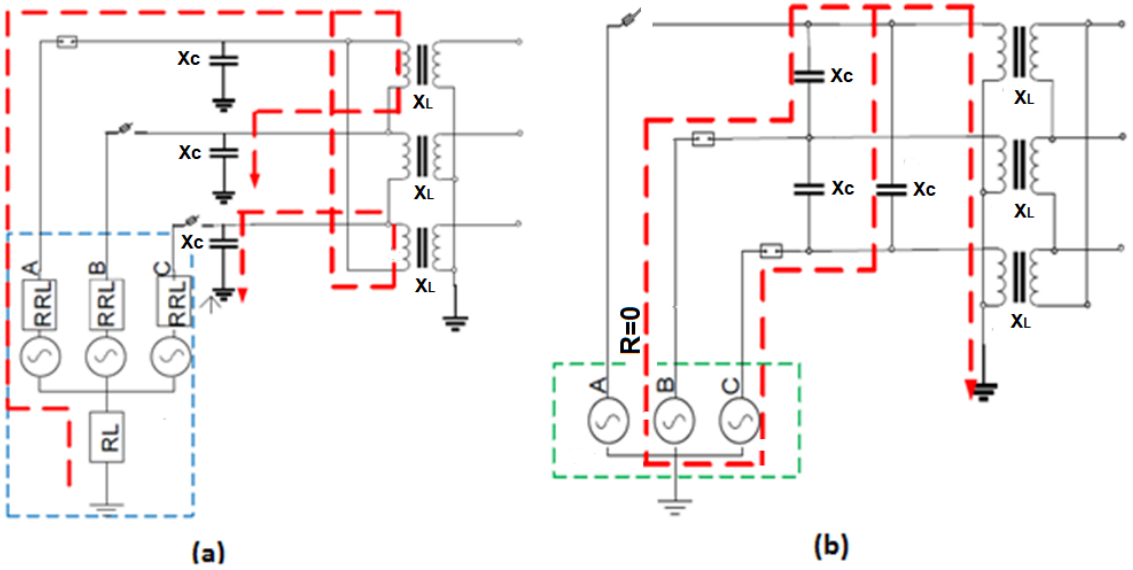



**Fig 8. Circuito ferrorresonante serie LC: (a) caso I, (b) caso II y III. Fuente** [22]**.**

En las figuras 9 y 10 se muestran los registros de las formas de ondas de tensión por el lado de alta de los transformadores de la red de distribución.

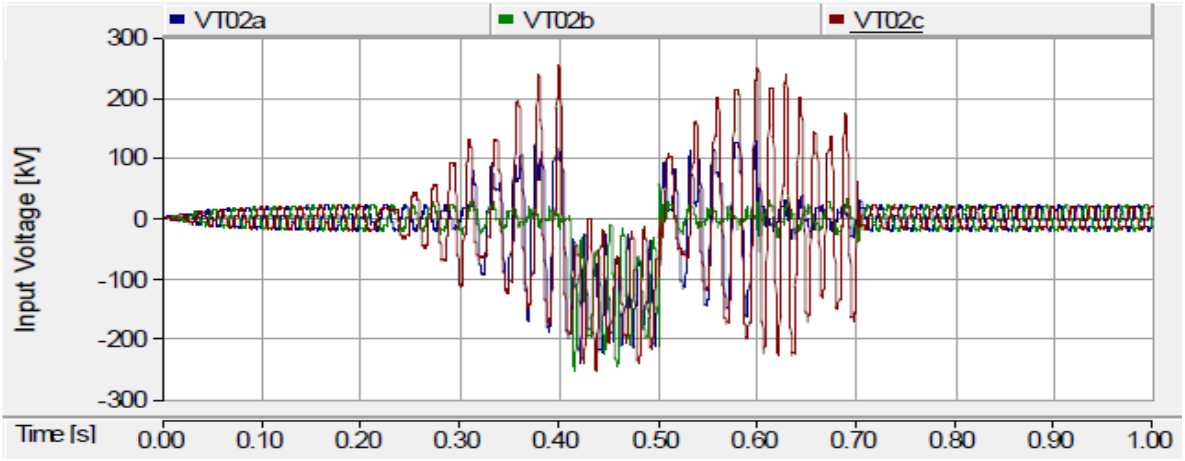



**Fig 9. Sobretensiones por ferrorresonancia (Transformador 1 MVA, Δ-Yn).**
**Fuente** [22]

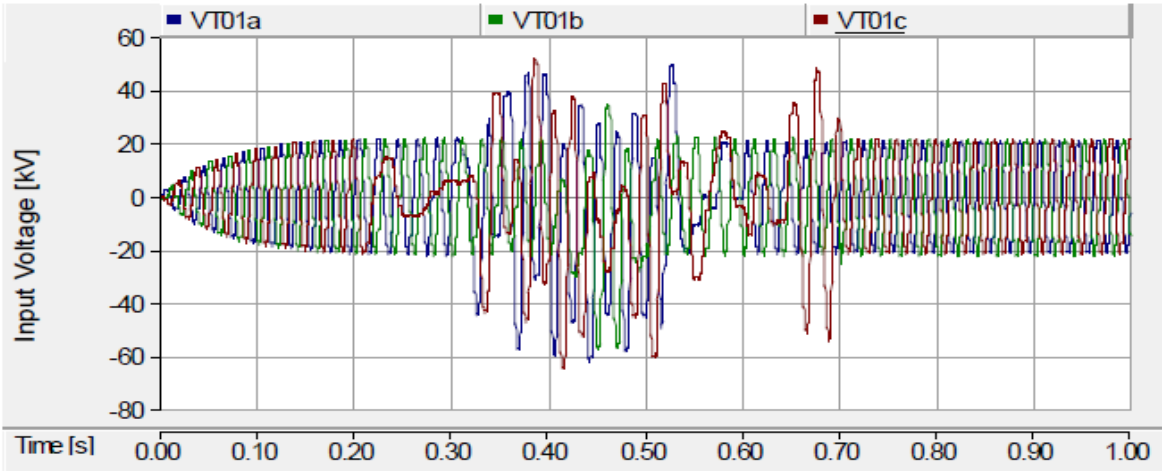



**Fig 10. Sobretensiones por ferrorresonancia (Transformador 500 kVA, Δ-Yn). Fuente** [22]

En las figuras 11 y 12 se muestran los registros de las formas de ondas de tensión por el lado de baja del transformador alimentado por el sistema fotovoltaico.

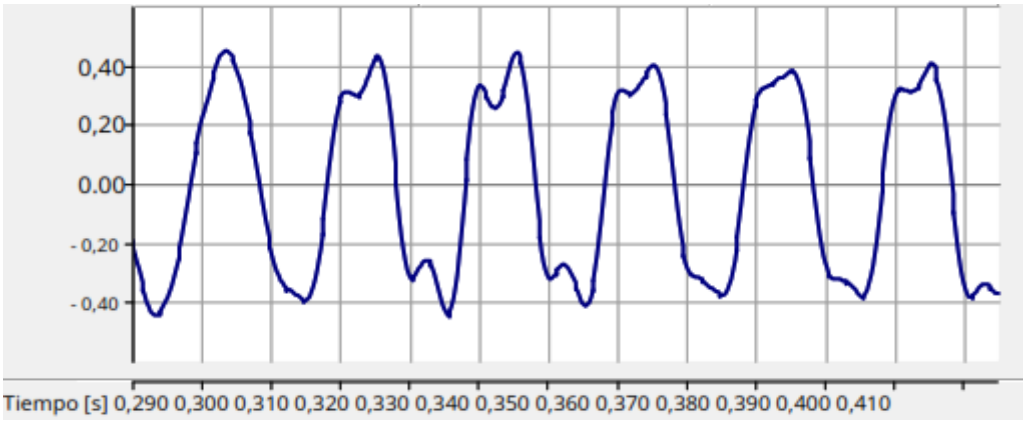



**Fig 11. Sobretensiones por ferrorresonancia (Transformador 500 kVA, Yn-Δ). Fuente** [22]

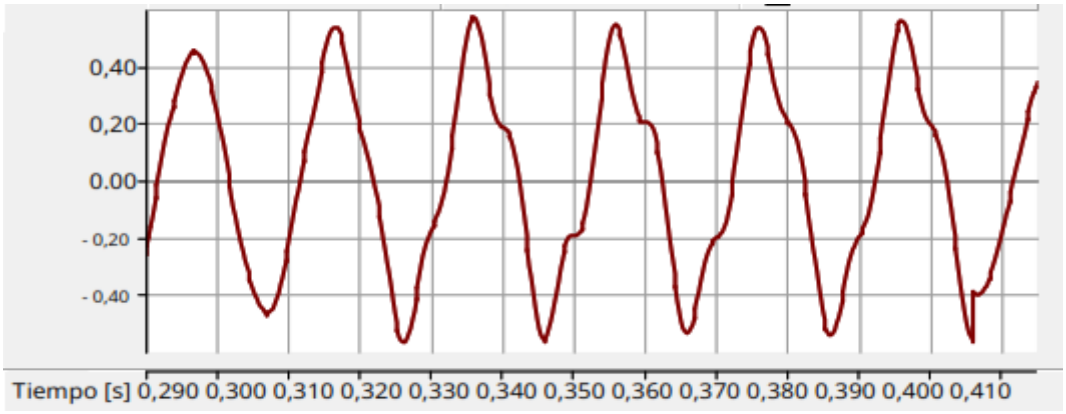



**Fig 12. Sobretensiones por ferrorresonancia (Transformador 500 kVA, Yn-Δ). Fuente** [22]

En dicho artículo, los autores muestran que la conexión y desconexión de fuentes de generación distribuida, cuando los interruptores son homopolares pueden provocar el fenómeno de ferrorresonancia, además de la configuración de los conductores soterrados, la tensión de la fuente a un devanado primario que esté conectado en estrella aislada o en delta, así como el incremento de la tensión en el sistema que en dicho caso es el sistema fotovoltaico

En [17] los autores analizan el fenómeno de ferrorresonancia debido a la operación homopolar de los interruptores, en una red interconectada a través de conductores soterrados, a un parque eólico. Los autores sugieren utilizar pararrayos con tensión residual que sea 1,2 veces el valor de tensión nominal de la red, para mitigar las sobretensiones transitorias. En la figura 13 se muestran las formas de onda de las sobretensiones ferrorresonantes de la red sin la conexión de pararrayos (registro superior) y con la conexión de pararrayos (registro inferior).
Además de esto, los autores proponen asociar con los pararrayos filtros de armónicos con el objetivo de disminuir los armónicos asociados a la ferrorresonancia.

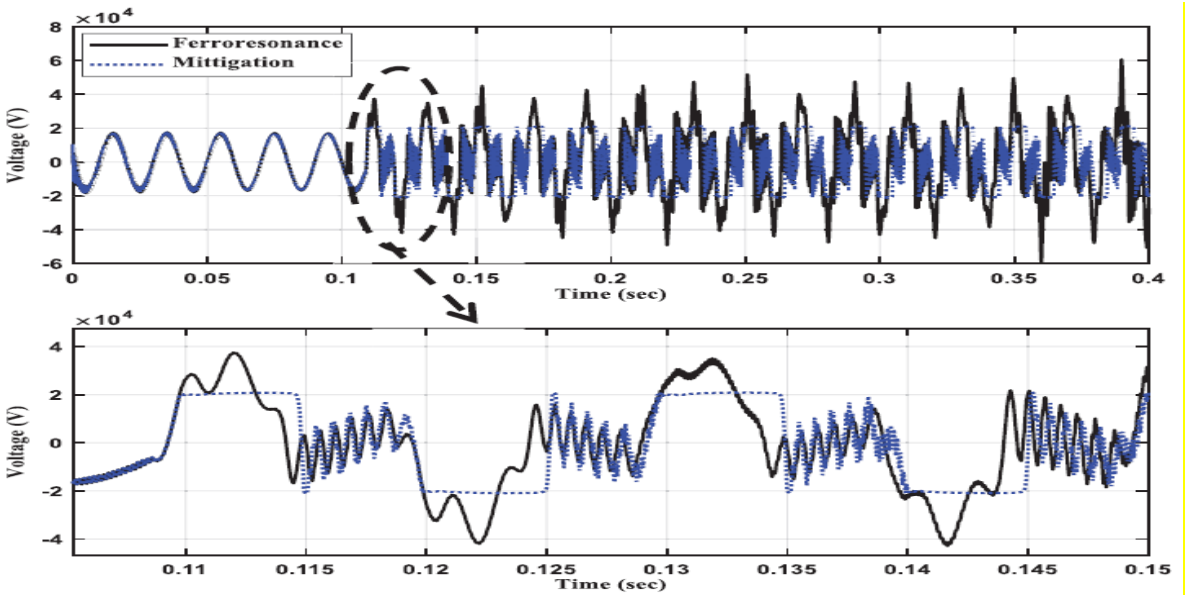



**Fig 13. Forma de onda de sobretensiones ferrorresonantes con y sin la conexión de pararrayos. Fuente** [17]**.**

En la mayoría de los artículos consultados, los alimentadores son conductores soterrados y frecuentemente se utiliza como método para mitigar el efecto del fenómeno de ferrorresonancia, descargadores (pararrayos) en los puntos más vulnerables.
En Cuba han ocurrido eventos de este fenómeno, comprobados solo en sistemas de distribución, pero no se ha estudiado el impacto del uso de la generación distribuida en la ocurrencia de la ferrorresonancia.

## 4. CONCLUSIONES

1. Es evidente y necesario el aumento del uso de la generación distribuida, y como se hace referencia en las investigaciones mencionadas, existen condiciones ligadas a esta forma de generación, que pueden incidir en la ocurrencia de la ferrorresonancia.
2. Un aspecto importante en la ocurrencia del fenómeno de ferrorresonancia es la conexión del neutro a tierra, tanto en sistemas de distribución como en sistemas con generación distribuida.
3. Cuando en la generación distribuida se utilizan bancos de condensadores para compensación de reactivo, se pueden dar las condiciones propicias para la ocurrencia de la ferrorresonancia.

4. En la mayoría de los artículos consultados, los alimentadores son conductores soterrados y frecuentemente se utiliza como método para mitigar el efecto del fenómeno de ferrorresonancia, descargadores (pararrayos) en los puntos más vulnerables.
5. En Cuba han ocurrido eventos de este fenómeno, comprobados solo en sistemas de distribución, pero no se ha estudiado el impacto del uso de la generación distribuida en la ocurrencia de la ferrorresonancia.

**REFERENCIAS.**

[1] M. Yang, W. Sima, P. Duan, M. Zou, y D. Peng, «Electromagnetic transient study on flexible control processes of ferroresonance», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. Vol.93, 2017.
[2] V. Valverde, J. Mazón, G. Buigues, y I. Zamora, «Ferroresonance suppression in voltaje Transformers», vol. Vol.88, n.º No1, 2012.
[3] S. Hassan, M. Vasiri, y S. Vadhva, «Review of ferroresonance in power distribution grids», *IEEE International Conference on Information Reuse Integration*, 2011.
[4] S. Rezaei, «Imopact of Ferroresonance on protective relays in Manitoba Hydro 230 kV electrical network», *IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2015.
[5] N. Yang, Y. Han, C. Wu, y R. Jia, «Dynamic analysis and fractional-order adaptive sliding mode control for a novel fractional-order ferroresonance system», *Chinese Phys*, vol. Vol.26, n.º No.8, 2017.
[6] «Detection of Ferroresonance Oscillations in Medium Voltage Network», vol. Vol.13, n.º No. 19, 2020.
[7] D. Zhang, X. Hu, y H. Zhang, «Ferroresonance Analysis of 500 kV GIS Substation during Commissioning Process», *IOP Conf. Ser Earth Environ. Sci.*, vol. Vol. 514, 2020.
[8] Orestes Hernandez Areu, Ovianyelis Perez Perez, y Julio Fernando Valle García, «Simulacion del fenomeno de ferrorresonancia en transformadores», *Ingenieria Energetica*, vol. 41, n.º 3, 2020.
[9] D. García del Sol, «Ferrorresonancia en Sistemas de Potencia», *Universidad Tecnologica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE*, oct-2022.
[10] O. Hernandez Areu y H. S. Llamo Laborí, «Estudio analítico de la posibilidad de ferroresonancia periódica en transformadores de distribución», 2009.
[11] O. Hernández Areu, *Monografía: La Ferrorresonancia en sistemas de distribución*. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas.
[12] AAEA, «Distributed Generation», *African American Environmentalist Association*, 2009.
[13] A. Escobar Mejia, C. Andres Torres, y R. A. Hincapie Isaza, «Connecting photovoltaic systems to the power grid», *Universidad Tecnológica de Pereira*, abr-2010.
[14] J. P. Valencia Quintero, «Generación Distribuida: Democratización de la energía eléctrica», *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, abr-2008.
[15] M. Monadi, A. Luna, J. I. Candela, y J. Rocabert, «Análisis de efectos de ferrorresonancia en redes de distribución con unidades de fuentes distribuidas.», 2020.
[16] «sobretenciones por ferrorresonancia en parques eolicos», p. libreria.blogspot.com/sobretenciones ferroresonantes.
[17] N. A. Sabiha y H. J. Alkhammash, «Mitigación de sobretensión de ferrorresonancia mediante supresor de sobretensión para parques eólicos conetados a la red», *Prensa científica tecnológica, automatización inteligente y computación*, 2021.
[18] S. Nesci, I. C. Gómez, y M. Marcos, «On Interconnection Transformers in Distributed Generation System», *Simposio de Energía de América del Norte*, 2011.
[19] M. E. Ebrahim A. Badran, «Investigation of Ferroresonance in Offshore Wind Farms», *Journal of American Science*, 2011.
[20] V. Jorge y K. Kumaran G, «Análisis de ferrorresonancia en una microred híbrida con mútiples recursos distribuidos.», *Conferencia Internacional sobre Técnicas Eléctricas, Electrónicas y de Optimización*, 2016.
[21] N. Thanomasat y B. Plangklang, «Fenómeno de ferrorresonancia en un sistema fotovoltaico en el lado BT de un transformador de potencia trifásico mediante simulación PSCAD», *Universidad de Burafá*, 2016.

[22] B. P. Nattapan Thanomsat, «Analysis of Ferroresonance Phenomenon in 22 kV Distribution System with a Photovoltaic Source by PSCAD/EMTDC», jul-2018.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Orestes Hernández Areu**: https://orcid.org/0000-0002-2672-239X
Graduado en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (CUJAE) en 1981. Doctor en Ciencias Técnicas en 1995. Participó en el diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Dailen García del Sol:** https://orcid.org/0000-0002-1425-7371
Graduada en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE) en 2018. Master en Ingeniería Eléctrica en 2022. Participó en el diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Ernesto Díaz Alfonso:** https://orcid.org/0000-0003-1837-058X
Graduado en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE) en 2018. Master en Ingeniería en 2022. Participó Diseño de la investigación, en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PÁGINA WEB PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE SALUD DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Jorge Juan Montané García[1][0000-0002-9390-1937], Orestes Nicolás Hernández Areu[2][0000-0002-2672-239X] and Luis Daniel Silva Suárez3[0009-0006-1710-238X]

[1] Retirado de la Unión Eléctrica, Planta Térmica "Ernesto Guevara de la Serna", Taller eléctrico, Vía Blanca km. 451/2, Santa Cruz del Norte, Mayabeque, Cuba
[2] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba,
[3] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: jorgemon@nauta.cu; jorgejuanmontanegarcia@gmail.com*

**RESUMEN**

Los transformadores de potencia (TP) son los componentes más importantes en los sistemas eléctricos de potencia; sus fallas generan pérdidas considerables. A nivel mundial, muchos TP se encuentran en sus etapas finales de vida; sus propietarios invierten solo lo necesario en mantenimiento y operación y, como desean conocer el estado real de los equipos en todo momento, para reducir sus fallas, se debe utilizar un método, utilizando la información disponible de operación, mantenimiento y diagnóstico, para estimar el estado de salud de los TP mediante la obtención del Índice de Salud (HI). Esto se vuelve más complejo en países en desarrollo, con problemas económicos que dificultan la adquisición de equipos de diagnóstico, por lo que se debe verificar si los métodos utilizados internacionalmente, que involucran el procesamiento matemático de la información disponible, son utilizables en las condiciones de estos países. Los autores no han encontrado referencias que indiquen que este aspecto haya sido abordado previamente. El HI del TP investigado se calculó mediante Excel, utilizando los datos proporcionados por las pruebas de diagnóstico que se pudieron realizar; Los resultados se corresponden con el estado general de cada equipo y la opinión de los expertos consultados, por lo que se verificó que uno de los métodos, utilizado a nivel internacional para calcular el HI, puede ser utilizado en condiciones donde las pruebas diagnósticas se realizan deficientemente. Posteriormente, se creó una página web para calcular el HI del PT y almacenar la información, lo que asegura independencia de métodos utilizados en otras latitudes.

**PALABRAS CLAVES:** Transformadores de Potencia, Índice de Salud, Página Web.

## POWER TRANSFORMER HEALTH INDEX CALCULATION WEB PAGE

**ABSTRACT**

Power transformers (PT) are the most important components in electrical power systems; their failures generate considerable losses. Worldwide, many PT are in their final stages of life; their owners invest only what is necessary in maintenance and operation and, as they wish to know the actual condition of the equipment at all times, in order to reduce their failures, a method, using the available operating, maintenance and diagnostic information, should be used to estimate the health condition of the PT by obtaining the Health Index (HI). This becomes more complex in developing countries, with economic problems that hinder the acquisition of diagnostic equipment, so it should be checked whether the methods used internationally, which involve the mathematical processing of the available information, are usable in the conditions of these countries. The authors have found no references indicating that this aspect has been addressed previously. The HI of the investigated PT was calculated by Excel, using the data provided by the diagnostic tests that could be carried out; the results correspond with the general state of each equipment and the opinion of the experts consulted, so it was verified that one of the methods, used internationally to calculate the HI, can be used in conditions where diagnostic tests are

poorly carried out. Subsequently, a web page was set up to calculate the HI of the PT and to store the information, which ensures independence from methods used in other latitudes.

**KEYWORDS:** Power Transformers, Health Index, Web Page.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# UNA APROXIMACIÓN AL MODELO DE GESTIÓN DE LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Mirel Alvarez Espinosa [1][0000-1111-2222-3333] and Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas [2][1111-2222-3333-4444]

[1] Unión Eléctrica. Habana, Cuba
[2] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: mirel@oc.une.cu

**RESUMEN**

En este artículo se aborda el desarrollo de un modelo de gestión de la cooperación internacional para el desarrollo de fuentes renovables de energía en las condiciones actuales de la economía cubana y del contexto internacional. Se explican los elementos conceptuales y teóricos de la gestión por procesos y los modelos que se aplican a nivel mundial. Se citan los principales elementos para llevar a cabo la cooperación internacional y las líneas de trabajo a desarrollar para su implementación. Se ha definido una estrategia que abarca cuatro líneas de trabajo para la gestión de la colaboración. El modelo propuesto permite obtener impactos económicos, tecnológicos, sociales y ambientales para el país con la introducción de fuentes renovables de energía a partir de la propia gestión de la institución, desde un enfoque intencional y sistémico para la gestión de la cooperación internacional. Su diseño contribuye a identificar brechas en función de fortalecer capacidades institucionales que incrementen el acceso a fuentes de financiamiento y a la tecnología necesaria para modificar la matriz energética cubana.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión, Cooperación internacional Fuentes renovables de energía

## AN APPROACH TO THE MODEL FOR THE INTERNATIONAL COOPERATION MANAGEMENT TO DEVELOP RENEWABLE ENERGY SOURCES

**ABSTRACT**

This article addresses the development for a model of international cooperation management to develop renewable energy sources in the current conditions of the Cuban economy and the international context. The conceptual and theoretical elements of process management and the models that are applied worldwide are explained. The main elements to carry out the international cooperation and the lines of work to be developed for its implementation are cited. A strategy has been defined that covers four lines of work for the collaboration management. The proposed model allows to obtain economic, technological, social and environmental impacts for the country with the introduction of renewable energy sources based on the institution's own management, from an intentional and systemic approach for the international cooperation management. Its design contributes to identify gaps in order to strengthen institutional capacities that increase access to financing sources and the technology necessary to modify the Cuban energy matrix.

**KEY WORDS:** Management, International cooperation, Renewable energy sources.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN TECNOLÓGICA DE PARQUES EÓLICOS DE LA UNIÓN ELÉCTRICA

Pavel Luis Angulo Peña [0000-1111-2222-3333] and Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas 2[1111-2222-3333-4444]

[1] Unión Eléctrica. Ave. Salvador Allende No. 666 entre Oquendo y Amistad, centro Habana, La Habana, Cuba
2 Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Cujae, Calle 114 No.11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: paveluis@oc.une.cu

**RESUMEN**

Cuba está firmemente comprometida con el desarrollo sostenible e inclusivo. Lograr este propósito requiere un enfoque integral de la innovación desde el nivel nacional hasta el local. En el país se promueven diversos mecanismos que incentivan el fortalecimiento de los vínculos entre el sector académico, la dirección gubernamental y el sector productivo y de servicios, que incluye la administración pública. El objetivo de esta investigación es mejorar el desempeño de las instalaciones de generación de energía eólica (EP) de la Corporación Eléctrica de Cuba (UNE), mediante una estrategia para su Gestión Tecnológica. Se emplearán los métodos histórico-lógico, inducción-deducción, estudio de casos, estadístico y análisis-síntesis. Se demuestra que el proceso clave es la gestión del mantenimiento y el indicador clave es el factor de capacidad, se expone el plan estratégico con las innovaciones y proyectos que tendrían mayor impacto, utilizando como caso de estudio el Parque Eólico de Gibara para validar los resultados.

**PALABRAS CLAVES:** Energía eólica; Gestión de la ciencia, la tecnología y la innovación.

## DESIGN OF A STRATEGY FOR THE TECHNOLOGICAL MANAGEMENT OF WIND FARMS IN CUBAN ELECTRIC CORPORATION

**ABSTRACT**

Cuba is firmly committed to sustainable and inclusive development. Achieving this purpose requires a comprehensive approach to innovation from the national to the local level. In the country, various mechanisms are promoted that encourage the strengthening of connections between the academic sector, government leadership and the productive and service sector, which includes public administration. The objective of this research is to improve the performance of wind power generation (EP) facilities at Cuban Electric Corporation (UNE), by means of a strategy for its Technological Management. The historical-logical, induction-deduction, study case, statistical and analysis-synthesis methods will be used. It is demonstrated that the key process is the maintenance management and the key indicator is the capacity factor, the strategic plan with the innovations and projects that would have the greatest impact is exposed, using the Gibara Wind Farm as a study case to validate the results.

**KEY WORDS:** Wind energy; Science, Technology and innovation management.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Evaluación de la estabilidad de frecuencia en el sistema eléctrico cubano con alto nivel de penetración de fuentes renovables de energía y sistemas de almacenamiento en baterías.

Lisner Cruz Sánchez 1[0009-0009-6550-3091] , Manuel Barroso Baeza 2[0000-0001-6474-4349] , Antonio Martínez García 3[0009-0008-5402-3933] , Miriam Vilaragut Llanes 41111-2222-3333-4444] , and Miguel Castro Fernández 5[0000-0002-3983-469X]

[1] National Electric Power System Control Center, Electric Union. Cuba
[2,3,4,5] Jose Antonio Echeverría Technological University of Havana, CUJAE. Havana Cuba.
e-mail: lisner@dnc.une.cu

**Resumen.**

La introducción acelerada de fuentes renovables de energía en los sistemas eléctricos hace necesario realizar estudios para evaluar su impacto y asegurar una operación estable. El objetivo de este artículo es realizar una evaluación de la estabilidad de frecuencia en el Sistema Eléctrico Nacional de Cuba desde el punto de vista de la respuesta inercial con la introducción masiva de parques solares fotovoltaicos y Sistemas de Almacenamiento de Energía de Baterías (BESS). Se muestra una descripción teórica de los problemas de respuesta inercial y estabilidad de frecuencia en un sistema eléctrico de potencia, y cómo se ve afectada por la introducción de la generación solar fotovoltaica. Se muestra cómo es posible utilizar dispositivos BESS para lograr una respuesta inercial sintética y se presenta el algoritmo de control implementado para tal fin. Se modela el Sistema Eléctrico de Cuba con la participación de BESS en un modelo concentrado; se calculan los valores de la constante de inercia, RoCof y nadir de frecuencia para diferentes escenarios de penetración de la generación solar fotovoltaica. Se analizan los resultados obtenidos y se da una valoración general sobre la estabilidad de la frecuencia en los escenarios estudiados.

**Palabras claves:** Frecuencia, Estabilidad, Constante de inercia

## Frequency behavior analysis in Cuban Electric System under conditions of high photovoltaic penetration.

**Abstract.**

The accelerated introduction of renewable energy sources in electric power systems makes it necessary to carry out studies to evaluate their impact and ensure a stable operation. The objective of this article is to carry out an evaluation of the frequency stability in the Cuban National Electric System from the point of view of the inertial response with the massive introduction of photovoltaic solar farms and Battery Energy Storage Systems (BESS). A theoretical description of the inertial response and frequency stability problems in an electric power system is shown, and how it is affected by the introduction of solar photovoltaic generation. It shows how it is possible to use BESS devices to achieve a synthetic inertial response and the control algorithm implemented for this purpose is presented. The Cuban Electric Power System is modeled with the participation of BESS in a concentrated model; the values of inertia constant, RoCof and frequency nadir are calculated for different penetration scenarios of solar photovoltaic generation. The results obtained are analyzed and a general assessment is given on the stability of the frequency in the studied scenarios.

**Keywords:** Frequency, Stability, Inertia constant.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Metodología para la detección de puntos calientes en sistemas fotovoltaicos.

Ítalo Humberto Navarrete García[1][0000-0003-0798-3321] , Leonardo Peña-Pupo[2][0000-1111-2222-3333] , María Rodríguez-Gámez[3][1111-2222-3333-4444] , Nathaly Juleidy CedeñoAcosta[4][1111- 2222-3333-4444] and Cristhian Leonel Cedeño Cuzme[5][1111-2222-3333-4444]

[1, 3, 4, 5] Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Ecuador
[2] Universidad de Oriente Facultad de Ingeniería Eléctrica., Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: italo.navrrete@utm.edu.ec

**Resumen.**

Una de las dificultades de los sistemas fotovoltaicos en lugares donde existe contaminación por polvo y otros tipos de contaminación como la salinidad, es que estos se depositan sobre la superficie de los módulos provocando aumento de temperatura y con ello la aparición de puntos calientes, todo esto hace que la productividad específica del panel disminuya. El objetivo de la investigación es proponer una metodología para la detección de los puntos calientes, para ello utilizamos como metodología la revisión bibliográfica, técnicas implementadas como el uso de la cámara termográfica y software, tuvimos como resultado una metodología donde se incorporaron todos los elementos necesarios para la detección y análisis de los puntos calientes del sistema estudiado.

**Palabras claves:** Termografía, paneles fotovoltaicos, contaminación

**Methodology for Hot Spot Detection in Photovoltaic Systems.**

**Abstract.**

One of the difficulties of photovoltaic systems in places where there is dust contamination and other types of pollution such as salinity, is that they are deposited on the surface of the modules causing temperature increase and thus the appearance of hot spots, all this makes the specific productivity of the panel decreases. The objective of the research is to propose a methodology for the detection of the hot spots, for this we used as methodology the bibliography review, implemented techniques such as the use of the thermographic camera and software, we had as a result a methodology where all the necessary elements for the detection and analysis of the hot spots of the studied system were incorporated.

**Keywords:** Thermography, Photovoltaic Panels, Pollution

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA COMO PILAR PARA EL CAMBIO DE LA MATRIZ ENERGÉTICA EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

**Maria Rodríguez Gámez[1], Antonio Vázquez Pérez[2], Miguel Castro Fernández[3], Miriam Vilaragut Llanes[3], Víctor Alfonso Martínez Falcones[4]**

[1]Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Ecuador
[2]Trabajador independiente, Manabí, Portoviejo, Ecuador
[3] Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, CIPEL, Cujae, Habana, Cuba
[4]Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Informática, Portoviejo, Ecuador
[1] e-mail: maria.rodriguez@utm.edu.ec

## RESUMEN

Desde el punto de vista del posible uso de la energía fotovoltaica para generar electricidad, la provincia de Manabí ubicada en el territorio costero del Ecuador posee uno de los niveles más elevados de la radiación solar incidente en relación con el resto del país, con un promedio anual de 4,98 kWh/m$^2$ día, mientras que su capital, Portoviejo, muestra un promedio anual de 4,85 kWh/m$^2$ día. Partiendo de las consideraciones anteriores las dificultades energéticas actuales se pueden mitigar aprovechando el recurso solar que es abundante en el territorio estudiado. En el trabajo se exponen los beneficios del uso de energía fotovoltaica para el cambio de la matriz energética en la provincia de Manabí como una vía para el tránsito hacia el uso de tecnologías con menos impacto ambiental. Para ello se utilizó como metodología la búsqueda bibliografía y la aplicación del sistema de información geográfica (SIG), desarrollado en la Universidad Técnica de Manabí para realizar los análisis cualitativos y cuantitativos de la propuesta. Se tuvo como resultado que la diversificación de la matriz energética es una solución viable por contar con los recursos de potencial energético renovable que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sentando las bases para un futuro energético sostenible y con un menor impacto al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** desarrollo sostenible, energía solar, potencial solar, generación distribuida

## PHOTOVOLTAIC ENERGY AS A PILLAR FOR THE CHANGE OF THE ENERGY MATRIX IN MANABÍ PROVINCE

## ABSTRACT

From the point of view of the possible use of photovoltaic energy to generate electricity, the province of Manabí located in the coastal territory of Ecuador has one of the highest levels of incident solar radiation in relation to the rest of the country, with an annual average of 4.98 kWh/m2 per day, while its capital, Portoviejo, shows an annual average of 4.85 kWh/m2 per day. Based on the above considerations, the current energy difficulties can be mitigated by taking advantage of the solar resource that is abundant in the studied territory. The paper presents the benefits of using photovoltaic energy to change the energy matrix in the province of Manabí as a way to move towards the use of technologies with less environmental impact. The methodology used was a literature search and the application of a geographic information system (GIS), developed at the Technical University of Manabí, to carry out qualitative and quantitative analyses of the proposal. The result was that the diversification of the energy matrix is a viable solution because of the renewable energy potential resources that help mitigate the effects of climate change by reducing greenhouse gas emissions, laying the foundations for a sustainable energy future with less impact on the environment.

**KEY WORDS:** sustainable development, solar energy, solar potential, distributed generation

## 1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Manabí tiene recursos energéticos renovables, caracterizados por un alto potencial solar durante todo el año, lo que permitiría migrar al uso de estas fuentes en concordancia con las estrategias encaminadas a tener un servicio eléctrico sostenible [1]. La introducción de sistemas fotovoltaicos (SSFV) no sólo ayudará a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino que, promoverá el camino al desarrollo sostenible, la creación de empleo y la resiliencia frente a los desastres naturales. Las políticas y programas de incentivos del gobierno ecuatoriano apoyan la trasformación hacia las fuentes renovables de energía (FRE), fortaleciendo la posición de Manabí como actor clave en la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible [2].

La sostenibilidad ambiental no es el único beneficio de los sistemas que aprovechan la energía solar, también hay consideraciones financieras. A medida que la tecnología de células solares avanza y se vuelve más eficiente los costos asociados con la energía solar disminuyen [3]. Esto no sólo hace que la energía solar sea una solución respetuosa con el medio ambiente, sino también económicamente viable a largo plazo.

El uso del concepto de generación descentralizada de energía solar tiene el potencial de transformar la infraestructura energética de Manabí. Las oportunidades locales de instalación y mantenimiento de las tecnologías fotovoltaicas pueden crear oportunidades de empleo a nivel comunitario y aumentar el desarrollo económico en la región [4], además de crear condiciones para facilitar la transición de la provincia hacia un sistema energético más sostenible y utilizar el apoyo financiero y el marco regulatorio que fomente la inversión en tecnologías solares a partir de las políticas y programas de incentivos implementados por el Gobierno ecuatoriano [5].

En Ecuador se está iniciando un nuevo proyecto basado en el uso de la energía fotovoltaica para la generación eléctrica a gran escala, que se pretende desarrollar en el Aromo en la provincia de Manabí [6], un proyecto que responde a un esquema de generación centralizado adjunto al Sistema Interconectado Nacional (SIN). El trabajo aborda la posibilidad de crear centrales generadoras a partir de SSFV, pero bajo el concepto de la Generación Distribuida (GD) con el objetivo de disminuir pérdidas y generar próximo al consumidor en la búsqueda de crear conciencia de ahorro y eficiencia en los usuarios [7].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se parte del concepto básico que una instalación de la generación distribuida persigue garantizar el suministro de electricidad en lugares próximos a la generación, lo que posibilita reducir las pérdidas de energía e incrementar el ahorro de fuentes primarias y reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. En este caso una central fotovoltaica conectada a la red de baja tensión del usuario que incorpora energía directamente al consumo entregando el excedente a la red eléctrica.

Para el desarrollo del trabajo se aplicó la observación directa e indirecta, que permitió el conocimiento de las particularidades y ventajas relacionadas con la aplicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión de los usuarios en el modo de la generación distribuida. Se utilizó el método deductivo en un tipo de investigación descriptiva analítica, que permitió el análisis de las características y ventajas que ofrece la generación distribuida y en particular los sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red de baja tensión de los usuarios.

Se empleó como metodología la llamada investigación de escritorio [8], con el objetivo de conocer las investigaciones realizadas en función de trazar estrategias que apoyen el cambio de matriz energética utilizando recursos autóctonos en el territorio, que pueden implementarse bajo el concepto de la GD [9], lo que impactaría positivamente en el sistema de distribución de la provincia en lo particular y el país de manera general, que atraviesa momentos con déficit de energía debido al estiaje que afecta la generación hidráulica nacional. Se utilizó el sistema de información geográfica (SIG) de fuentes renovables de energía desarrollado en la Universidad Técnica de Manabí (UTM), para recabar información sobre los

recursos energéticos disponibles en la región, así como método descriptivo y un enfoque cuasi-cuantitativo en el análisis de los resultados.

## 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 3.1. Posibilidades que brindan las FRE para alcanzar una diversificación de la matriz energética en la región de Manabí.

Existen actualmente algunos elementos básicos que están afectando el uso de las FRE en la región de Manabí. En primer lugar, aún no se comprende la dimensión de la GD para lograr un mayor ahorro de recursos y eficiencia energética. Los especialistas están anclados en los conceptos tradicionales de la generación centralizada, los grandes sistemas de transportación, distribución y suministro centralizado de la energía, que entorpece la política de diversificación energético del sistema. En segundo lugar, las limitaciones de financiamiento público para el desarrollo de las tecnologías energéticas renovables resultan un elemento fundamental que frena el desarrollo de la diversificación de la matriz energética.

Las FRE emiten poco o nada dióxido de carbono, lo que ayuda a reducir las emisiones de GEI y a mitigar el cambio climático, además ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles no renovables, cuya oferta es limitada y su extracción y transporte pueden resultar costosos.

En lo particular, la implementación de la energía fotovoltaica en Manabí apoyará la diversificación de la matriz energética de la provincia, permitiendo reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover la adopción de tecnologías con un menor impacto en el medio ambiente que las que aportan las tecnologías energéticas tradicionales que utilizan combustibles fósiles. En la figura 1, se muestran las ventajas de la diversificación de la matriz energética.

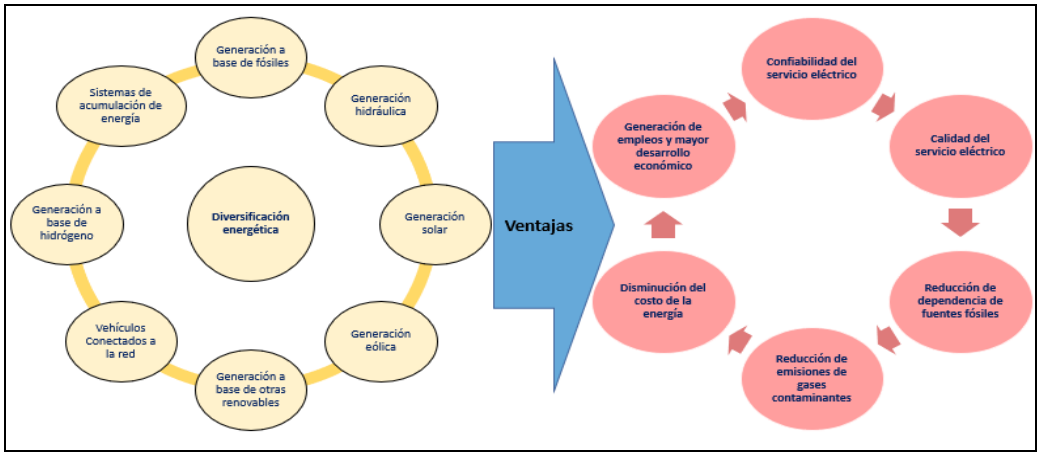



Figura 1. Ventajas de la diversificación de la matriz energética. Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la energía solar se puede producir localmente, lo que reduce la dependencia de otros territorios para mejorar la seguridad energética. Con su introducción se logra la creación de nuevos empleos, a partir de considerar que la instalación, mantenimiento y operación de los SSFV requiere una fuerza laboral dedicada y preferiblemente de la comunidad, así como el mejoramiento del desarrollo económico, creando oportunidades económicas a través del fomento de cadenas de suministro local de componentes y servicios [10].

En la actualidad una de las dificultades que se han encontrado, es que la contaminación ambiental de Portoviejo pone en riesgo la eficiencia de los módulos fotovoltaicos aumentando su temperatura debido a la suciedad que se impregna provocando que la temperatura aumente por lo que se han buscado soluciones a ello a partir de estudios térmicos realizados [11].

En el caso de los desastres naturales como sismos, que es un riesgo a lo que está sometida la provincia de Manabí, la energía solar descentralizada es más resiliente a los cortes de red, ya estos sistemas de suministros de energía pueden funcionar de modo independiente y proporcionar un suministro confiable de electricidad, incluso en situaciones de emergencia, lo que aumenta la confiabilidad del servicio de energía en la provincia ante los desastres naturales [12].

El gobierno de Ecuador ha implementado políticas de incentivos y programas de apoyo para fomentar la adopción de las FRE, incluida en ellos el uso de la energía fotovoltaica [13]. Estos programas pueden incluir incentivos fiscales, subsidios y tarifas eléctricas preferenciales para la producción de energía a partir de fuentes renovables, lo que ha alentado la inversión privada en proyectos solares, acelerando el desarrollo de infraestructuras solares en la provincia.

La participación comunitaria requiere una intervención pública activa en las actividades de instalación en hogares, escuelas y centros de salud; no sólo democratizando el acceso a la energía limpia, sino que promoviendo la conciencia ambiental de la población y en especial de los jóvenes [14].

### 3.2. Aplicación del Sistema de Información Geográfica para el desarrollo sostenible (SIGDS) en la provincia de Manabí.

El SIGDS, es una aplicación basada en los SIG, desarrollado por especialistas de las carreras de Ingeniería Eléctrica e Informática de la UTM, que se desarrolló con el objetivo de que los estudiantes, docentes, investigadores y tomadores de decisión tuvieran una herramienta adecuada para realizar estudios energéticos, ambientales y de riesgo por ser una provincia que presenta altos potenciales de radiación solar, problemas de contaminación y se encuentra sometida a diferentes riesgos de sismos, inundaciones y sequias [15]. Este se encuentra ubicado en https://geoportal.utm.edu.ec/, página de la universidad, en ella pueden tener acceso todas las personas que laboran en el centro y los que no son pueden pedir acceso como invitados, en la figura 7, se muestra la interfaz gráfica para los inventarios.

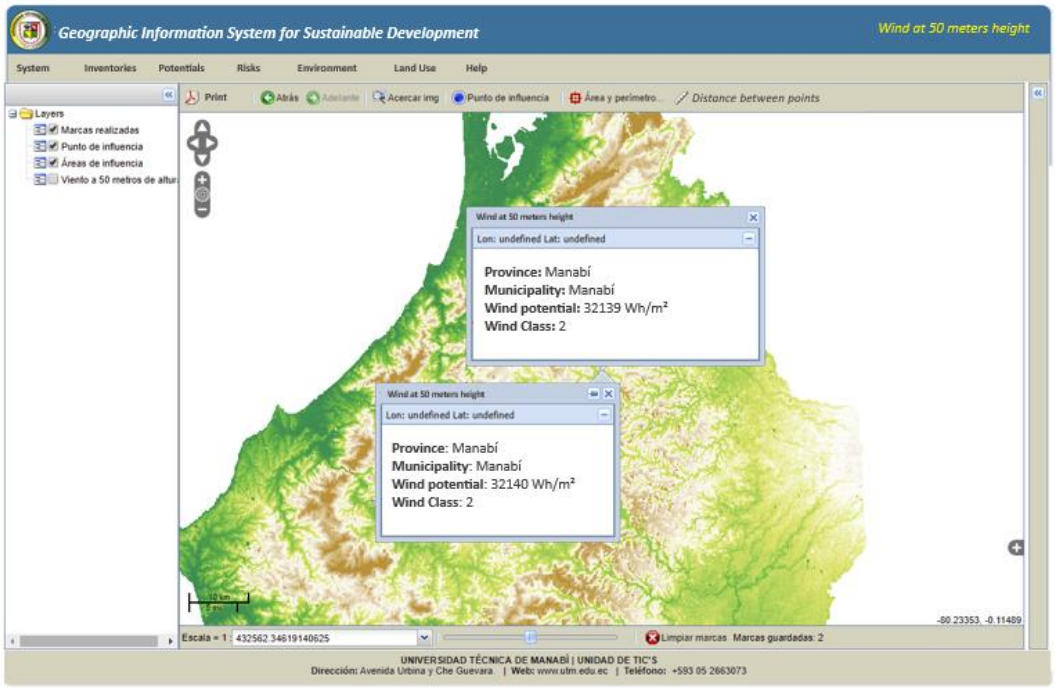



Figura 6. Interfaz gráfica para los inventarios. Fuente: [15].

Esta página se encuentra en actualización porque en ella se van incorporado los estudios que se van realizando en los proyectos de tesis de pregrado y maestrías. Algunos ejemplos prácticos se encuentran los realizados para determinar las áreas disponibles en el cantón Portoviejo para implementar sistemas fotovoltaicos [16], en su investigación realizaron un estudio para demostrar que es viable la introducción de la energía fotovoltaica en el cantón.

En los momentos actuales se SIGDS, encuentran enlazados los análisis de monitoreo de los parámetros eléctricos y de temperatura en tiempo real de las centrales fotovoltaicas instaladas por la carrera de eléctrica la del edificio 1, de la Facultad y la central de Lodana de la Facultad de Agronomía [17], logrando tener el monitoreo en tiempo real como se muestra en la figura 7.




Figura 7. Muestra en el SIGDS de los monitoreos en tiempo real. Fuente: [17]

Se monitorean parámetro de tensión, corriente, energía, factor de potencia, temperatura del módulo, humedad relativa, temperatura ambiente, todos estos parámetros se recolectan de forma daría, mensual y anual, lo que permitirá en un futuro poder evaluar el comportamiento de los sistemas instalados en otros procesos de investigación.

El SIGDS, se convierte en una herramienta poderosa para cualquier estudio de los que se programen, pudiendo utilizarse para realizar los análisis de recursos renovables de potencial energético renovable que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático, los estudios ambientales de contaminación que afectan la productividad de los sistemas al reducir, conocer la cantidad de $CO_2$ que se dejan de emitir, sentando las bases para un futuro energético sostenible y con un menor impacto al medio ambiente.

### 3.3. Experiencias de aplicación de la generación fotovoltaica en la región de Manabí.

La provincia de Manabí se encuentra ubicada en la región costera del Ecuador, pertenece a la zona 4, es una de las más alejadas del SIN que esta potenciado por la generación hidráulica del país, en épocas de estiaje cuando no hay suficiente recurso energético utiliza fuentes de generación convencional para satisfacer la demanda energética, fundamentalmente en horas pico [18]. La provincia de Manabí es una de las que tiene mayor cantidad de recursos autóctonos, siendo el potencial solar uno de los más elevados del país. En la figura 8 se muestra el mapa del potencial solar.

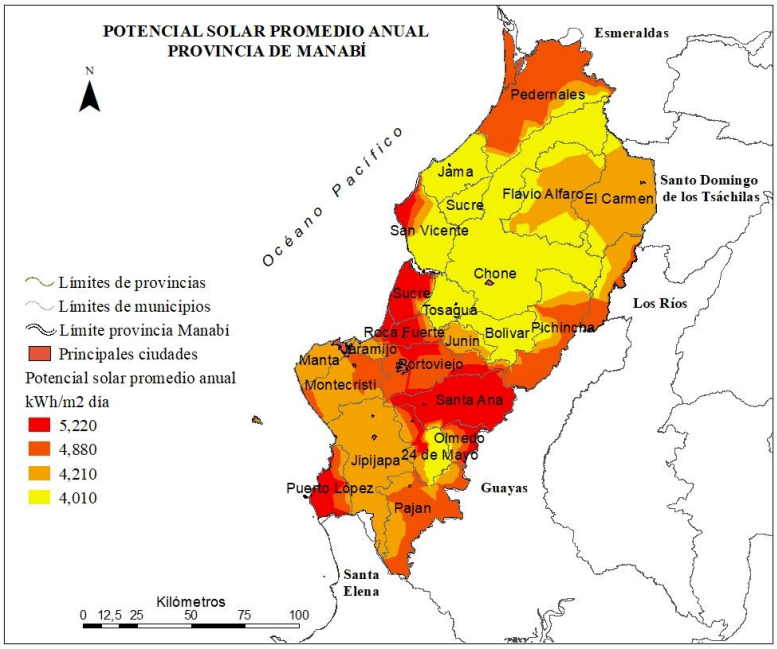



Figura 8. Potencial solar de la provincia de Manabí. Fuente: [18]

Como se observa en la imagen, los niveles de radiación en la provincia son elevados entre 3,8 a 5,19 kWh/m$^2$ día. Se experimenta una alta radiación solar durante todo el año proporcionando una base sólida para el desarrollo de la generación de electricidad fotovoltaica, ya que se maximiza la eficiencia de convertir la energía solar. Las infrecuentes condiciones climáticas extremas favorecen la instalación de paneles solares y su óptimo rendimiento.

La radiación solar en los cantones de Manta y Montecristi alcanza hasta 1.700 kWh/m$^2$/año, son valores superiores a 1.600 kWh/m$^2$/año que se presentan en Portoviejo y Jipijapa, valores ligeramente inferiores en Chone y El Carmen [18], lo que permite direccionar un programa intensivo para el aprovechamiento de la energía solar en la región de Manabí, comenzando con empresas y centros de estudio que funcionen en horario diurno, para un mejor aprovechamiento de la energía solar.

En la provincia se han introducido varios sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución. Uno de ellos es la central fotovoltaica ubicada en el Sitio Briceño, del cantón San Vicente en la provincia. El proyecto denominado Brineforcorp-Cabal Energy cuenta con una potencia nominal fotovoltaica de 1.118 kWp [19]. La central cuenta con 4.472 módulos fotovoltaicos del modelo YL250p-29b fabricados por Yingli Solar y su potencia máxima de conexión al SIN es de 999 kWac, teniendo como promedio una productividad anual de 1.148,02 kWh/kWp, dejando de emitir a la atmósfera 275.621,84 m$^3$ de $CO_2$ y evitando el consumo de 98,69 Tep, aunque el ahorro efectivo de petróleo puede ser hasta un 20% menor debido a las pérdidas del SIN del país. En la figura 9 se muestra una imagen panorámica de la central ubicada en Briceño. El proyecto Brineforcorp-Cabal Energy fue pionera en la provincia de Manabí y en los momentos actuales sigue funcionando con buenos resultados.

Otro ejemplo es el SSFV, conectado a la red de baja tensión del usuario, en la extensión universitaria de Lodana, el cual es un proyecto emblemático bajo el concepto de autoconsumo. Fue implementado en el cantón cabecera de provincia bajo el auspicio y apoyo de la Universidad Técnica de Manabí como caso de estudio. La investigación se desarrolló en las instalaciones de la extensión universitaria ubicada en el cantón Santa Ana, donde se localizan las Facultades de Ciencias Agrícolas, Agronómicas y Veterinarias. Un estudio previo fue realizado en la provincia de Manabí donde ya se consideraba la existencia de un potencial solar, adecuado, en la región, para la introducción de tecnologías fotovoltaicas conectadas directamente a la red de baja tensión de los usuarios [20].



Figura 9. Imagen panorámica de la central de Briceños. Fuente: [19].

La introducción de la energía fotovoltaica mediante el uso de las superficies de las edificaciones, techados de parqueos y pasillos exteriores, así como la utilización de terrenos improductivos, siempre que se encuentren cercanos a la instalación que será beneficiada con la tecnología, permite disminuir los impactos derivados de la utilización del espacio. Por tal razón, en la instalación de Lodana se consideró instalar la tecnología fotovoltaica en la superficie techada de la edificación, que cuenta con 975 $m^2$ de superficie utilizable. En la imagen de la figura 10, se observa la ubicación de los paneles fotovoltaicos del SSFV de Lodana.



Figura 10. Central fotovoltaica de Lodana. Fuente: [20].

Los resultados de la investigación para la aplicación del proyecto en la extensión universitaria de Lodana permitieron conocer, que la instalación tiene un consumo promedio anual de 293,8 MWh que equivale a un gasto de 31.304,79 USD por conceptos de pago de la planilla del consumo de electricidad a la empresa eléctrica. Se conoció que, del total de energía eléctrica consumida en el año, hay 214,1 MWh, consumidos durante las horas del día cuando la radiación solar se encuentra disponible de ser aprovechada, lo que representa el 73% del total [20].

En la figura 11 se refleja el comportamiento del consumo mensual de energía en el horario diurno (08:00-18:00 h) y el horario nocturno (18:00-08:00 h) en la extensión universitaria de Lodana en el cantón Santa Ana de la provincia de Manabí.

El análisis de la información permitió definir la conveniencia de evitar una parte del consumo de electricidad de la red eléctrica mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica. A partir de considerar el consumo de energía eléctrica de la entidad en horario diurno, la intensidad y calidad del potencial solar incidente en el sitio del proyecto y el espacio disponible para la instalación de la tecnología se concluyó un compromiso técnico consistente en la instalación de 70 kWp de tecnología fotovoltaica conectada directamente a la red de baja tensión del usuario.

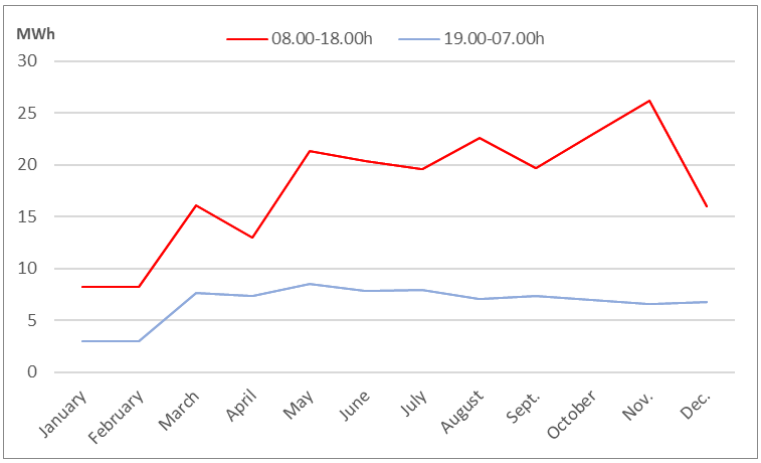



Figura 11. Consumo mensual de energía en el horario diurno (08:00-18:00 h) y el horario nocturno (18:00-08:00 h). Fuente: [20]

La idea inicial fue evitar anualmente un promedio del 42% de energía eléctrica de la red convencional, aunque con un comportamiento irregular a lo largo del año, motivado por el comportamiento estacional del potencial solar. En la figura 5 se muestra el comportamiento del aporte de energía fotovoltaica en relación con el consumo de electricidad mensual en la extensión universitaria de Lodana.

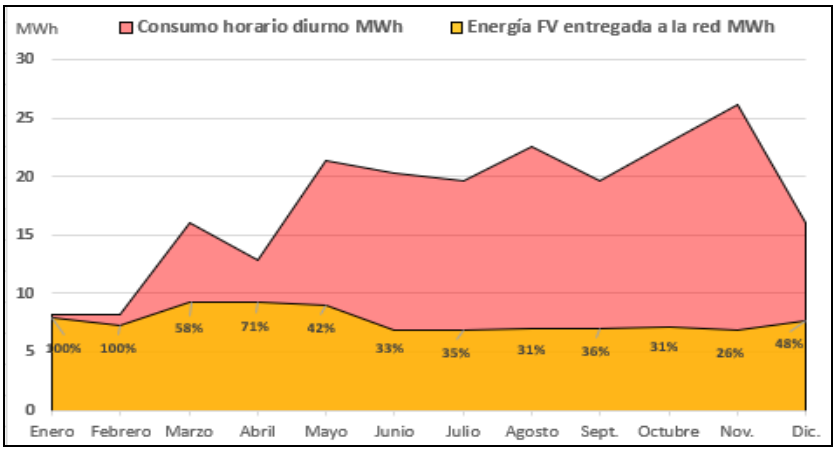



Figura 5. Comportamiento del aporte de energía fotovoltaica en relación con el consumo de electricidad mensual. Fuente: [20]

Durante el análisis económico de la inversión se calculó un costo total inversionista de 44.897,00 USD cubiertos con recursos propios de la UTM, una inflación del 3%, una amortización en 5 años con una tasa de descuento del 10%, un gasto por concepto de mantenimiento del 10%, con un ingreso anual proveniente del ahorro de la factura eléctrica de 11.850,30 USD y un tiempo de análisis de 25 años. Bajo estas premisas, el cálculo del valor actualizado neto (VAN) fue de 65.018,26 USD, la tasa interna de retorno (TIR) del 25% y un periodo de recuperación económica de 4 años [20].

Resulta importante destacar que, a partir de las fluctuaciones del costo de la energía y el aporte energético real operativo de la central fotovoltaica después de su instalación, el ahorro económico actual llega al 80%, con una nueva situación del impacto económico que permite estimar el VAN en 161.856,47 USD, con una TIR de 45% y 2 años para la recuperación económica de la inversión [20], lo que demuestra el carácter competitivo de la inversión cuando se realiza bajo el concepto de la GD.

A lo anterior debe adicionarse que, durante el ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica (25 años), puede ahorrar el consumo de 4.026 barriles de petróleo y dejar de emitir a la atmósfera 82,53 toneladas de gases contaminantes que aceleran el calentamiento global.

## 4. CONCLUSIONES

Al considerar la ubicación geográfica y las condiciones climáticas de la provincia de Manabí, se puede apreciar que existe un potencial importante de fuentes renovables, en especial de energía solar, que se puede aprovechar en interés del desarrollo del autoconsumo energético mediante sistemas fotovoltaicos, lo que permite considerar la viabilidad técnica de la instalación de estos sistemas en entornos industriales, comerciales y sociales del sector público y privado.

Por otro lado, la falta de preparación del personal técnico en el sector energético sobre la implementación y manejo de las FRE, y en especial los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión de los usuarios, bajo el concepto de la GD puede ser solucionado con un plan de capacitación que a nivel del gobierno regional se implemente, y en el cual la UTM puede ser baluarte en dicha preparación, junto a otras universidades del territorio.

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del SIGDS en la región, permite asegurar que en Manabí hay condiciones para lograr una diversificación real de la matriz energética regional, y de formas sostenible, si se crean las condiciones adecuadas para ello, comenzando por una política local de apoyo a la introducción de las FRE en el territorio, y una preparación del personal técnico energético de la región, bajo conceptos actuales de la GD y del uso de las tecnologías renovables.

## REFERENCIAS

[1]. RODRÍGUEZ M. V. A., La Energía Fotovoltaica en la Provincia de Manabí, UTM, 2018. https://utm.edu.ec/ediciones/libros-de-texto/713-la-energia-fotovoltaica-en-la-provincia-de-manabi

[2]. RODRÍGUEZ M., VÁZQUEZ A., VÉLEZ A. M. y SALTOS W. M., «Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales,» Revista Científica, vol. 33, nº 3, pp. 265-274, 2018. http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n33/2344-8350-cient-33-00265.pdf

[3]. RODRÍGUEZ C., «Compensación del número de paneles y baterías en los sistemas fotovoltaicos autónomos,» Universidad, Ciencia y Tecnología, vol. 15, nº 50, pp. 57-64, 2011 https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212011000200002

[4]. JARAMILLO C., BENITEZ J., ECHEVERRIA D., CEPEDA J. y ARCOS H., «Análisis del impacto de las energías renovables no convencionales en la planificación operativa de largo plazo del Sistema Nacional Interconectado utilizando la plataforma SimSEE,» Revista Técnica energía, vol. 18, nº 1, pp. 42-52, 2022. https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/526

[5]. MUÑOZ J. P., ROJAS M. V. y BARRETO C., «Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador,» Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, vol. 19, pp. 60-68, 2018. https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/19.2018.06/2145

[6]. GUERRA J. D., MOLINA J. C., MOROCHO A. F., y MORALES J. L.. Propuesta de una planta fotovoltaica de 824,86 MW en Manabí, Ecuador. RCTU [en línea]. 2022, vol.9, n.1, pp.85-100. Disponible en: https://doi.org/10.26423/rctu.v9i1.640

[7]. CELEC-EP, «Centrales térmicas en Manabí se encuentran operativas,» 2023. [En línea]. https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/noticias-noticias/centrales-termicas-en-manabi-se-encuentran-operativas/

[8]. Cimec, «Desk Research, qué es, pasos a seguir y porqué es importante utilizarlo,» 2024. https://www.questionpro.com/blog/es/desk-research/

[9]. QUEVEDO, F. D. O. V. E. I. L. H «Generación de energía fotovoltaica en viviendas rurales de la provincia del Cañar,» Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU), vol. 10, nº 2, pp. 35-49, 2023. https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.748

[10]. CARABALLO M. Á. y GARCÍA J. M., «Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas,» nº 84, pp. 571-609, 2017. https://doi.org/10.20430/ete.v84i335.508

[11]. NAVARRETE-GARCÍA, I., H., PUPO, L., P., RODRÍGUEZ-GÁMEZ, M., VALAREZO-MOLINA, L., A., MERA-MACIAS, J., C., CUENCA-ÁLAVA, L., A., GUERRERO-ALCÍVAR, M., S. (2024). Thermographic study in the Lodana-UTM extension photovoltaic power plant for the prevention ofbreakdowns. Journal of Law and Sustainable Development v.12, n. 2|pages: 01-18. https://ojs.journalsdg.org/jlss/article/view/3403/1654

[12]. VILLACRESES, C. G. «Análisis de la resiliencia territorial multidimensional frente al riesgo de desastres naturales en Manabí (Ecuador),» Universidad de Alicante, 2024. https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/143596

[13]. RODRÍGUEZ M., TORRES M., NUÑEZ J., VÁZQUEZ A.. Desarrollo local aplicado al esquema energético utilizando el sistema de información geográfica para la toma de decisiones. Instituto de Ingeniería y Ciencias Avanzadas (IAES) 12(4). Pág. 3343-3351. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp3343-3351

[14]. RODRIGUEZ M., VÁZQUEZ A., SALTOS W., W., GUARDARRAMA Y J.. El potencial solar y la generación distribuida en la provincia de Manabí en el Ecuador. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología (REIMAT), 2(2), 41-45. 2017. https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/1143

[15]. MARTÍNEZ V., RODRÍGUEZ M., BRAVO J., VÁZQUEZ A., VALENCIA J., y BOWEN C.. Implementation of a Geographic Information System for Sustainable Development, at the Universidad Técnica de Manabí. Revista Espacios, Vol. 40 (39) Pág. 26, 2019. http://dc.revistaespacios.com/a19v40n39/19403926.html

[16]. SALDARRIAGA J., y RODRÍGUEZ M.. Generación distribuida con fuentes de energía renovables en la parroquia Portoviejo – Ecuador. Revista Sapienza. Vol 3(14), 2022. https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.547

[17]. MARTÍNEZ V., COBEÑA A., PÉREZ J., CEDEÑO A., y ZAMBRANO R.. Sistema de monitorización ambiental para optimizar el rendimiento de paneles solares en entornos universitarios. Revista Internacional de Ciencias Físicas e Ingeniería, 8 (2), 26–35. 2024. https://doi.org/10.53730/ijpse.v8n2.15071

[18]. VÁZQUEZ, A. «El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí,» Universidad de Alicante, 2022. https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/129052

[19]. MOLINA S. A.. Energyfutur Energías Renovables planta fotovoltaica de 999 kWac en Ecuador. https://www.webdom.es/projectfiles/Ennergyfutur_Ecuador.pdf

[20]. RODRÍGUEZ-GÁMEZ, M., VÁZQUEZ-PÉREZ, A., LOOR-CASTILLO, G., GUERRERO, J., VILLACRESES-VITERÍ, C., NÚÑEZ ALVAREZ, J., Repotenciación energética mediante microrredes fotovoltaicas: un estudio de caso en el Provincia de Manabí en Ecuador, (2022) Revista Internacional de Aplicaciones de la Ingeniería (IREA), 10 (3), págs. DOI: https://doi.org/10.15866/irea.v10i3.20485

**Sobre los autores**

Lic. Maria Rodríguez Gámez, PhD, Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Docente titular a tiempo completo, Profesor e Investigador Titular, miembro de la Red del CYTED, Red para la integración a gran escala de energía renovable en los sistemas eléctricos. (RIBIERSE), Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional (RILCO). E-mail: maria.rodriguez@utm.edu.ec

Lic. Antonio Vázquez Pérez, PhD en el programa de desarrollo local sostenible. Trabajo Independiente, Manabí, Portoviejo, Ecuador, Profesor e Investigador Auxiliar, miembro de la Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional (RILCO). E-mail: antoniov5506@gmail.com

Ing. Miguel Castro Fernández, Dr. C.T. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Habana, Cuba. Profesor titular e investigador auxiliar. Miembro titular y coordinador de la Sección de Ciencias Técnicas de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC). Miembro de la Red del CYTED, Red para la integración a gran escala de energía renovable en los sistemas eléctricos. (RIBIERSE), E-mail: mcastro@electrica.cujae.edu.cu

Ing. Miriam Vilaragut Llanes, Dra. C.T. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Habana, Cuba. Profesora titular e investigadora agregada. Miembro de la Red del CYTED, Red para la integración a gran escala de energía renovable en los sistemas eléctricos. (RIBIERSE). E-mail: miriam@cipel.cujae.edu.cu

Ing. Victor Alfonso Martínez Falcones, Máster universitario en Ingeniería del Software y Sistemas Informáticos. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas, Docente. E-mail: victor.martinez@utm.edu.ec

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA DE CONTROL PARA OBTENER LA EFICIENCIA DE UNA TURBINA EÓLICA INTERCONECTADA A LA RED

Jorge de la Torre y Ramos[1[0000-0002-6601-2050]], Francisco Eneldo López Monteagudo[2[0000-0001-6082-1546]], Juan Carlos Guerrero Luján[3[0009-0005-7717-7466]], Leticia del Carmen Ríos Rodríguez[4[0000-0002-1005-020X]], and Leonel Ruvalcaba Arredondo[5[0000-0001-7031-8645]]

[1, 2, 3, 4, 5] Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. López Velarde No. 801, CP 98060 Zacatecas, México
e-mail: eneldolm@yahoo.com

**RESUMEN**

En este artículo se diseñó un sistema de control para la regulación de un convertidor electrónico de potencia con SCR para el acondicionamiento de la potencia generada por el sistema eólico de baja potencia con el objetivo de mejorar la eficiencia de un prototipo de aerogenerador de baja potencia interconectado a la RED, y se comparó el desempeño con un aerogenerador comercial bajo las mismas condiciones de voltaje, corriente y potencia a diferentes revoluciones por minuto. Mediante el algoritmo de control desarrollado con un convertidor electrónico de potencia tipo rectificador controlado por fase, se ajusta la corriente alterna de frecuencia y amplitud variables, entregada por el aerogenerador de baja potencia, a lo cual se realizaron pruebas de caracterización para obtener los valores de voltaje y las frecuencias a las que trabaja el generador. Finalmente, se realizaron pruebas al prototipo conectado a un aerogenerador construido por profesores y alumnos de la Universidad Tecnológica de Campeche, comprobando el correcto funcionamiento del convertidor, obteniendo los niveles de voltaje adecuados en el generador.

**PALABRAS CLAVES:** Convertidores electrónicos, Interconexión a la red, Aerogeneradores.

## CONTROL SYSTEM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF A WIND TURBINE INTERCONNECTED TO THE GRID

**ABSTRACT**

In this article, a control system was designed for the regulation of an electronic power converter with SCR for the conditioning of the power generated by the low-power wind system with the aim of improving the efficiency of a low-power wind turbine prototype interconnected to the GRID, and the performance was compared with a commercial wind turbine under the same voltage, current and power conditions at different revolutions per minute. Using the control algorithm developed with a phase-controlled rectifier type power electronic converter, the alternating current of variable frequency and amplitude, delivered by the low-power wind turbine, is adjusted, to which characterization tests were carried out to obtain the voltage values and the frequencies at which the generator works. Finally, tests were carried out on the prototype connected to a wind turbine built by teachers and students of the Technological University of Campeche, checking the correct operation of the converter, obtaining the appropriate voltage levels in the generator.

**KEY WORDS:** Electronic converters, Interconnection to the network, Wind generators.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO: EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**José Antonio Romero Paguay[1], David Sancho Aguilera[2], María Del Cisne Loján Carrión[3], Andrea Yajaira Romero Pazmiño[4].**

[1] Universidad Estatal Amazónica, C. Teniente Hugo Ortíz E45, Puyo, Ecuador. https://orcid.org/0000-0001-7870-2908, jromero@uea.edu.ec,.
[2] Universidad Estatal Amazónica, C. Teniente Hugo Ortíz E45, Puyo, Ecuador. https://orcid.org/0000-0001-5625-4198, dsancho@uea.edu.ec,
[3] Universidad Estatal Amazónica, C. Teniente Hugo Ortíz E45, Puyo, Ecuador. https://orcid.org/0000-0001-5345-5859, mlojan@uea.edu.ec,
[4] Universidad Estatal Amazónica, C. Teniente Hugo Ortíz E45, Puyo, Ecuador.
https://orcid.org/0000-0002-6734-1040,
e-mail: ay.romerop@uea.edu.ec,

**RESUMEN**

La energía solar fotovoltaica (ESFV) se ha consolidado como una fuente de energía limpia y renovable, crucial para mitigar los efectos del cambio climático. En Europa, esta tecnología ha avanzado considerablemente, mientras que, en América Latina, y específicamente en Ecuador, su adopción ha sido más lenta, aunque el país posee un alto potencial solar debido a su ubicación geográfica. La Universidad Estatal Amazónica (UEA), ubicada en Puyo, enfrenta un creciente consumo energético, proyectado en 281,57 kW para el año 2025. Actualmente, la UEA depende de la red pública y generadores a base de combustibles fósiles, lo que subraya la necesidad de implementar un sistema fotovoltaico. Este estudio propone la instalación de 1210 paneles solares, distribuidos en un área de 2407,24 m² sobre las terrazas de los edificios del campus. Este sistema ON GRID cubrirá la demanda energética proyectada, contribuyendo a la sostenibilidad y reduciendo la huella de carbono de la institución. Además, se destaca la importancia de un diseño adecuado que considere la orientación, inclinación y la hora solar pico (HSP) para maximizar la eficiencia energética. Revisiones periódicas serán esenciales para ajustar el sistema a las necesidades futuras de la UEA, asegurando un suministro energético confiable y sostenible.

**PALABRAS CLAVES:** Energía Solar fotovoltaica; Sostenibilidad; demanda energética.

**ABSTRACT**

Solar photovoltaic energy (ESFV) has established itself as a source of clean and renewable energy, crucial for mitigating the effects of climate change. In Europe, this technology has advanced considerably, while in Latin America, and specifically in Ecuador, its adoption has been slower, although the country has a high solar potential due to its geographical location. The Amazonian State University (UEA), located in Puyo, faces a growing energy consumption, projected at 281.57 kW by 2025. Currently, UEA relies on the public grid and fossil fuel-based generators, underscoring the need to implement a photovoltaic system. This study proposes the installation of 1210 solar panels, distributed in an area of 2407,24 m² on the terraces of the campus buildings. This ON GRID system will cover the projected energy demand, contributing to sustainability and reducing the institution's carbon footprint. In addition, the importance of a proper design that considers orientation, tilt and peak solar time (HSP) to maximize energy efficiency is highlighted. Regular reviews will be essential to adjust the system to the future needs of the UEA, ensuring a reliable and sustainable energy supply.

**KEY WORDS:** Photovoltaic solar energy, Sustainability, energy demand.

## INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica (ESFV) se posiciona como una fuente de energía renovable y limpia, con la capacidad de generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos (PSFV). Estos paneles convierten la luz solar en electricidad, que puede ser utilizada en diversas actividades cotidianas (Carballo, 2016). A lo largo de los años, a nivel mundial, se han producido varios cambios en la generación de energía, con Europa liderando en comparación con América Latina y Ecuador (Dávila, 2020). En la Unión Europea, la producción de energía fotovoltaica alcanzó los 105 000 MW en 2012, lo que permitió satisfacer el 11,4% de sus necesidades eléctricas (Dávila, 2020). Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos: autónomos o aislados, e interconectados, los cuales se aplican en función de las necesidades específicas (Dávila, 2020). El sistema autónomo se utiliza principalmente en comunidades aisladas o en áreas sin acceso a la red eléctrica. Este sistema almacena la energía en baterías para su uso durante la noche (SA, 2019). El proceso de los paneles solares consiste en convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante celdas solares, las cuales absorben los fotones, energía emitida por el sol, para liberar electrones (Energía, 2020). Actualmente, los sistemas fotovoltaicos están compuestos por celdas de silicio amorfo, policristalino o monocristalino, garantizando una conversión del 10% al 26% (Cabezas Maslanczuk, Franco Brazes, & Fasoli Tolosa, 2018). Al comparar diferentes tipos de paneles en el mercado, se encuentran opciones con potencias nominales que varían entre 260 Wp y 700 Wp, medidas en condiciones estándar (STC), lo que indica su capacidad máxima de generación eléctrica (Lorenzo, 2024). Conocer el consumo energético es crucial para dimensionar correctamente un sistema solar fotovoltaico. Por ejemplo, un panel solar de 450 vatios en una zona con 1 400 horas de sol al año genera 5 840 kWh de energía anual, lo que implica la necesidad de aproximadamente 10 paneles solares para alcanzar esa producción (A.G. Power, 2023). Los sistemas interconectados, por otro lado, se caracterizan por estar conectados a la red pública o a la empresa proveedora de energía (Briones, 2022). Los captadores solares pueden ser instalados en cualquier tipo de vivienda; para optimizar su rendimiento, es fundamental considerar la dirección, inclinación, área disponible y la presencia de elementos que puedan obstruir la luz solar (Grupo Gimeno, 2023). La latitud del sitio también juega un papel crucial en la orientación de los paneles solares, asegurando una captación óptima de luz solar durante todo el año (Cordero, 2024). La hora solar pico (HSP) se basa en la cantidad de energía que un panel solar puede generar diariamente, medida en horas por metro cuadrado, y depende de la localización y las estaciones del año (EFIMARKET, 2024). En California, un proyecto solar de 875 MW se ha destacado como un titán de la energía renovable, compuesto por casi 2 millones de paneles solares y un sistema de almacenamiento de energía con una capacidad superior a 3 GWh (Kenendy, 2024). Chile, en su esfuerzo por diversificar su matriz energética, ha desarrollado el proyecto Atacama Solar en la región de Tarapacá, la cual posee los mayores índices de radiación solar del planeta. Este proyecto incluye la construcción, montaje, operación y mantenimiento de un parque solar de 250 MW, junto con sus subestaciones de 23 kV y 220 kV y sus correspondientes tendidos eléctricos (Ingeniería, 2011). Ecuador, debido a su ubicación geográfica estratégica, recibe una abundante cantidad de luz solar durante todo el año, colocándolo en una posición privilegiada por su alto potencial solar. La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables menciona que Ecuador recibe una radiación que oscila entre 4,5 kWh/m² y 6 kWh/m², destacando las zonas costera y sur del país (Inca Yajamín, Villalta Gualán, et al., 2023). La energía solar en Ecuador está adquiriendo una nueva perspectiva para promover el uso de energía sostenible. Gracias a su ubicación geográfica, el país cuenta con 12 horas solares diarias independientemente de la estación del año (Inca Yajamín, Cabrera Carrión, et al., 2023). En Ecuador, donde el sol se encuentra en su cenit durante la mayor parte del año, se recomienda una inclinación de 5 grados para los paneles solares, evitando así la acumulación de polvo y asegurando su correcto funcionamiento (Cordero, 2024).

Ecuador ha enfrentado recientemente fuertes sequías que han provocado una crisis energética a nivel nacional, lo que ha impulsado al gobierno a lanzar un mapa solar con siete proyectos fotovoltaicos en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo (Redacción, 2024). En el país, la energía renovable representa el 51,78% de la matriz energética, siendo la principal fuente la energía hidráulica con un 49,72%, mientras que la fotovoltaica representa un 0,14%, según datos de Arconel en 2015 (Latorre Izquierdo & Barco Ortega, 2002). En el presente año, debido al cambio climático, Ecuador ha experimentado afectaciones en los sistemas de generación hidroeléctrica, lo que ha llevado al gobierno a impulsar nuevas formas de generación eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos (Inca Yajamín, Cabrera

Carrión, et al., 2023). La energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa limpia y sostenible para la generación de electricidad, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y ayudando a mitigar los efectos del cambio climático (Acciona, s.f.).

En la Universidad Estatal Amazónica (UEA) no se cuenta actualmente con un sistema de generación de energía limpia; el principal proveedor de energía es la Empresa Eléctrica Ambato S.A. Como respaldo, la UEA dispone de generadores eléctricos a base de combustibles fósiles. Por esta razón, se plantea la necesidad de realizar un estudio para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica. En el campus principal de la UEA, ubicado en Puyo, se estima que la demanda energética es de 196 994,54 W, con un consumo de 677 040 kWh en 2019, y se proyecta un aumento de 281 569,05 W para 2025 (Romero Paguay, et al., 2024).

Además, la NASA predice valores globales de radiación solar, aunque estos son solo estimaciones, y la ciudad de Puyo no cuenta con estudios específicos sobre la radiación solar recibida anualmente (Romero, 2022), sin embargo, existen empresas especialidades en el suministro de datos y servicios relacionados con la energía solar como INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) y Solargis (Mapas de recursos Solares y datos SIG) que ofrecen mapas  datos GIS (Sistema de Información Geográfica) y herramientas de análisis que permiten evaluar el potencial solar en diferentes regiones del mundo, en la Figura 1 se muestra los promedios de las regiones que tienen potencial Fotovoltaico.

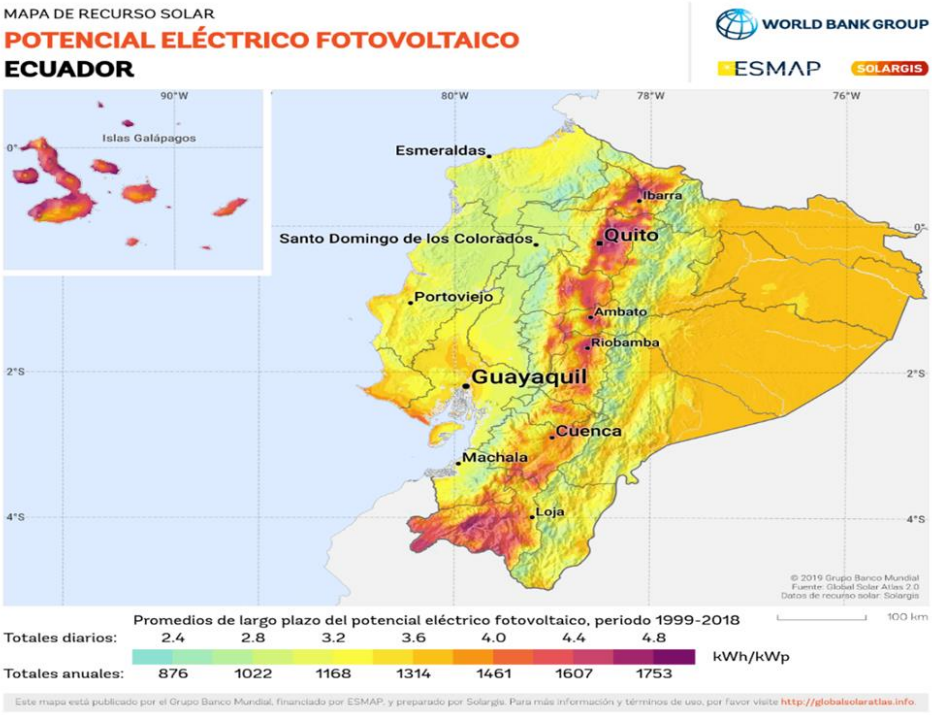



Figura 1: Potencial Eléctrico Fotovoltaico.

Nota: Información obtenida de la empresa Solargi.com, esta página tiene los mapas y productos de datos bajo la licencia Creative Commons.

Este estudio se fundamenta en la implementación de varios proyectos de energía solar en comunidades amazónicas, liderados por la Fundación Alianza Ceibo. Esta organización ha instalado 150 sistemas de paneles solares en comunidades de las nacionalidades Waorani, Siona, Siekopai y A'i Kofan, ubicadas en las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana. Cada sistema incluye paneles solares de 250 W, con dimensiones de aproximadamente 1,6 m por 1 m, optimizados para capturar la mayor cantidad de

radiación solar. En las comunidades wao de Teweno y Sharamentsa, en Pastaza, se han instalado 12 sistemas desde diciembre de 2021, cada uno compuesto por dos paneles solares de 250 W. Estos sistemas han reducido el uso de combustibles fósiles y han contribuido a un entorno más sostenible, además de facilitar el transporte con barcos solares que no contaminan los ríos, los sistemas han sido adaptados para

soportar las condiciones climáticas exigentes de la Amazonía, dando la viabilidad para implementación de sistemas fotovoltaicos (Fundación Alianza Ceibo, 2021).

**METODOLOGÍA**

El estudio empleó un enfoque cuantitativo, orientado a analizar el consumo energético y la capacidad de generación solar en la Universidad Estatal Amazónica (UEA). Se utilizó un diseño no experimental, adecuado debido a la preexistencia de sistemas de captación de energía solar, como paneles fotovoltaicos, en la región de la Amazonía ecuatoriana. Este diseño permitió una evaluación exhaustiva de la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico en la UEA, mediante la recolección y análisis de datos cuantitativos pertinentes.

En la identificación y evaluación de sitios, Se seleccionaron bloques de aulas adecuados para la instalación de paneles solares, evaluando la orientación, inclinación y capacidad estructural de los techos. En esta etapa, se utilizó Microsoft Visio versión 2023 para crear diagramas detallados que representaran visualmente la distribución de los componentes del sistema fotovoltaico, como paneles, inversores y el cableado eléctrico. La funcionalidad de Visio permitió adaptar las formas prediseñadas disponibles a las características estructurales específicas de los techos de la UEA, facilitando la evaluación y presentación del diseño en un formato compresible tanto para los técnicos como para el personal administrativo. Este esquema visual fue fundamental para garantizar la claridad en el proceso de instalación, conectando todos los elementos de manera precisa y ofreciendo una visión integral del sistema antes de su implementación.

En el análisis de la demanda energética, se analizaron los datos históricos de consumo eléctrico de la universidad, registrados entre 2022 y 2024. A partir de estos datos, se realizaron proyecciones hasta el año 2025, con el fin de determinar la cantidad de paneles necesarios para satisfacer la demanda futura. Para complementar este análisis, se recurrió al Sistema NASA Power (HSP), que proporciono información detallada sobre las horas Solar Pico (HSP) de la región. El sistema permitió obtener datos históricos y proyecciones futuras de la irradiación solar, fundamentales para ajustar el diseño del sistema a las condiciones climáticas locales. Se ejecuto el sistema ingresando las coordenadas exactas de la UEA, lo que genero un conjunto de datos precisos sobre la irradiación solar diaria utilizable, permitiendo así optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico y asegurando su capacidad para satisfacer la demanda energética proyectada.

En cuanto al diseño del sistema fotovoltaico, se desarrolló un sistema ON GRID de 508 kWp, distribuyendo 1 210 paneles solares que se integrarán a la red pública a través de un medidor bidireccional. Para el diseño y la planificación detallada del rendimiento energético del sistema, se utilizó el Atlas Solar Mundial. Esta herramienta permitió realizar simulaciones precisas del rendimiento del sistema fotovoltaico, proporcionando datos sobre la irradiación solar global en la ubicación exacta de la universidad. El equipo de investigación ejecutó el Atlas Solar Mundial seleccionado el área geográfica correspondiente en el mapa y obteniendo información detallada sobre la irradiación solar directa y difusa. Estos datos sirvieron para calcular la producción energética anual del sistema y optimizar el número y disposición de los paneles solares para maximizar su eficiencia. La funcionalidad del Atlas también permitió comparar distintas configuraciones del sistema seleccionar la opción más viable tanto técnica como económica.

Finalmente, para la recolección y análisis de datos, se utilizaron métodos estadísticos rigurosos para evaluar la capacidad de generación solar y la reducción de $CO_2$, que podría lograrse con la implementación del sistema fotovoltaico. La integración de estas herramientas de simulación y visualización contribuyó a desarrollar un análisis detallado y preciso, asegurando que las decisiones sobre la implementación del sistema se basan en datos sólidos y proyecciones confiables. Las herramientas como Microsoft Visio, el Atlas Solar Mundial y el Sistema NASA Power fueron fundamentes para optimizar cas etapa del proyecto, desde el diseño hasta la ejecución, maximizando la viabilidad y el impacto del sistema fotovoltaico en la UEA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los años 2020 y 2021, la Universidad Estatal Amazónica (UEA) experimentó un consumo eléctrico significativamente bajo. Este comportamiento fue consecuencia de la pandemia de COVID-19, que obligó a que las actividades académicas y administrativas se realizaran de manera virtual. Como resultado, el consumo de electricidad en estos años fue considerablemente inferior en comparación con los otros periodos.

A partir del año 2022, se inició un incremento progresivo en el consumo de electricidad en la UEA. Durante el periodo de abril a diciembre de 2022, se registró el mayor consumo en diciembre, con un valor total de 20 351,10 kWh, lo que reflejó la intensa actividad académica en la Matríz de Pastaza. Por el contrario, el consumo más bajo de ese año se observó en junio, con 2 100 kWh, coincidiendo con una menor actividad institucional.

En el año 2023, aunque algunas actividades académicas continuaron realizándose de manera virtual hasta octubre, se registró un aumento significativo en el consumo energético. Este incremento fue particularmente notable en noviembre, cuando se alcanzaron 229 460 kWh, debido a la construcción de nuevos bloques que requirieron el uso de maquinaria con alta demanda energética.

Finalmente, en el primer semestre de 2024, se mantuvo un consumo elevado, con un máximo de 28 980 kWh en julio. El menor consumo en este periodo se registró en mayo, con 8 148 kWh, reflejando la continuidad de las actividades académicas y administrativas en horarios específicos, en la Figura 2 se muestran los resultados mensuales del consumo eléctrico a partir de enero del 2020 hasta julio del 2024.

En la Figura 2, se observa que los meses con menor consumo energético son febrero, marzo, agosto y septiembre, lo cual se debe a la suspensión de las jornadas académicas correspondientes a la finalización del semestre. En contraste, los meses con mayor consumo corresponden a aquellos en los que se desarrollan jornadas académicas normales.

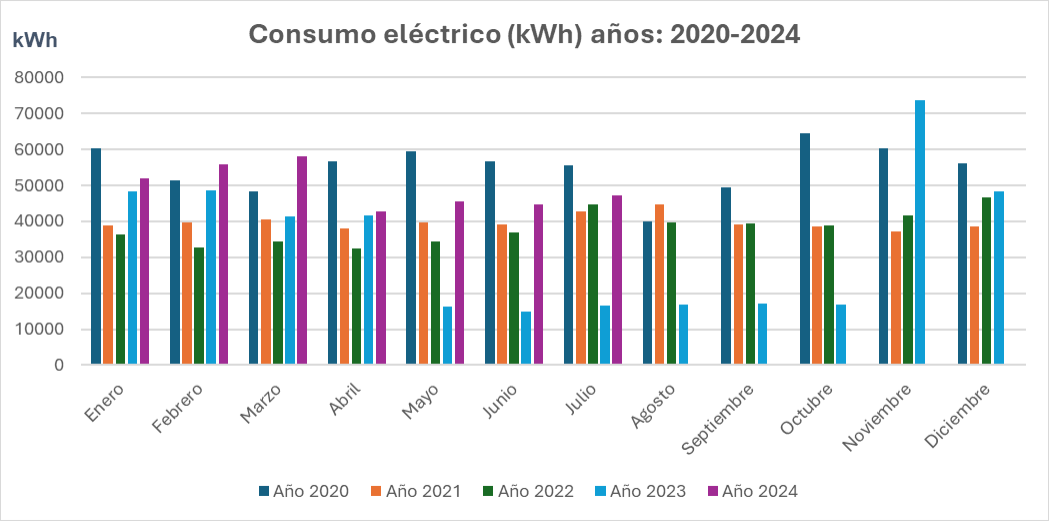



Figura 2: Resultados del Consumo Eléctrico mensual 2020-2024.
Nota: Las diferentes barras representan los valores de consumo eléctrico de UEA, información obtenida de EEASA.

En la Figura 3, se presenta el consumo mensual de energía eléctrica según rangos horarios desde el año 2023 hasta julio de 2024.

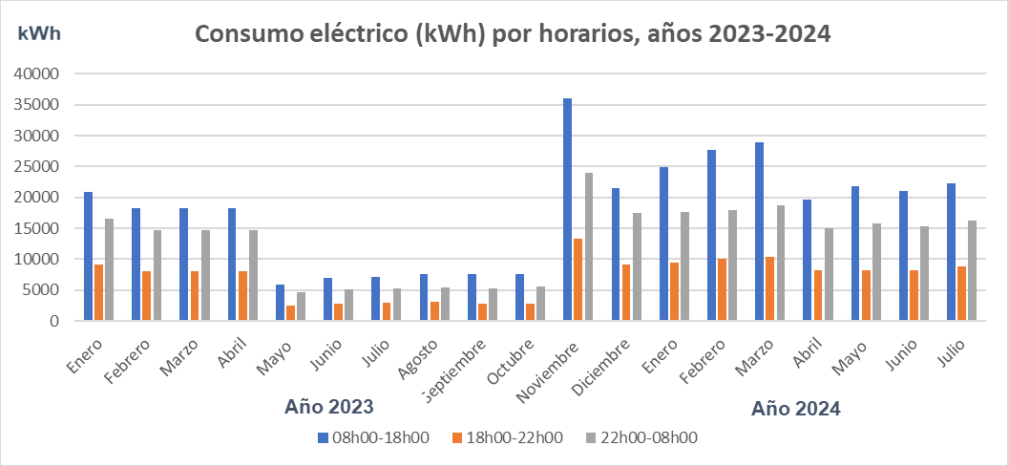



Figura 3: Consumo eléctrico mensual por horarios, años 2023 y 2024.
Nota: Estos datos representan los consumos de los años 2023 y 2024, EEASA.

En noviembre de 2023, se registra el mayor consumo en el horario de 08h00 a 18h00, con un total de 35 991,4 kWh, lo que se atribuye al inicio de las actividades académicas, dentro de un consumo mensual total de 73 242,7 kWh. El consumo energético del año 2023, desglosado por horarios, muestra que el rango de 08h00 a 18h00 acumuló 175 730,3 kWh, representando el 46% del total anual. El horario de 18h00 a 22h00 registró un consumo de 72 821,2 kWh (19,1%), mientras que el rango de 22h00 a 08h00 alcanzó 133 242,1 kWh (34,9%), sumando un consumo total anual de 381 793,6 kWh.
En la Figura 4, se evidencia un incremento en el consumo eléctrico durante el año 2023, atribuido a la normalización de todas las actividades presenciales en la institución.
Se proyecta un crecimiento continuo en el consumo energético, estimándose un total de 1 112 986,14 kWh anuales para el año 2025, impulsado por la expansión de la infraestructura de la UEA (Romero Paguay y otros, 2024).

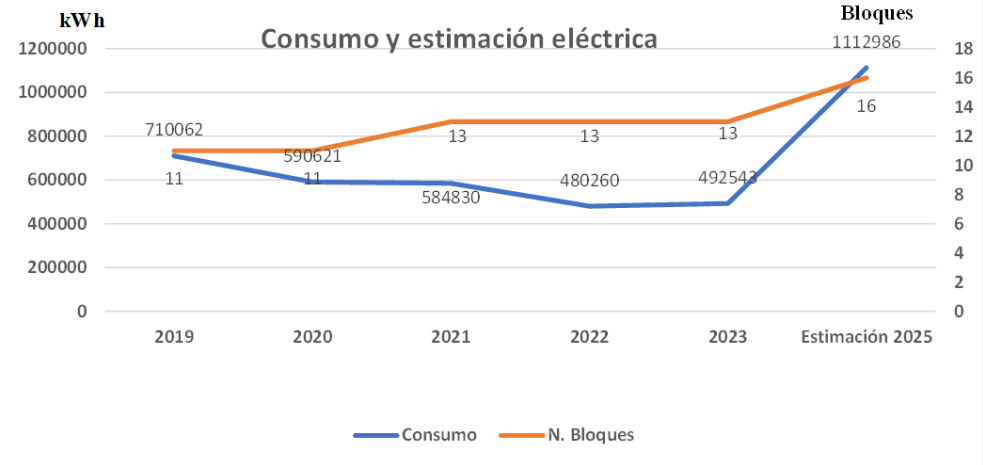



Figura 4: Consumo eléctrico actual y su estimación al futuro ((Romero Paguay, y otros 2024).
Nota: Estimación de consumo energético por bloques.

Al año 2025 se prevé la construcción de tres bloques más, posiblemente similares al bloque J, estimando un consumo total de 9 623,16 kWh/mes.

**Materiales y Conexiones**
La Figura 5 ilustra un diagrama básico de una conexión fotovoltaica. En esta configuración, se destacan varios componentes esenciales para el funcionamiento de un sistema de energía solar. El sistema

comienza con un panel fotovoltaico, encargado de convertir la energía solar en corriente continua (CC). Esta energía generada pasa a través de protectores de corriente continua, que salvaguardan el sistema ante posibles sobrecargas.

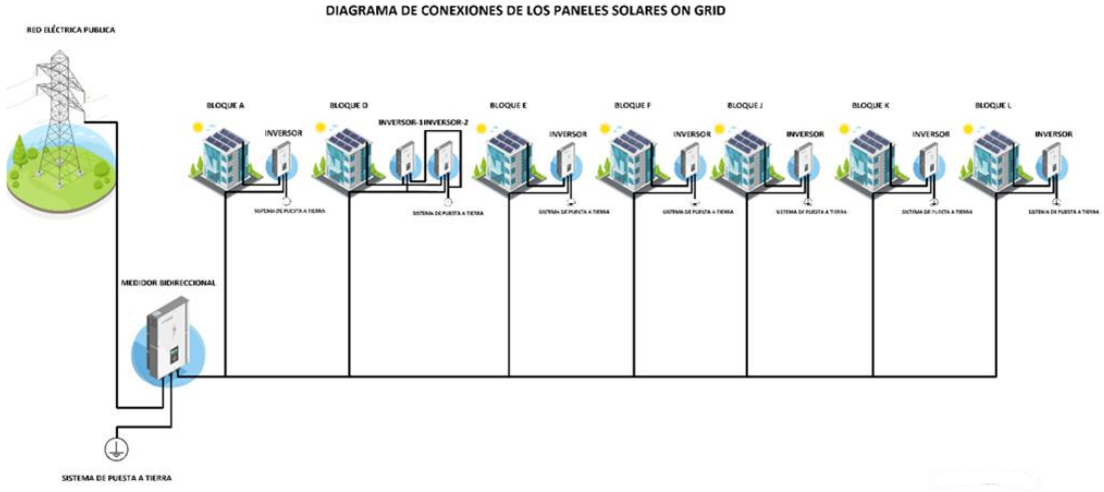



Figura 5: Instalación solar fotovoltaica ON GRID en la UEA.
Nota: Para Diagrama de conexiones de paneles solares ON GRID, se utilizó la aplicación Microsoft Visio.

Posteriormente, la corriente se dirige hacia un regulador o controlador, cuya función es gestionar la carga de la batería y asegurar que esta no se sobrecargue ni se descargue en exceso. La energía almacenada en la batería puede ser convertida a corriente alterna (CA) a través de un inversor, permitiendo que la electricidad sea utilizada para alimentar dispositivos domésticos y sistemas conectados a la red, como se muestra en la imagen con la representación de una casa equipada con paneles solares. Finalmente, los protectores de corriente alternan se encargan de proteger el sistema y los dispositivos conectados ante fluctuaciones de la corriente alterna, asegurando así un suministro energético seguro y eficiente.
Para la instalación del sistema solar, se optó por un panel fotovoltaico monocristalino debido a sus numerosas ventajas, entre las cuales destaca la capacidad de mantener una corriente baja, lo que minimiza las pérdidas por resistencia en el conductor o cableado. Este beneficio se traduce en la necesidad de menor cantidad de cableado, lo que no solo reduce costos, sino que también optimiza la potencia máxima que puede ser generada por el sistema.
En la Figura 6 se presenta el panel fotovoltaico seleccionado, fabricado por la compañía BelgaSolar.

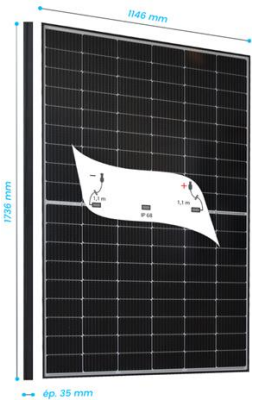



Figura 6: Panel fotovoltaico BelgaSolar
Nota: Panel fotovoltaico BelgaSolar seleccionado para la instalación solar UEA.

Las especificaciones técnicas detalladas de este panel se muestran en la Tabla 1.

Estas especificaciones detallan las características clave de los paneles, incluyendo sus dimensiones, capacidad de potencia máxima, parámetros eléctricos y condiciones operativas, lo que asegura un rendimiento óptimo en la generación de energía bajo las condiciones específicas del sitio de instalación

Tabla 1: Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.

| Caracteristicas | Valores |
|---|---|
| Dimensiones | (1 146 mm x 1 736 mm x 35 mm) |
| Potencia máxima | 410 $W_C$ |
| Voltaje | 31,44 V |
| Intensidad de Corriente | 13,06 A |
| Voltaje | 37,46 V |
| $I_{SC}$ | 13,75 A |

Nota: Wc = Watt pico; V = Voltios; A = Amperios

**Hora Solar Pico (HSP).-** En la figura 7 se muestra la cantidad de radiación solar que incide en una superficie durante un período de tiempo específico, generalmente un año. Se empleó el software de la NASA (Prediction Of Worldwide Energy Resources) para determinar la HSP de las instalaciones de la Universidad Estatal Amazónica en el Puyo, Ecuador; proporcionando un valor mínimo de 3,74; un valor máximo de 4,68; y un valor promedio de 4,1; como se indica en la Tabla 2. Para garantizar la instalación solar fotovoltaica se trabaja con el valor mínimo de la HSP.

Tabla 2: Hora Solar Pico mensual de la Universidad Estatal Amazónica.

| Mes | HSP |
|---|---|
| Enero | 4,13 |
| Febrero | 3,86 |
| Marzo | 3,78 |
| Abril | 4,03 |
| Mayo | 3,81 |
| Junio | 3,74 |
| Julio | 3,85 |
| Agosto | 4,23 |
| Septiembre | 4,65 |
| Octubre | 4,68 |
| Noviembre | 4,37 |
| Diciembre | 4,13 |
| **Promedio** | **4,1** |

Nota: Los valores de Hora Solar Pico (HSP) fueron obtenidos de mediciones realizadas UEA, que hace referencia a la irradiación solar promedio es de 1000 $W/m^2$.

En la Figura 7 se observa la irradiación que presenta las instalaciones de la Universidad Estatal Amazónica en la ciudad del puyo corresponde a la latitud: -1,46 y longitud -78,00. En el país contamos con un promedio de 4 horas solar pico (HSP), lo cual varia en diferentes regiones que pueden llegar de 3 a 6 horas.

**Energía y Potencia Requerida**

El análisis de la demanda energética proyectada para (UEA) revela un aumento significativo en la necesidad de potencia, alcanzando los 281,57 kW estimados para el año 2025 (Romero Paguay et al., 2024). Este incremento subraya la importancia de dimensionar correctamente los componentes del sistema fotovoltaico para satisfacer la creciente demanda de la institución.

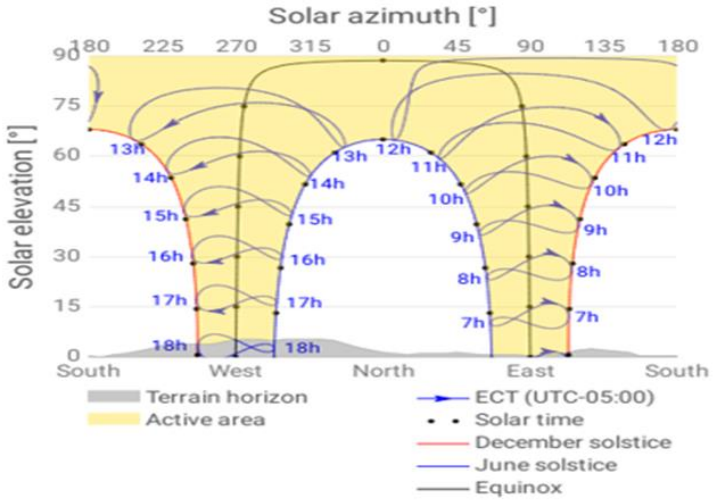



Figura 7: Irradiación solar en la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador
Nota: Figura representa la irradación solar y Azimuth solar en diferentes epocas del año, datos proporcionados por BelgaSolar.

El consumo de energía mensual promedio tiene un valor de 47 453,41 kWh, lo que se traduce en un consumo diario de 1 581,78 kWh/día. Para ajustar la demanda diaria al diseño del sistema, se aplica un factor de corrección del 20% para cubrir pérdidas y variaciones, resultando en una demanda ajustada de:
Demanda ajustada:
Demanda diaria x 1,2 = 1 581,78 kWh × 1,2 = 1 898,136 kWh = 1 898 136 Wh
Cálculo de la Cantidad de Paneles Solares
Para calcular el número de paneles solares necesarios, se utiliza la demanda ajustada y se divide por la cantidad de horas solares pico disponibles en la región:
Watts Pico requeridos:
Demanda ajustada / Horas solares pico = 1 898 136 Wh / 3,74 h = 507 523 W
Número de módulos:
Watts Pico / Potencia del panel = 507 523 W / 420 W = 1 208,39 módulos
Se considera un número de 1 210 paneles solares fotovoltaicos con las especificaciones indicadas anteriormente.
Esto indica que se requerirán aproximadamente 1 210 paneles solares para satisfacer la demanda proyectada, considerando los valores de potencia máxima por panel.
El área total de los paneles fotovoltaicos corresponde a:
Area total = 1 210 paneles x (dimensiones del panel) = 1 210 paneles x (1,146 m x 1 736 m) = 2 407,24 $m^2$.
Con el empleo de las terrazas de 7 bloques de instalaciones en la UEA con un área total útil de 5 291 $m^2$, se garantiza la instalación solar sobre las terrazas.
Debido a que la instalación fotovoltaica es conectada a la red eléctrica de EEASA mediante un medidor bidireccional, se estima que toda la energía que consume la UEA venga del sistema que se desea instalar.

**Consideraciones Finales**

La capacidad proyectada del sistema fotovoltaico se basa en la previsión de consumo eléctrico para el año 2025, utilizando la referencia más alta para su dimensionamiento. No obstante, este cálculo puede ajustarse conforme se expandan las infraestructuras de la UEA, lo que afectaria las necesidades energéticas y las especificaciones del sistema. Uno de los aspectos más críticos es la viabilidad en la irradiación solar, que impacta directamente en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Las condiciones climáticas y las variaciones estacionales a menudo no se reflejan con precisión en los modelos teóricos utilizados, generando diferencias entre los resultados proyectados y los observados en la práctica. Esta variabilidad puede comprometer la estabilidad del suministro, por lo que es necesario integrar tecnologías avanzadas de almacenamiento, como baterías, aunque su desarrollo aún enfrenta desafíos en capacidad,

Los elevados costos iniciales de instalación también siguen siendo una barrera para la implementación a gran escala, a pesar de la disminución en los precios de los paneles solares. Esto es especialmente relevante en regiones donde los incentivos o subsidios financieros son limitados. Asimismo, la durabilidad de los paneles fotovoltaicos puede reducirse con el tiempo, y las soluciones para su reciclaje al final de su vida útil aún no están completamente desarrolladas, lo que presenta un desafío adicional para la sostenibilidad.

Otro desafío tecnológico critico es la interconexión con las redes eléctricas convencionales. Las infraestructuras eléctricas actuales no siempre están preparadas para manejar la intermitencia de la energía solar, lo que podría afectar tanto la eficiencia del sistema como la estabilidad de la red. Este aspecto requiere una actualización tecnológica significativa para optimizar la integración de las energías renovables.

## CONCLUSIONES

El estudio concluye que la implementación de un sistema fotovoltaico en la UEA es no solo viable sino necesaria para cubrir la demanda energética proyectada para 2025, que alcanzará aproximadamente 281,57 kW. La instalación de 1 210 paneles solares fotovoltaicos, distribuidos en un área de 2 407,24 m² sobre las terrazas de los edificios de la universidad, permitirá dicha demanda. Este sistema contribuirá a reducir la dependencia de combustibles fósiles y la huella de carbono de la institución. Es fundamental revisar periódicamente el dimensionamiento del sistema para asegurar que siga cumpliendo con las necesidades energéticas, especialmente ante posibles expansiones futuras. Además, es importante considerar factores como la orientación, inclinación y la hora solar pico en la instalación de los paneles para optimizar la captación de energía.

Para garantizar que el sistema siga satisfaciendo las demandas energéticas futuras y operando de manera eficiente, se recomiendan varias acciones. En primer lugar, un sistema monitoreo en tiempo real permitirá evaluar el rendimiento de los paneles solares y detectar deficiencias, facilitando ajustes rápidos que maximicen la capacidad del sistema. Será necesario actualizar la capacidad de almacenamiento con baterías de alto rendimiento, lo que mejorará autosuficiencia energética al permitir el uso eficiente de la energía almacenada durante la noche o en días nublados. También se sugiere integrar tecnologías de gestión inteligente de la energía, que optimicen el consumo en función de la demanda. Medidores inteligentes y algoritmos de optimización podrán ajustar automáticamente el uso de la energía, garantizando un aprovechamiento eficiente de los recursos renovables. A medida que la universidad crezca, se recomienda planificar futuras expansiones del sistema fotovoltaico, instalando paneles adicionales en nuevas áreas del campus, como techos disponibles o espacios abiertos, sin afectar la infraestructura existente. Finalmente, será crucial capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema, así como sensibilizar a la comunidad universitaria sobre los beneficios de las energías renovables y la optimización del consumo. Estas medidas permitirán que el sistema fotovoltaico no solo cumpla con las necesidades proyectadas para 2025, sino que mantenga su viabilidad y eficiencia a largo plazo, contribuyendo a la sostenibilidad de la UEA.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las autoridades de la Universidad Estatal Amazónica por el liderazgo en la implementación y ejecución de proyectos con energía renovable y de manera especial con aprovechamiento de energía solar, los cuales contribuirán con el cuidado del medio ambiente.

## REFERENCIAS

[1]. Inca Yajamín, G. S., Cabrera Carrión, D. F., Villalta Gualán, D. F., Bautista Zurita, R. C., & Cabrera Carrion, H. D. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(3), 9493-9509. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835.

[2]. Briones, V. H. C. (2022). Implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer de energía a un sector rural del golfo de Guayaquil mediante el análisis de carga y simulación por software. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22506/1/UPS-GT003712.pdf.

[3]. Cabezas Maslanczuk, M. D., Franco Brazes, J. I., & Fasoli Tolosa, H. J. (2018). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas. Ingeniería Investigación y Tecnología, 19(2), 1-10. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19.2.013.

[4]. Carballo, G. A. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. Revista Electrónica de Veterinaria, 17(2), 1-4. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2016.17.2.014.

[5]. Cordero, R. G. (2024). Cómo varía la captación de energía solar en superficies inclinadas. SUNFIELDS. https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/#Inclinacion-de-los-paneles-solares.

[6]. Dávila, J. (2020). Introducción Energía Solar en Ecuador. Solergy. https://es.linkedin.com/pulse/introducci%C3%B3n-energ%C3%ADa-solar-en-ecuador-solergy-josue-davila#:~:text=Ecuador%20es%20privilegiado%20por%20la,y%20otras%20hasta%203%20horas.

[7]. Dornyei, Z. (2007). Research Methods in Applied Linguistics: Quantitative, Qualitative, and Mixed Methodologies. Oxford: Oxford University Press.

[8]. Efimarket. (2024). La hora solar pico (HSP): ¿Para qué sirve y cómo calcularlo? https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/.

[9]. Energético, Cambio. (2024). ¿Qué es la demanda pico y cómo la puedes reducir para ahorrar en tu factura de la luz? https://www.cambioenergetico.com/blog/demanda-pico/.

[10]. Endesa. (2020). Cómo funcionan los paneles solares. https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares#:~:text=Resumiendo%20mucho%20y%20simplificando%2C%20el,son%20las%20llamadas%20celdas%20solares.

[11]. Fundación Alianza Ceibo. (2021). Informe de proyectos solares en la Amazonía ecuatoriana. Fundación Alianza Ceibo. https://www.alianzaceibo.org/

[12]. Grupo Gimeno. (2023). Dónde instalar paneles solares según la tipología de mi vivienda. OBREMO energy y telco. https://www.obremo.es/donde-instalar-paneles-solares-segun-la-tipologia-de-mi-vivienda/.

[13]. Ingenieria, K. (2011). Declaración De Impacto Ambiental Proyecto Parque Fotovoltaico Atacama Solar. https://www.caf.com/media/6752/declaracion-de-impacto-ambiental-dia.pdf.

[14]. Kennedy, R. (2024). Activado el mayor proyecto solar y de almacenamiento de EE. UU. pv magazine. https://www.pv-magazine-latam.com/2024/01/22/activado-el-mayor-proyecto-solar-y-de-almacenamiento-de-ee-uu/.

[15]. Kennedy, R. (2024). EE. UU.: California, Utah y Oregón buscan conservar la tierra y el agua con energía solar en los canales. pv magazine. https://www.pv-magazine-mexico.com/2024/04/10/ee-uu-california-utah-y-oregon-buscan-conservar-la-tierra-y-el-agua-con-energia-solar-en-los-canales/.

[16]. Latorre Izquierdo, L. A., & Barco Ortega, J. D. (2002). Diseño e implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la comunidad masa 2. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22815/1/UPS-GT003831.pdf.

[17]. Lorenzo, J. A. A. (2024). Potencia de los paneles solares real. SUNFIELDS. https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/potencia-paneles-solares-real/.

[18]. Maldonado Ramírez, M. S., & Velastegui Almeida, D. S. (2022). Implementación de un sistema fotovoltaico para residencias, en la comuna masa 2. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22497/1/UPS-GT003706.pdf.

[19]. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). Mapa Solar de Ecuador. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. https://www.celec.gob.ec/noticias/gobierno-nacional-presentara-a-los-ecuatorianos-el-mapa-solar/

[20]. Power, A. G. (2023). Cómo dimensionar un sistema fotovoltaico. AMB GREENPOWER. https://www.ambgreenpower.com/como-dimensionar-un-sistema-fotovoltaico/.

[21]. Solargis, Mapas de recursos solares y datos GIS. (s/f). Solargis.com. Recuperado el 27 de agosto de 2024, de https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=ecuador

[22]. Solarpack. (2021). Proyecto Solar El Aromo. Solarpack. https://www.primicias.ec/noticias/economia/solarpack-operacion-proyecto-fotovoltaico-elaromo/

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DEL USO DEL SUELO Y PRODUCTIVIDAD EN SISTEMAS AGRIVOLTAICOS: CASO DE ESTUDIO

**Carlos Fernando Luna[1,2], Francy Nelly Jiménez[1], Ricardo Moreno[3], Aarón Sánchez Juárez[4]**

[1]Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia, [2]Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Putumayo, Colombia [3]Universidad ICESI, Santiago de Cali, Colombia, [4]Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, Morelos, México
[1]e-mail: carlosflunac@autonoma.edu.co

**RESUMEN**

Los sistemas agrivoltaicos (SAV) combinan la producción agrícola con la generación de energía solar fotovoltaica sobre la misma área de cultivo, lo cual maximiza el uso del suelo y crea un microclima específico bajo los paneles. Esta tecnología permite mitigar los desafíos de espacio y uso del suelo, promoviendo la sostenibilidad en zonas agrícolas. Este estudio de caso tiene como objetivo evaluar la eficiencia del uso del suelo en un SAV mediante el cálculo de indicadores clave como la relación de cobertura del suelo (GCR) y la relación de equivalencia de la tierra (LER). Para ello, se utilizó un sistema experimental instalado en México, donde se analizaron variables energéticas y agrícolas de cultivos en microparcelas. La metodología incluyó simulaciones de rendimiento energético mediante PVsyst y mediciones de rendimiento agrícola en cultivos bajo y fuera del sistema fotovoltaico, comparando resultados de ambos escenarios. Los resultados indican que el SAV es un 50% más productivo que el uso exclusivo del suelo para cultivos o generación de energía. Los cultivos de coliflor mostraron la mayor adaptación al microclima del SAV, con LER de 1.88. Estos hallazgos sugieren que los SAV son un modelo viable para optimizar la producción agrícola y energética, promoviendo sistemas energéticos sostenibles y eficientes en el uso del suelo.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas agrivoltaicos, Relación de Equivalencia de la Tierra, Relación de Cobertura del Suelo, Rendimiento agrícola, Rendimiento energético.

**ASSESSMENT OF LAND USE AND PRODUCTIVITY IN AGRIVOLTAIC SYSTEMS: CASE STUDY**

**ABSTRACT**

Agrovoltaic systems (AVS) combine agricultural production with the generation of photovoltaic solar energy on the same crop area, maximizing land use and creating a specific microclimate beneath the panels. This technology helps mitigate challenges related to space and land use, promoting sustainability in agricultural areas. This case study aims to evaluate land use efficiency in an AVS by calculating key indicators such as Ground Coverage Ratio (GCR) and Land Equivalent Ratio (LER). For this purpose, an experimental system was installed in Mexico, where energy and agricultural variables of crops in microplots were analyzed. The methodology included energy yield simulations using PVsyst and measurements of agricultural yield in crops both under and outside the photovoltaic system, comparing results from both scenarios. The findings indicate that the AVS is 50% more productive than using land exclusively for crops or energy generation. Cauliflower crops showed the greatest adaptation to the AVS microclimate, with LER of 1.88. These findings suggest that AVS provide a viable model to optimize agricultural and energy production, promoting sustainable and efficient land-use energy systems.

**KEY WORDS:** Agrivoltaic systems, Land Equivalent Ratio, Ground Coverage Ratio, Agricultural Yield, Energy Yield.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrivoltaicos (SAV) combinan la producción agrícola con la generación de energía solar mediante la instalación de módulos fotovoltaicos (MFV) en áreas de cultivo, maximizando el uso del suelo

y generando un microclima bajo los paneles [1], [2], [3]. El término agrivoltaico (AV) se mencionó por primera vez en una publicación en 2011 [4]. Sin embargo, el concepto es conocido bajo diferentes nombres y existen diversos tipos de SAV, que varían según su aplicación, para cultivos o ganadería, y su configuración, ya sea en sistemas abiertos o cerrados (invernaderos), estructuras fijas o móviles, paneles ajustables en altura y ángulos, e incluso sistemas con seguimiento solar que gestionan la dinámica de la sombra [5]. La tipología del sistema debe adaptarse a las condiciones climáticas, las necesidades del cultivo y los objetivos energéticos del proyecto, lo que hace que el diseño sea un aspecto fundamental para su eficiencia y éxito [4], [6], [7], [8].

La relevancia de los SAV radica en su capacidad para contribuir a la sostenibilidad, al reducir la competencia por el uso de la tierra y promover la resiliencia agrícola y energética frente al cambio climático [9]. Para evaluar su rendimiento, se utilizan indicadores clave como la relación de cobertura del suelo (GCR, por sus siglas en ingles Ground Coverage Ratio), que mide la proporción de tierra cubierta por los paneles fotovoltaicos, y la Relación de Equivalencia de la Tierra (LER, por sus siglas en ingles Land Equivalent Ratio), que evalúa la productividad combinada del sistema agrícola y energético en comparación con sistemas independientes. Un LER superior a 1 indica una mayor productividad en el sistema combinado. Estos indicadores son fundamentales para optimizar tanto la producción agrícola como la generación de energía en diferentes escenarios [5], [6].

Estudios de modelado y simulación sobre AV y su LER en función del GCR han mostrado que el rendimiento de los sistemas varía significativamente según el GCR y el tipo de cultivo. En investigaciones realizadas en los EE. UU. [10], se evaluaron un GCR entre el 1% y el 100%, observando que el LER aumenta con el GCR, alcanzando valores superiores a 2.5 en coberturas altas, especialmente en cultivos tolerantes a la sombra y en arreglos Este-Oeste (EW), donde el sombreado es más uniforme. Sin embargo, los cultivos más dependientes del sol mostraron menor productividad bajo GCR altas, particularmente en arreglos Norte-Sur (NS). En la India [7], un SAV con MFV bifaciales (MFVB) y un GCR del 37.1% alcanzó un LER promedio entre 1.6 y 2.4, lo que destaca una notable mejora en la eficiencia del uso del suelo en comparación con sistemas convencionales. Otro estudio en EE. UU. [11] investigó la optimización de AV con MFVB en configuraciones verticales y elevadas, logrando un LER de 1.5 con un GCR del 68%, el cual fue recalculado a 34.1% al ajustar la transparencia y el espaciamiento de las celdas.

Otros estudios de modelado sobre AV y su LER han proporcionado información valiosa sobre la eficiencia del uso del suelo en diversas regiones. En España [12] un estudio sobre una planta agrivoltaica con rastreadores solares de un eje mostró que los valores de LER varían según el modelo radiativo utilizado: con el Modelo Isotrópico, el LER osciló entre 1.302 y 1.472; con el Modelo Hay-Davies, entre 1.294 y 1.464; y con el Modelo Perez, entre 1.289 y 1.459. En Suecia, un SAV vertical con MFVB obtuvo un LER entre 1.1 y 1.5, con valores óptimos cercanos a 1.3, logrados con una distancia entre filas de 9.2 a 9.7 metros, lo que sugiere un equilibrio ideal entre la producción agrícola y energética [13]. Por otro lado, en España [14], se estudiaron SAV con MFVB y cultivos de olivos, donde simulaciones con alturas de paneles entre 3 y 4.5 metros e inclinaciones de entre 0° y 90° revelaron un LER superior a 1 en todos los casos, alcanzando un máximo de 1.71 con una inclinación de 20° y una altura de 3 metros.

Los estudios experimentales sobre el LER y el GCR en AV han validado la mejor eficiencia del uso del suelo en comparación con sistemas de uso único. En Bélgica, [6] evaluó SAV con paneles bifaciales de seguimiento y sistemas verticales, alcanzando LER de 1.18 y 1.22, superando a los sistemas fijos elevados con un GCR del 30%, que lograron un LER de 1.09. Un estudio en EE. UU. [1], analizó un SAV con un 50% de sombreado, mostrando que en 2019 y 2020 la producción combinada de paneles solares y pasto para ganado resultó en un LER de 1.81 y 1.68 para la producción de forraje, y de 2.04 y 1.97 para el peso vivo de ganado. En India, [15] implementó un SAV de 0.675 kWp con paneles policristalinos y cultivos de cúrcuma, obteniendo un LER de 1.73 con un GCR de 0.398, utilizando redes neuronales artificiales (ANN) y algoritmos genéticos (GA) para optimización. En Italia, [16] evaluó un SAV cerrado con un GCR del 100% que integra una granja vertical y sistemas LED para el cultivo de lechuga, alcanzando un LER de 1.31, lo que indica un aumento del 31% en la productividad total del suelo.

Este estudio de caso tiene como objetivo evaluar el uso del suelo mediante el GCR y el rendimiento agrícola y energético de un SAV utilizando el LER. A través de la comparación de datos experimentales con estudios

de modelado y simulación previos, se busca proporcionar información clave para optimizar el diseño de futuros SAV. Los resultados contribuirán a mejorar la productividad agrícola y energética, ofreciendo soluciones sostenibles para enfrentar los desafíos globales de seguridad alimentaria y transición energética, además de llenar vacíos de conocimiento sobre la interacción entre cultivos y generación fotovoltaica en distintos contextos climáticos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la Parcela Agrivoltaica Sostenible y Educacional (PASE), situada en San Miguel de Topilejo, una zona montañosa a 2764 metros sobre el nivel del mar (19.2095° N, -99.1536° W). Este SAV abierto abarca una estructura metálica elevada a 3 metros que cubre un área de 19.4 x 12.72 m, combinando un sistema fotovoltaico (SFV), microparcelas de cultivo y captación de agua de lluvia, como se ilustra en la Fig. 1.

El SFV, con una capacidad instalada de 39.36 kWp, está orientado de este a oeste y consta de 6 filas de 12 MFV cada una, con inclinación de 19° y separación de 1.45 m entre filas, un área cubierta por los MFV (APV) de 185 m² sobre un área total de suelo (Aground) de 280 m². Conectado a la red eléctrica, el SFV abastece el 60% de la demanda del Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Salud y Producción Animal (CEPIPSA). Las características del SFV se detallan en la Tabla 1

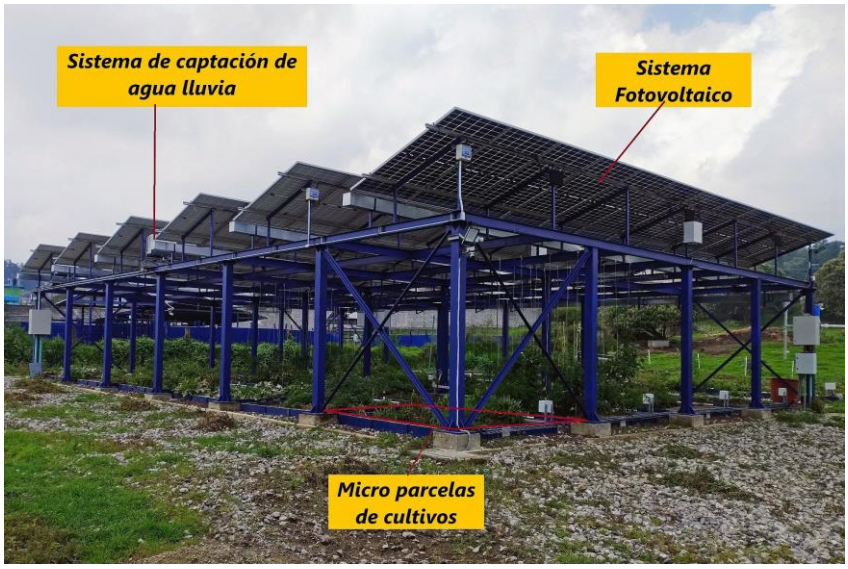



Figura 1. Sistema Agrivoltaico del proyecto PASE

Tabla 1. Características del sistema fotovoltaico

| Conjunto | fila 1 y 2 | fila 3 y 4 | fila 5 | fila 6 |
|---|---|---|---|---|
| Arreglo MFV | 2 cadenas x 12 en serie | 2 cadenas x 12 en serie | 1 cadena x 12 en serie | 1 cadena x 12 en serie |
| Potencia del MFV (Wp) | 555 | 545 | 550 | 530 |
| Tipo de celdas m-Si | PERC tipo p | PERL tipo p | PERC tipo p | bifaciales tipo p |
| Potencia por Inversor (kWca) | 15.0 | 15.0 | 2.0 | 2.0 |
| Número de inversores | 1 | 1 | 3 | 3 |

En el área de cultivo, se distribuyeron 24 microparcelas bajo los MFV y 6 microparcelas de control al aire libre, con un área de 2.5 m x 2.5 m y una densidad de 2.6 plantas/m². Las especies cultivadas, alineadas de este a oeste, incluyen brócoli, puerro, cebolla morada, col verde, lechuga italiana, col morada, cebolla blanca, coliflor, lechuga sangría, y acelga, sembradas el 14 de septiembre de 2024. Cada fila de módulos cuenta con un sistema de canaletas que recolecta agua de lluvia, conducida a un tanque de almacenamiento con una capacidad de 140 m³ [17].

## 3. METODOLOGÍA

La metodología mostrada en la Fig. 2, evalúa la distribución espacial del SAV a través del cálculo del GCR, definido como la relación entre el área cubierta por MFV ($A_{PV}$) y el área total de suelo ($A_{ground}$). Este GCR se vincula con un rendimiento energético (EY) y un rendimiento agrícola (AY). El EY es la relacione entre la energía generada por el SAV ($EY_{AV}$) y la generada por un SFV en condiciones normales (N) en el mismo espacio ($EY_N$). El AY, por su parte, se calcula como la relación entre la producción AV ($AY_{AV}$) y la obtenida en condiciones sin cobertura ($AY_N$). La suma de EY y AY da como resultado el LER para cada cultivo, integrando la eficiencia del uso del suelo en términos de producción energética y agrícola.

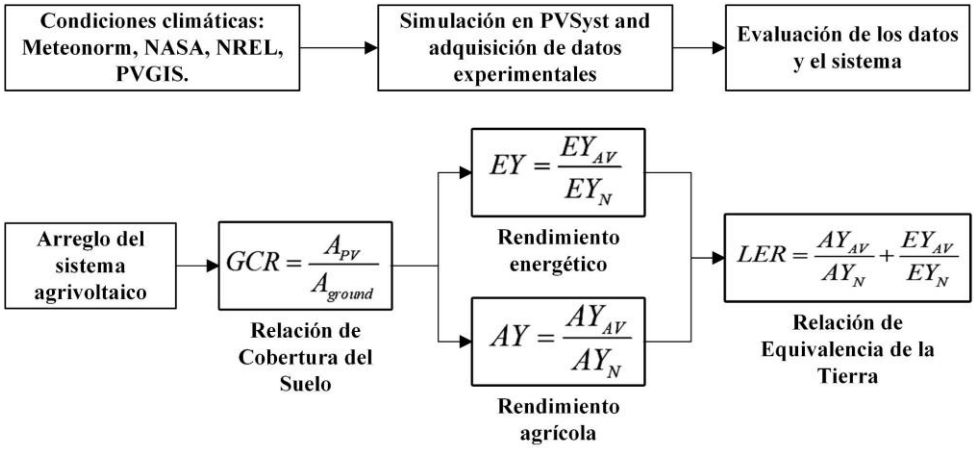



Figura 2. Esquema de la metodología de este estudio

Para calcular el EY, se usó el software PVsyst 7.4.8 para simular el SAV y determinar la $EY_{AV}$. De manera similar se realiza la simulación de un SFV en condiciones N para determinar la $EY_N$, para este último se usó las misma $A_{ground}$ del SAV (280m$^2$), ajustando la separación entre filas al mínimo posible sin generar sombreado entre los MFV. La simulación se basó en cuatro bases de datos (BD) climáticas, que incluyen información sobre irradiación global horizontal (GHI), temperatura ambiente (Ta), irradiación difusa (DHI), velocidad del viento (Vv), y humedad relativa (HR) [18]. En la Tabla 2 se recopilan las características de estas BD, incluyendo series de tiempo, tipo de datos, y resolución espacial [18], [19], [20], [21], [22]. Los datos TMY (Typical Meteorological Years) tienen una resolución temporal minutal, y los datos sintéticos tiene una resolución mensual.

Tabla 2. Características de las bases de datos

| Base de datos | NREL NSRDB PSMv3 | PVGIS 5.2. | Meteonorm 8.1 | NASA-SSE |
|---|---|---|---|---|
| Años | 1998 -2020 | 2005- 2020 | 2000 - 2009 | 1983-2005 |
| Tipos | TMY | TMY | Sintético | Sintético |
| Resolución (km) | 4 x 4 | 4 x 4 | 55 x 55 | 111 x 111 |

Según los reportes del proyecto PASE se tomaron medidas de peso de las cosechas de los cultivos bajo los MFV, $AY_{AV}$, como en condiciones N, $AY_N$. Hubo dos fechas de cosecha: El 22 de noviembre del 2023 para la lechuga italiana, lechuga sangría, y acelga, y en enero y febrero del 2024 para el brócoli, col verde y coliflor. Los cultivos de cebolla, col morada y puerro no alcanzaron la madurez en las fechas de recolección, por lo que fueron excluidos del análisis [17]. Con los datos obtenidos de EY y AY, se calculó el LER para cada cultivo, analizando su relación con el GCR. Los resultados experimentales se compararon con datos de otros estudios, tanto experimentales como de modelado, obtenidos de una revisión de la literatura, permitiendo una evaluación integral del SAV.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siguiendo la metodología descrita, se calculó el GCR del SAV, obteniéndose un valor de 66.1%. Para el SFV en condiciones N, el GCR fue de 77%, ya que, aunque se utilizó la misma $A_{ground}$ que en el SAV, se redujo el espacio entre filas a 1.45 m, lo que permitió un arreglo de 84 MFV, cubriendo un área de 216 m² y alcanzando una potencia instalada de 45.9 kWp. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el EY, el AY y el LER.

**Rendimiento energético EY**

La Fig. 3 muestra los promedios de las variables meteorológicas proporcionadas por cada BD. Utilizando estas BD en el software PVsyst, se realizaron simulaciones energéticas tanto para el SAV, con el fin de obtener $EY_{AV}$, como para el SFV en condiciones normales, obteniendo $EY_N$.

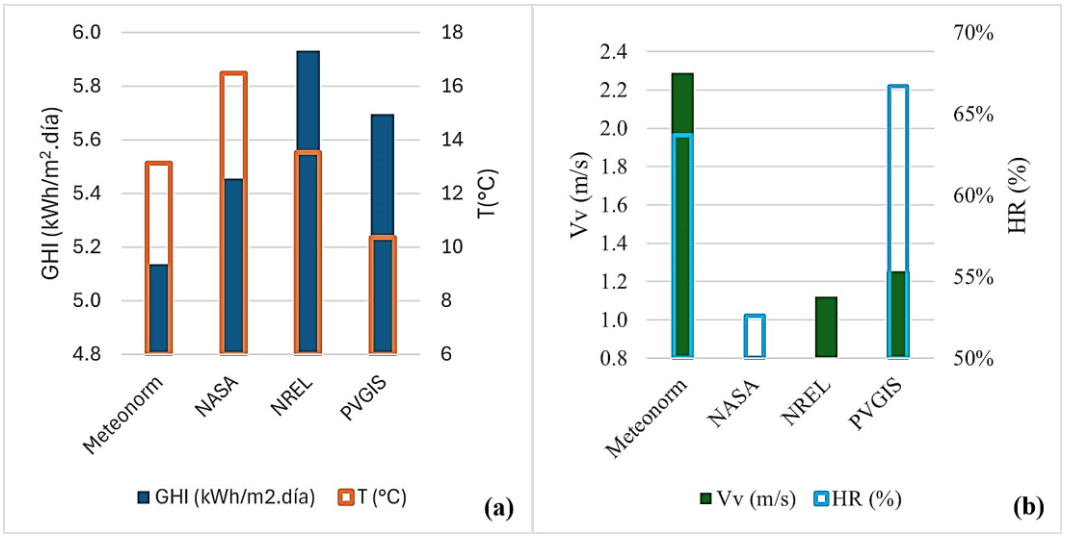



Figura 3. Promedio variables meteorológicas de las bases de datos, (a) radiación global horizontal y temperatura, y (b) Velocidad del viento, y humedad relativa.

Los resultados de la energía generada ($EY_N$ y $EY_{AV}$) y la proporción de rendimiento (PR) se presentan en la Fig. 4. La Fig. 4 (b), indica que la simulación con datos del NREL presentó el PR más alto, debido a que esta BD no incluye información de HR, lo que llevó a omitir las pérdidas por corrección espectral (estimadas en un 2% en otras BD). En contraste, la simulación con datos de la NASA mostró el PR más bajo, afectado principalmente por pérdidas térmicas de hasta un 5.73%, resultado de altas Ta y la ausencia de datos de Vv, los cuales reducirían la temperatura mediante convección. El modelo térmico utilizado considera el coeficiente de transferencia de calor (U) como una combinación de pérdidas por radiación y convección del viento. Comparando el PR del SAV con el del SFV en condiciones N, se observó una disminución general del 0.4% en el PR del SFV N, atribuida al mayor tamaño del SFV, lo que incrementó las pérdidas por desajuste entre módulos y las pérdidas óhmicas.

Los valores más altos de EYAV y EYN, como se muestra en la Fig. 4 (a), se obtuvieron en la simulación con los datos del NREL, principalmente debido a su alta GHI y su elevado PR. En cambio, los valores más bajos de EYAV y EYN se observaron en la simulación con los datos de Meteonorm, dado su menor GHI y un PR que consideró todas las pérdidas. Cada BD produjo resultados distintos para EYAV y EYN; sin embargo, estudios previos indican que las BD con mejor resolución espacial, como NREL y PVGIS, ofrecen resultados más precisos [23]. Es importante considerar los modelos y datos específicos utilizados en cada simulación. En este estudio, no se validan los resultados de producción de energía, ya que solo se cuenta con el SAV y no con el SFV en condiciones N. El objetivo principal es analizar la relación EYAV/EYN, que resulta ser igual (0.86) en todas las BD, y es equivalente a la relación de potencias instaladas (PAV/PN). Esto indica que EY depende directamente de las potencias instaladas y no se ve afectado por otras variables

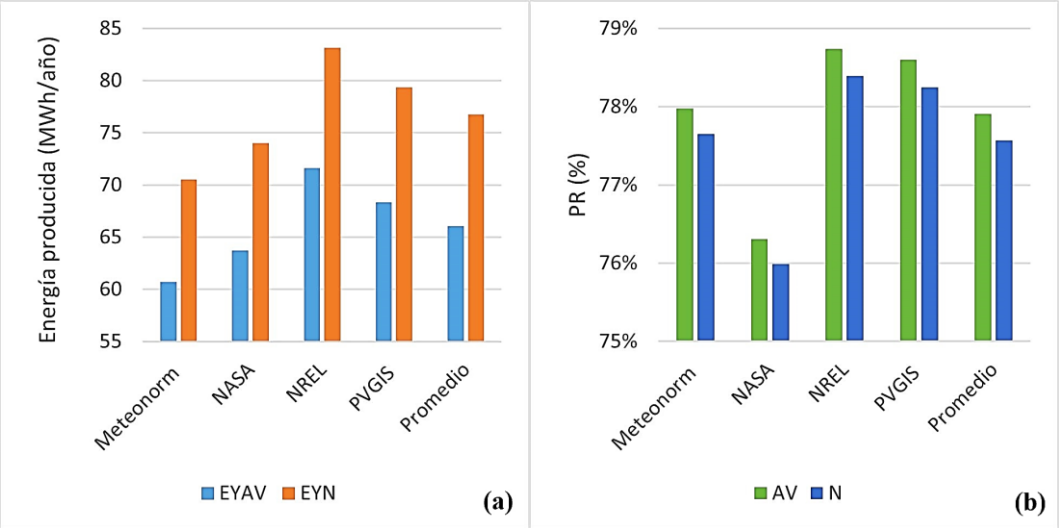



Figura 4. Resultados de las simulaciones energéticas por cada base de datos, (a) energía producida anualmente y (b) proporción de rendimiento

**Rendimiento agrícola AY**

De acuerdo con los reportes del proyecto PASE [17], las cosechas se realizaron en distintas fechas según la fenología de cada especie. Tras cada cosecha, se registró el peso de las plantas para evaluar su rendimiento, cuyos datos se resumen en la Tabla 3. Las mediciones y observaciones visuales indican que los cultivos bajo el SAV tienden a ser de menor tamaño en comparación con aquellos en condiciones normales. El AY promedio fue del 64.1%, los valores bajos de AY sugieren que el microclima bajo los MFV no fue óptimo para algunas plantas, mientras que los valores altos indican que este microclima protegió los cultivos de condiciones climáticas extremas.

Estudios previos han demostrado que la sombra de los MFV puede mitigar el estrés hídrico y térmico en condiciones de alta radiación solar, aunque en situaciones de baja radiación la reducción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) puede afectar negativamente el crecimiento de los cultivos. El microclima bajo los MFV se caracteriza por una reducción de radiación y temperatura, así como un aumento en la humedad del suelo. Por ejemplo, un estudio [7] reportan que un GCR del del 37.1%, reduce la PAR a 62%, mientras que en otros casos la PAR se reduce a un 50% [8]. Otras investigaciones [2], [13] han demostrado que la temperatura del suelo bajo sombra puede disminuir entre 1°C a 5°C. Además, la sombra generada por los MFV reduce la evaporación del agua, logrando ahorros de entre 9% y 45% en función del GCR, según lo reportado en múltiples estudios [1], [2], [9], [10], [13], [14], [24], [25], [26].

Tabla 3. Rendimiento agrícola AY

| Rendimiento Agrícola | Lechuga Sangría | Lechuga Italiana | Brócoli | Col Verde | Coliflor | Acelga |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dia de cosecha | 69 | 69 | 129 | 143 | 129 | 69 |
| $AY_{AV}$ (g) | 291.8 | 279.5 | 886.0 | 2050.0 | 1980.0 | 293.9 |
| $AY_{N}$ (g) | 648.2 | 807.4 | 1492.0 | 2991.0 | 1942.0 | 390.6 |
| AY (%) | 45.0 | 34.6 | 59.4 | 68.5 | 102.0 | 75.2 |

**Relación de equivalencia de la tierra LER**

Con los datos de AY y EY, se calculó el LER para cada cultivo, como se muestra en la Tabla 4. En todos los casos, el LER fue superior a 1, lo que indica que el uso del suelo es más productivo en el SAV en comparación con un sistema convencional (N) utilizado exclusivamente para cultivo o generación de electricidad mediante un SFV. El LER promedio del SAV fue de 1.5, lo que sugiere que el suelo es un 50% más productivo en el SAV en comparación con un sistema convencional en la misma área.

Tabla 4. LER para los cultivos del sistema AV

| Indicador AV | Lechuga Sangría | Lechuga Italiana | Brócoli | Col Verde | Coliflor | Acelga |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LER | 1.31 | 1.20 | 1.45 | 1.54 | 1.88 | 1.61 |

Para SAV estudiado, el EY es constante, por tanto, la variación del LER se dio por los valores de AY, YA que cada especie de cultivos tiene diferentes características fenológicas y condiciones climatológicas óptimas para su desarrollo. Los cultivos con un LER más alto, como la coliflor, la acelga, la col verde y el brócoli, muestran una mayor adaptación a las condiciones microclimáticas de los SAV, donde la temperatura reducida, la menor irradiación PAR y el incremento de la humedad relativa benefician su desarrollo. Estos cultivos son más tolerantes a la sombra y prosperan en climas frescos, factores que son reforzados en un SAV. Por el contrario, la lechuga, que tiene un LER más bajo, requiere más luz directa para maximizar su crecimiento, por lo que la sombra parcial bajo los paneles limita su rendimiento comparado con el cultivo a cielo abierto

**Relación de cobertura del suelo (GCR) y relación de equivalencia de la tierra (LER)**

El LER depende directamente del nivel de GCR, ya que diferentes grados de cobertura producen variaciones en el EY y AY. El GCR se ajusta mediante la separación entre filas y la distancia entre los MFV en cada fila, generando un sombreado y un microclima que afectan el AY y el EY según las características de los cultivos y la tecnología de los MFV. Este sombreado también varía en función de la altura, alineación, orientación e inclinación de los MFV, factores que determinan si la luz solar llega de manera directa, difusa o reflejada, tanto a los cultivos como a los MFV. Estudios previos de modelado y datos experimentales, incluyendo los de este estudio, han mostrado una tendencia general de aumento en el LER con mayores niveles de GCR, como se observa en la Fig. 5. Sin embargo, esta relación presenta una gran variabilidad debido a las múltiples variables del diseño del SAV.

La Fig. 5 (a) del estudio [10] muestra cómo los arreglos este-oeste con cultivos resistentes a la sombra alcanzan un LER más alto, debido a que esta configuración permite una distribución de luz más uniforme para los cultivos, y los cultivos tolerantes a la sombra aprovechan mejor el microclima generado. En contraste, los arreglos norte-sur con cultivos resistentes al sol presentan los valores de LER más bajos, ya que estos cultivos requieren mayor luz y este arreglo no permite una distribución óptima. Con GCR bajos,

la variación del LER entre los distintos arreglos y cultivos es mínima; sin embargo, a medida que aumenta el GCR, el LER también crece, aunque con mayor variabilidad entre configuraciones. Los datos del estudio [10] mediante modelado coinciden con los de los estudios [7], [11] de la Figura 5 (b) que también son basados en modelado, mostrando una tendencia consistente en la relación positiva entre GCR y LER.

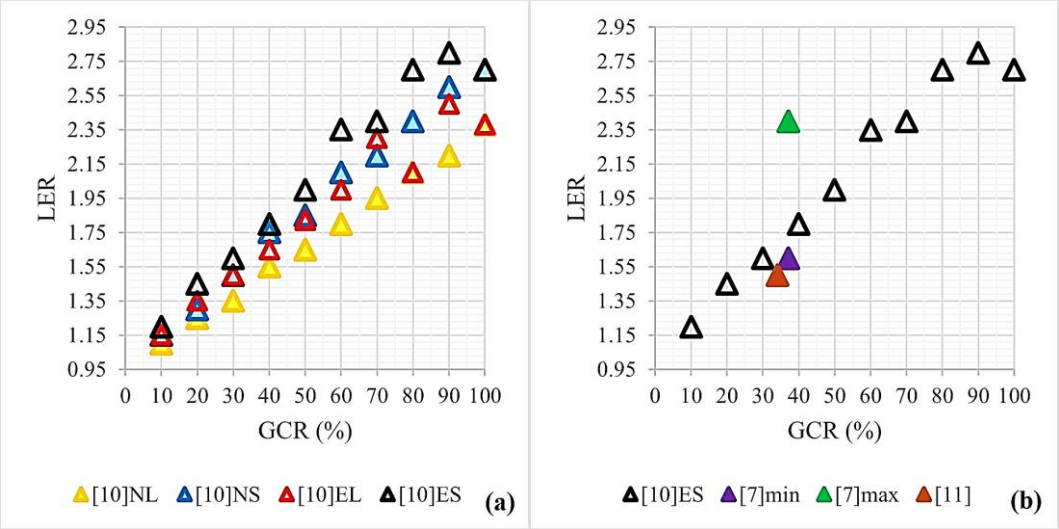



Figura 5. Relación entre el LER y el GCR en estudios de modelado y simulación: (a) Estudio [10], representa un SAV con MFV fijos a 2.5 m de altura, inclinación de 30°, y GCR y distancia entre filas variables. Los triángulos de diferentes colores indican los cultivos y alineación de los MFV: los triángulos amarillos y azules representan arreglos norte-sur (N) orientados al oeste, con cultivos resistentes al sol (amarillo) y a la sombra (azul), mientras que los rojos y negros representan arreglos este-oeste (E) orientados al sur, con cultivos resistentes al sol (rojo) y a la sombra (negro). (b) Comparativa de estudios [7] y [11] con el estudio [10], los triángulos morado y verde corresponden al rango de LER en un SAV abierto con cultivos de algodón, soja, tomate y plátano, con MFVB fijos a 4 m de altura, 5 m entre filas, inclinación de 28° y azimut de 208° [7]. El estudio [11] es un SAV abierto de arándanos con MFVB estáticos, inclinación de 22°, azimut de 208°, altura de 1.3 m sobre el dosel y separación entre filas de 3 m.

La Fig. 6 presenta dos gráficos que ilustran la relación entre el LER y el GCR en estudios experimentales. En la Fig. 6 (a), se compara el estudio modelado [10] (triángulos negros) con cuatro estudios experimentales (1], [6], [15], [16], representados por cuadros de colores). Los datos experimentales coinciden en gran medida con la tendencia del modelado, aunque muestran una ligera tendencia hacia valores de LER ligeramente inferiores en comparación con el modelado. No obstante, los estudios experimentales confirman la tendencia de aumento del LER a medida que incrementa el GCR. En la Fig. 6 (b), se presentan los resultados experimentales de este estudio de caso con seis hortalizas. Para el GCR específico del estudio, los valores de LER se sitúan por debajo de la línea de comparación del estudio modelado [10], indicando un rendimiento relativo menor en comparación con los resultados simulados.

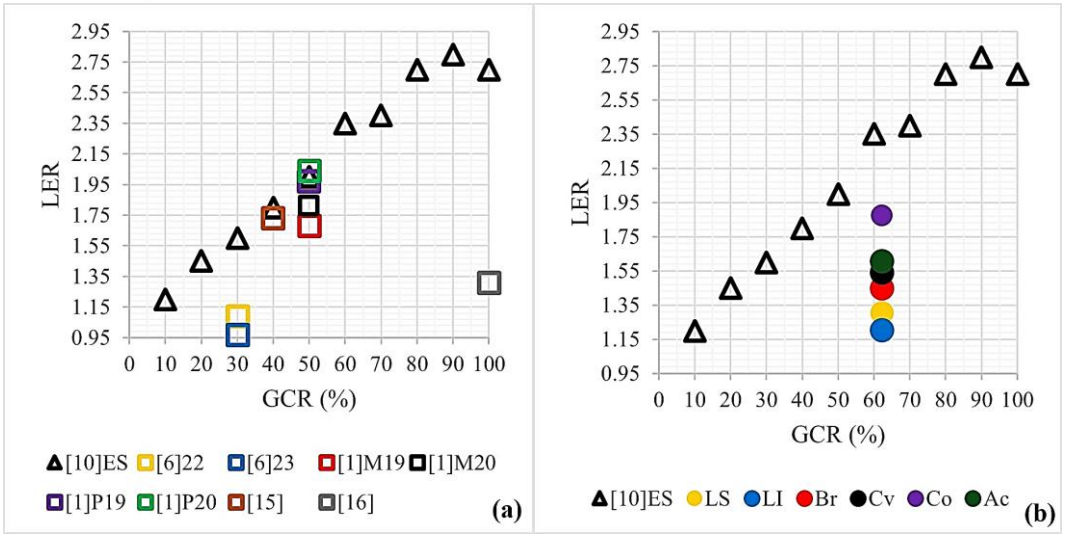



Figura 6. Relación entre el LER y el GCR en estudios experimentales: (a) Comparativa entre el estudio modelado de [10] (triángulos negros) y cuatro estudios experimentales (cuadros). En [6] los resultados para el cultivo de trigo en un SAV abierto se presentan en amarillo (2022) y azul (2023). Este sistema tiene MFVB fijos a 5 m de altura, una distancia entre filas de 4.7 m, con doble orientación (azimut de 35° y 215°) e inclinación de 12°. El estudio [1] muestra un SAV abierto con MFV alineados este-oeste (EO), orientados al sur con una inclinación de 18°, a 1.1 m de altura y con una separación de 6 m entre filas. Los resultados de masa seca (M) de forraje se indican en rojo (2019) y negro (2020), y los de peso vivo (P) de corderos en morado (2019) y verde (2020). El estudio [15], analiza un SAV abierto con MFV estáticos para cultivo de cúrcuma, con altura del borde inferior de 1.68 m, separación entre filas de 3.1 m y orientación sureste con inclinación entre 35° a 45°. Finalmente, [16] presenta un SAV cerrado tipo invernadero para lechuga cultivada bajo iluminación artificial, con MFV fijos a 2.5 m, orientación sur, inclinación de 22° y cobertura del 100%. (b) Muestra los datos de este estudio de caso en comparación con [10]. Los círculos en colores representan distintos cultivos: lechuga sangría en amarillo, lechuga italiana en azul, brócoli en rojo, col verde en negro, coliflor en morado y acelga en verde.

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio confirma la importancia de los sistemas agrivoltaicos (SAV) como una tecnología capaz de mejorar la eficiencia en el uso del suelo al combinar la generación de energía fotovoltaica con la producción agrícola. Estos sistemas representan una solución práctica y sostenible frente a desafíos globales como la seguridad alimentaria y la transición energética, especialmente en regiones con limitaciones de tierra o condiciones climáticas adversas. Los resultados obtenidos en este caso de estudio son un indicativo de que los SAV pueden implementarse en diversas condiciones, aprovechando su capacidad para mitigar el estrés hídrico y térmico en cultivos sensibles.

Las aplicaciones de los hallazgos incluyen la posibilidad de diseñar sistemas agrivoltaicos personalizados para diferentes regiones y tipos de cultivos, maximizando su productividad mediante la configuración óptima de parámetros de diseño como el Ground Coverage Ratio (GCR), la altura, la inclinación y la orientación de los módulos fotovoltaicos. Se destaca, además, la importancia de seleccionar cultivos que toleren condiciones de sombra parcial, mejorando así el rendimiento agrícola bajo estos sistemas.

Este trabajo sienta una base sólida para futuras investigaciones orientadas a la optimización de los SAV, sugiriendo el análisis de su viabilidad económica y el impacto de su implementación en la huella de carbono. La adaptación de los SAV a las características fenológicas de los cultivos y las especificidades climáticas locales promete no solo maximizar la eficiencia en la producción de energía y alimentos, sino también contribuir a un modelo de desarrollo rural más sostenible y resiliente frente al cambio climático

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por facilitar el acceso al proyecto PASE y los datos recopilados y reportados en el mismo, los cuales han sido fundamentales para el desarrollo de este estudio.

**REFERENCIAS**

1. ANDREW, Alyssa C.; HIGGINS, Chad W.; SMALLMAN, Mary A.; GRAHAM, Maggie; ATES, Serkan. "Herbage Yield, Lamb Growth and Foraging Behavior in Agrivoltaic Production System". Frontiers in Sustainable Food Systems, 2021, vol. 5, pp. 1-12. doi: 10.3389/fsufs.2021.659175.
2. JOY, Shourov Sarker; KHAN, Imran; SWARAZ, A. M. "A Non-Traditional Agrophotovoltaic Installation and Its Impact on Cereal Crops: A Case of the BRRI-33 Rice Variety in Bangladesh". Heliyon, 2023, vol. 9, no. 7. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17824.
3. PODGORŠEK, J. "The Development of Agricultural Use in the Area of the Photovoltaic Power Plant D3 Next to the Flow Accumulation of the HE Brežice". Acta Agriculturae Slovenica, 2023, vol. 119, no. 4. doi: 10.14720/aas.2023.119.4.15746.
4. DUPRAZ, Christian; MARROU, Hélène; TALBOT, Gilles; DUFOUR, Laure; NOGIER, Arnaud; FERARD, Yannick. "Combining Solar Photovoltaic Panels and Food Crops for Optimising Land Use: Towards New Agrivoltaic Schemes". Renewable Energy, 2011, vol. 36, no. 10, pp. 2725-2732. doi: 10.1016/j.renene.2011.03.005.
5. WILLOCKX, Brecht; UYTTERHAEGEN, Bert; RONSIJN, Bram; HERTELEER, Bert; CAPPELLE, Jan. "A Standardized Classification and Performance Indicators of Agrivoltaic Systems". En actas de 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Lisboa, Portugal, Oct. 2020. Accedido: 16 jul. 2023. Disponible en: https://lirias.kuleuven.be/retrieve/587644.
6. REHER, Thomas; LAVAERT, Cas; WILLOCKX, Brecht; HUYGHE, Yasmin; BISSCHOP, Jolien; MARTENS, Johan A.; DIELS, Jan; CAPPELLE, Jan; DE POEL, Bram. "Potential of Sugar Beet (Beta vulgaris) and Wheat (Triticum aestivum) Production in Vertical Bifacial, Tracked, or Elevated Agrivoltaic Systems in Belgium". Applied Energy, 2024, vol. 359, p. 122679. doi: 10.1016/j.apenergy.2024.122679.
7. TROMMSDORFF, Maximilian; VORAST, Miriam; DURGA, Nikita; PADWARDHAN, Saurabh. "Potential of Agrivoltaics to Contribute to Socio-Economic Sustainability: A Case Study in Maharashtra / India". En AIP Conference Proceedings, 2021. doi: 10.1063/5.0054569.
8. CURIONI, Maddalena; GALLI, Nikolas; RULLI, Maria Cristina; LEVA, Sonia; MANZOLINI, Giampaolo. "Ductile, Model-Based Feasibility Assessment for Non-Irrigated Agrivoltaic Systems". En 2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), 2022, pp. 1-6. doi: 10.1109/eeeic/icpseurope54979.2022.9854543.
9. RAVILLA, A.; SHIRKEY, G.; CHEN, J.; JARCHOW, M.; STARY, O.; CELIK, I. "Techno-Economic and Life Cycle Assessment of Agrivoltaic System (AVS) Designs". Science of the Total Environment, 2024, vol. 912. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.169274.
10. WARMANN, Emily; JENERETTE, G. Darrel; BARRON-GAFFORD, Greg. "Agrivoltaic System Design Tools for Managing Trade-Offs between Energy Production, Crop Productivity and Water Consumption". Environmental Research Letters, 2024. doi: 10.1088/1748-9326/ad2ab8.
11. KATSIKOGIANNIS, O. A.; ZIAR, H.; ISABELLA, O. "Integration of Bifacial Photovoltaics in Agrivoltaic Systems: A Synergistic Design Approach". Applied Energy, 2022, vol. 309. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118475.
12. CASARES DE LA TORRE, F. J.; VARO-MARTINEZ, M.; LÓPEZ-LUQUE, R.; RAMÍREZ-FAZ, J.; FERNÁNDEZ-AHUMADA, L. M. "Design and Analysis of a Tracking / Backtracking Strategy for PV Plants with Horizontal Trackers after Their Conversion to Agrivoltaic Plants". Renewable Energy, 2022, vol. 187, pp. 537-550. doi: 10.1016/j.renene.2022.01.081.
13. CAMPANA, Pietro Elia; STRIDH, Bengt; AMADUCCI, Stefano; COLAUZZI, Michele. "Optimisation of Vertically Mounted Agrivoltaic Systems". Journal of Cleaner Production, 2021, vol. 325. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129091.
14. MOUHIB, Elmehdi; FERNÁNDEZ-SOLAS, Álvaro; PÉREZ-HIGUERAS, Pedro J.; FERNÁNDEZ-OCAÑA, Ana M.; MICHELI, Leonardo; ALMONACID, Florencia; FERNÁNDEZ, Eduardo F.

"Enhancing Land Use: Integrating Bifacial PV and Olive Trees in Agrivoltaic Systems". Applied Energy, 2024, vol. 359, p. 122660. doi: 10.1016/j.apenergy.2024.122660.
15. GIRI, N. C.; MOHANTY, R. C.; PRADHAN, R. C.; ABDULLAH, S.; GHOSH, U.; MUKHERJEE, A. "Agrivoltaic System for Energy-Food Production: A Symbiotic Approach on Strategy, Modelling, and Optimization". Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2023, vol. 40. doi: 10.1016/j.suscom.2023.100915.
16. COSSU, Marco; TILOCA, Maria Teresa; COSSU, Andrea; DELIGIOS, Paola A.; PALA, Tore; LEDDA, Luigi. "Increasing the Agricultural Sustainability of Closed Agrivoltaic Systems with the Integration of Vertical Farming: A Case Study on Baby-Leaf Lettuce". Applied Energy, 2023, vol. 344. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121278.
17. SÁNCHEZ JUÁREZ, Aarón. Cultivos Agrovoltaicos en Topilejo, CDMX. Resultados de los Primeros Cultivos Cosechados. CDMX, 2024. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://www.parcelaagrovoltaica.com.mx/_files/ugd/e8a592_a126025e0f1e452ea60726d783618f31.pdf.
18. PVsyst 7. Meteo Database. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://www.pvsyst.com/help/index.html?meteo_source_nasa.htm.
19. METEONORM. Features of the Meteonorm Software. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://meteonorm.com/en/product/meteonorm-software.
20. NREL. NSRDB: National Solar Radiation Database. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://nsrdb.nrel.gov/data-sets/international-data.
21. PVGIS. PVGIS User Manual. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en.
22. NASA POWER. POWER Data Methodology. Accedido: 24 oct. 2024. Disponible en: https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/.
23. LUNA CARLOSAMA, Carlos Fernando; MORENO CHUQUEN, Ricardo; MULCUE NIETO, Luis Fernando; JIMÉNEZ GARCÍA, Francy Nelly. "Potential of Photovoltaic Generation in the Putumayo Department of Colombia". Applied Sciences (Switzerland), 2021, vol. 11, no. 12. doi: 10.3390/app11125528.
24. KWON, Ohhyun; KANG, Jinsuk; TROMMSDORFF, Maximilian; LEE, Kyungsoo. "Sensitivity Analysis for Optimized Agrivoltaic Designs: An Inquiry on the Trade-Off Between Homogenous Light Conditions and Electrical Yield". En 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2020, pp. 1220-1225. doi: 10.1109/pvsc45281.2020.9300677.
25. OTT, E. M.; KABUS, C. A.; BAXTER, B. D.; HANNON, B.; CELIK, I. 9.09 - Environmental Analysis of Agrivoltaic Systems. Vols. 1-9. 2022. doi: 10.1016/B978-0-12-819727-1.00012-1.
26. MENGI, E.; SAMARA, O. A.; ZOHDI, T. I. "Crop-Driven Optimization of Agrivoltaics Using a Digital-Replica Framework". Smart Agricultural Technology, 2023, vol. 4. doi: 10.1016/j.atech.2022.100168.

**Sobre los autores**

Mg. Carlos Fernando Luna Carlosama: candidato a doctor en ingeniería de la Universidad Autónoma de Manizales, miembro del grupo de investigación Arapaima del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) de la regional Putumayo, Colombia.
Dra. Francy Nelly Jiménez García: docente e investigadora en la Universidad Autónoma de Manizales y en la Universidad Nacional de Colombia.
Dr. Ricardo Moreno Chuquen: director de Ingeniería en Energía Inteligente, Facultad de Ingeniería, Diseño y Ciencias Aplicadas, Universidad ICESI, Santiago de Cali, Colombia.
Dr. Aarón Sánchez Juárez: docente e investigador en el Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

# PROGRAMA GENERAL

# VII Congreso Internacional de Ingeniería Química, Biotecnológica y Alimentaria (VII CIIQBA)

# (CIIQBA 2024)

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CINÉTICA DEL TRATAMIENTO ENZIMÁTICO DE RESIDUOS DE CAMARÓN PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO

# KINETICS OF THE ENZYMATIC TREATMENT OF SHRIMP WASTE TO OBTAIN CHITOSAN

**Caridad Curbelo Hernández[1], Nelson Iván Cisneros Pérez[2], Galo Arturo Perero Espinosa[2], Luzmila Elizabeth Burbano Mera[2]**

[1]Facultad de Ingeniería Química (CUJAE), calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao
[2]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí, avenida Universitaria y Ché Guevara, Portoviejo, Ecuador

## RESUMEN

El aumento en el cultivo de camarón debido a la demanda de este producto alimenticio, conlleva a un crecimiento de residuos orgánicos, constituidos por la cabeza, vísceras y el exoesqueleto de estos animales cuando son procesados para obtener el músculo comestible. Se conoce que estos residuos contienen minerales, proteínas, pigmentos y quitina. Esta última es un biopolímero de alto valor agregado y con disímiles aplicaciones en diversas industrias al igual que el quitosano, su principal derivado. La transformación del residuo de camarón para la obtención de este compuesto se puede realizar mediante tratamientos químicos, biológicos y enzimáticos o la combinación de ellos. Entre las etapas fundamentales se encuentran la desproteinización y desacetilación de los residuos de camarón *Litopenaeus vannamei*. En esta investigación se estudia la cinética de dichas etapas mediante el uso de enzimas. En la desproteinización de quitina las enzimas utilizadas fueron α-quimotripsina y papaína, mientras que en la desacetilación fue utilizada la enzima beta-glucosidasa. En ambos procesos enzimáticos los resultados experimentales cumplieron con el modelo cinético de Michaelis Menten, lo que permitió la determinación de los parámetros cinéticos en cada caso, a partir de los cuales fue seleccionada la papaína para la desproteinización, debido a que se obtuvo el menor valor de la constante Km, lo que sugiere una mayor afinidad de la enzima por el sustrato, obteniéndose un 67,13 % de deproteinización. En el caso de la desacetilación, los mejores resultados se obtuvieron con una relación enzima/sustrato (E/S) de 1:1, lográndose un porcentaje de desacetilación de 61 %.

*Palabras claves*: cinética, desproteinización, desacetilación, enzimas, quitosano.

## ABSTRACT

The increase in shrimp farming due to the demand for this food product leads to a growth of organic waste, made up of the head, viscera and exoskeleton of these animals when they are processed to obtain edible muscle. These wastes contain minerals, proteins, pigments and chitin. The latter is a biopolymer with high added value and with different applications in various industries, just like chitosan, its main derivative. The transformation of shrimp waste to obtain this compound can be carried out through chemical, biological and enzymatic treatments or a combination of them. Among the fundamental stages are the deproteinization and deacetylation of the residues of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. In this research, the kinetics of these stages are studied with the use of enzymes. In the deproteinization of chitin the enzymes used were α-chymotrypsin and papain, while in the deacetylation the enzyme beta-glucosidase was used. In both enzymatic processes, the experimental results ajusted the kinetic model of Michaelis Menten, which allowed the determination of the kinetic parameters in each case, from which papain was selected for deproteinization, because the lowest value was obtained of Km, which suggests a greater affinity of the enzyme for the substrate, obtaining 67.13% deproteinization. In the case of deacetylation, the best results were obtained with an enzyme/substrate (E/S) ratio of 1:1, achieving a deacetylation percentage of 61%.

*Key Words;* chitosan, deacetylation, deproteinization, enzyme, kinetic

**INTRODUCCIÓN**

El procesamiento industrial del camarón genera residuos sólidos significativos, principalmente exoesqueletos, que representan un promedio del 35 - 40 % del peso del animal [1]. Estos desechos presentan una rica composición química: proteínas (40 %), minerales (35 %), quitina (14 % al 30 %) y pigmentos carotenoides principalmente astaxantina. Además, son una fuente rica de sabores y enzimas, glicosaminoglicanos sulfatados [2] y aminoácidos tales como: metionina, arginina, fenilalanina, valina e histidina [3]. .

La quitina es un biopolímero que forma parte de la estructura de soporte de numerosos organismos vivos, tales como artrópodos (crustáceos e insectos), moluscos y hongos. Se plantea que el contenido de quitina en residuos de crustáceos (camarón) varía entre 14 % - 35 %. Este biopolímero está formado por unidades de 2-acetamida-2-deoxy-β-D-glucosa unidas por enlaces β-(1-4). Se obtiene fácilmente por un tratamiento químico o biológico de residuos de crustáceos con el fin de remover los pigmentos, las sales como el carbonato de calcio y las proteínas que se encuentran asociadas a ella [4].

El quitosano es el principal derivado de la quitina y estos dos biopolímeros presentan muchas aplicaciones en diversas ramas de la economía: tecnología de los alimentos, ciencia de los materiales, microbiología, agricultura, tratamiento de aguas residuales como coagulante, sistemas de administración de fármacos, ingeniería de tejidos, bionanotecnología.

La obtención de la quitina puede desarrollarse mediante tratamientos químicos, biológicos y enzimáticos, y en todos ellos existen tres etapas fundamentales: despigmentación (para la separación de los pigmentos), desmineralización (para eliminar la materia inorgánica) y desproteinización (para la separación de las proteínas). La vía química es la más empleada en la industria debido a su rapidez y bajo costo, aunque presenta como desventajas la generación de desechos corrosivos y la dificultad para recuperar proteínas y pigmentos [5,6].

Los métodos químicos para obtener quitina son altamente contaminantes, mientras que los métodos enzimáticos no presentan estos problemas y permiten la obtención de productos homogéneos y de alta masa molar [7]. El quitosano, derivado principal de la quitina, se obtiene mediante un proceso de desacetilación que afecta sus propiedades y aplicaciones dependiendo del grado de desacetilación (GD) y otros factores [8, 9,10].

Muchos investigadores han aplicado métodos combinados para la obtención de quitina a partir de residuos de crustáceos. En un trabajo reportado se utilizó el método químico para las etapas de despigmentación y desmineralización de exoesqueleto de camarón, mientras que se desarrolló la desproteinización enzimática de la quitina obtenida, utilizando la enzima papaína con una relación másica enzima-sustrato de 0,7:100 y se logró aproximadamente un 44 % de desproteinización. La quitina de cabeza presentó un 68 % de acetilación (GA), mientras que la de exoesqueleto alcanzó un 76 %. Al realizarse un análisis económico preliminar empleando el criterio beneficio/costo se obtuvo un valor igual a 1,83 [11].

En otro trabajo, los autores estudiaron la desacetilación de quitina a partir de exoesqueletos de crustáceos por vía química, utilizando NaOH concentrado a altas temperaturas, alcanzando un elevado porcentaje de desacetilación. La cinética del proceso fue seguido por la variación del ión acetato a través del tiempo y demostraron que la reacción de desacetilación era de primer orden [12].

También ha sido evaluada la reacción de desacetilación de quitina extraída de residuos de camarón, modificando el método químico con NaOH al 50 %, mediante el uso de radiaciones de ultrasonido y microondas en lugar de altas temperaturas de forma independiente. Se demostró que el tiempo de

reacción es un factor importante, obteniéndose un grado de desacetilación (GD) de 88 % a los 10 minutos y 85 % a los 90 minutos con el uso de microondas y ultrasonido, respectivamente [13].

Otro grupo de autores desarrollaron la desacetilación de la quitina extraída de exoesqueletos de camarón asistida con radiaciones de microondas, y estudiaron como factores del proceso la concentración de NaOH, la potencia de la radiación y el tiempo de reacción, resultando todos significativos y se alcanzó un grado de desacetilación de 96 % [14].

La desacetilación enzimática se presenta como una opción más ecológica, utilizando enzimas para catalizar el proceso y obtener un producto homogéneo, soluble e intacto. Sin embargo, estos métodos enzimáticos enfrentan limitaciones en términos de tiempo y costo de las enzimas. Recientemente, se reportó un trabajp donde se llevaron a cabo estudios variando los tiempos de reacción (1, 2, 4, 8 horas) y las relaciones enzima-sustrato (E/S, 0.5:1, 1:1 mg/g). La caracterización del quitosano se realizó mediante métodos potenciométricos y viscométricos para determinar el grado de desacetilación y la masa molar, respectivamente. Los resultados resaltan la posibilidad de obtener quitosano con diferentes grados de desacetilación mediante la optimización de parámetros experimentales. Se observó que los tratamientos enzimáticos afectan el grado de desacetilación, pero no la masa molar, lo que sugiere estrategias para optimizar el proceso mediante el aumento de la concentración de enzima y el tiempo de reacción [15].

El objetivo del presente trabajo es estudiar la cinética de dos procesos enzimáticos en la obtención de quitosano a partir de exoesqueleto de camarón.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describirán las condiciones experimentales para el estudio cinético de los procesos de desproteinización del exoesqueleto de camarón *Litopeneaus vannamei* (previamente despigmentado y desmineralizado) y la desacetilación de la quitina obtenida, ambos con el uso de enzimas.

### Desproteinización enzimñatica de los residuos de camarón

Para la obtención de quitina, el exosqueleto limpio y seco de camarón *Litopeneaus vannamei* se desmineralizó utilizando ácido acético al 5 % (m/v) y luego se realizó la desproteinización enzimática, utilizando proteasas comerciales, basándose en pruebas con papaína y α-quimotripsina como lo indicaron [2, 17, 18]. Se utilizaron soluciones tampón 1M Tris-HCl, pH 8 y 0,05M L-cisteína pH 8, donde sugieren una relación desecho-tampón de 1:20. Para cada ensayo, se prepararon soluciones al 0,7 % y al 0,5 % para la proporción enzima - quitina, se mantuvieron a pH 8 y se agitaron a 40 °C durante 72 horas (ver tabla 1). Los tratamientos se realizaron por triplicado y se analizaron al inicio y final del proceso.

La enzima se inactivó a 90 °C durante 10 minutos, se filtró el precipitado al vacío y se enjuagó con agua destilada. El precipitado se secó a 40 °C durante 24 horas [19] y se almacenó para su análisis posterior.

**Tabla 1.** Diseño experimental para la desproteinización enzimática

| Enzima | Relación E/S (g/g) | Enzima:sustrato (mg/g) | Tampón (mL) |
|---|---|---|---|
| α quimotripsina ≥ 40 U/mg | 0,5:100 | 7,5:1,5 | 30 |
| | 0,7:100 | 9,1:1,3 | 26 |
| Papaína (3,18 U/mg) | 0,5:100 | 50:10 | 200 |
| | 0,7:100 | 70:10 | 200 |

**Desacetilación enzimática de la quitina obtenida**

Para la desacetilación de la quitina y su transformación en quitosano se usó una enzima quitina desacetilasa comercial (obtenida generalmente de cepas fungi de *Mucor rouxii* o *Bacillus* turingiensis), que produjo la reacción de la N-acetil glucosamina para dar como resultado la quitina desacetilada (quitosano) en una relación enzima:sustrato recomendada de 1:20 [19]. Previamente, se hizo reaccionar la quitina en una relación 1:30 (m/v) con una solución de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) al 5 %, ajustando el pH de la solución a 4, ideal para la actividad de la enzima y de esta forma incrementar la solubilidad de la quitina y facilitar la acción de la enzima. Posteriormente, se agregó la enzima beta-glucosidasa en diferentes proporciones con el sustrato (quitina enzimática) en proporciones enzima:sustrato (E:S) 0,5:1 y 1:1 (mg/g). La reacción se llevó a cabo con reflujo a una temperatura de 40 °C con agitación durante 1, 2, 4 y 8 horas para cada proporción. En la tabla 2 se detalla el diseño experimental utilizado para la desacetilación de la quitina obtenida por desproteinización enzimática.

**Tabla 2.** Diseño experimental para la desacetilación enzimática

| Muestras | Cantidad de enzima beta-glucosidasa (mg/g) | Tiempo (h) |
|---|---|---|
| Q1 | 0,5 | 1 |
| Q2 | 0,5 | 2 |
| Q3 | 0,5 | 4 |
| Q4 | 0,5 | 8 |
| Q5 | 1 | 1 |
| Q6 | 1 | 2 |
| Q7 | 1 | 4 |
| Q8 | 1 | 8 |

El quitosano se filtró al vacío y se secó durante dos horas a 50 °C. La enzima se inactivó al aumentar la temperatura a 60 °C [20].

La caracterización del quitosano implicó describir el material de partida, el grado de desacetilación (GD), la masa molar promedio (Mv) y sus propiedades en solución. Sin embargo, debido al bajo rendimiento de desacetilación enzimática de quitina insoluble que se obtuvo con las enzimas quitina- desacetilasas (CDAs), se realizaron pruebas usando pre-tratamientos como: ciertas dosis de irradiación en microondas en soluciones de baja alcalinidad, transformaciones en productos derivados de quitina o la preparación de soluciones de quitina en solventes orgánicos como la dimetil acetamida (DMac/LiCl). Con estos pre-tratamientos se persiguió elevar la eficiencia de este proceso y se logró obtener quitosano. El producto obtenido se purificó mediante lavados con ácido acético diluido, seguido de neutralización, filtración y secado al aire.

**Cinética de la desproteinización enzimática del exoesqueleto de camarón**

Con esta finalidad, se realizó el proceso de desproteinización enzimática en un residuo previamente desmineralizado y decolorado de acuerdo a las mejores condiciones obtenidas para los procesos mencionados (no se presentan). Específicamente, para este proceso se utilizó una enzima específica, la papaína, con una actividad enzimática de 3,18 U/mg, regulando el pH a 8 con 200 mL de tampón de L-cisteína a una concentración de 0,05M. La relación entre el residuo y el tampón fue de 1:20 (w/v) para cada experimento (tabla 3).
Se prepararon soluciones con proporciones de E:S 0,5 % y 1 % manteniendo el pH constante. Estas soluciones se sometieron a agitación a temperaturas de 40 °C y 60 °C durante periodos de tres y 72 horas, respectivamente (tabla 4). En todos los experimentos se utilizaron dos gramos de sustrato y 40 mL de tampón.
Para inactivar la enzima se calentó la solución a 90 °C durante 10 minutos. Posteriormente, se realizó una filtración al vacío y se lavó el residuo con agua destilada. El precipitado resultante se secó en una estufa a 40 °C durante 24 horas y se almacenó para su análisis posterior. Los tratamientos se llevaron a cabo por

duplicado y se realizaron análisis tanto al inicio como al final del proceso. La combinación de estas condiciones de operación y sus respectivas réplicas fueron codificadas como Q1, Q2, …hasta Q8.

**Tabla 3.** Cantidades de enzima, sustrato y tampón empleadas

| Enzima | Relación E/S | Enzima:sustrato (mg/g) | Tampón (mL) |
|---|---|---|---|
| Papaina (3,18 U/mg) | 0,5:100 | 5:10 | 200 |
| | 1:100 | 10:10 | 200 |

**Tabla 4.** Diseño experimental para la desproteinización enzimática

| Muestras | Enzima (%) | Temperatura (°C) | Tiempo (h) |
|---|---|---|---|
| Q1 | 0,5 | 40 | 72 |
| Q2 | 0,5 | 60 | 72 |
| Q3 | 1 | 40 | 72 |
| Q4 | 1 | 60 | 72 |
| Q5 | 0,5 | 40 | 3 |
| Q6 | 0,5 | 60 | 3 |
| Q7 | 1 | 40 | 3 |
| Q8 | 1 | 60 | 3 |

**Cinética de la desacetilación enzimática de la quitina**

Para estudios de la cinética de la reacción se utilizaron las mismas condiciones descritas en la tabla 2. A partir de los resultados experimentales para los dos procesos enzimáticos se determinaron los parámetros del modelo cinético de Michaelis – Menten (ecuación 1), que describe la generalidad de las reacciones enzimáticas [21].

$$V_O = \frac{V_{máx}[S]}{K_m + [S]} \qquad (1)$$

donde:
Vo: velocidad de reacción (concentración de producto /tiempo; mM/min)
Vmáx: velocidad máxina de reacción; mM/min)
[S]: concentración de sustrato (mM)
Km: constante de Michaelis Menten (concentración de sustrato a la cual se alcanza la mitad de la velocidad máxima; mM)

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este acápite se analizará primeramente cada proceso enzimático con su cinética y adicionalmente se reflejará la caracterización del quitosano obtenido tras la desacetilización de la quitina.

**Desproteinización enzimática del exoesqueleto de camarón**

En la tabla 5 se presentan los resultados de la desproteinización de los residuos de camarón usando las dos enzimas previstas, en todos los casos partiendo de muestras con un contenido inicial de proteínas de 41,95 ± 0,76 %.

**Tabla 5.** Comportamiento de la desproteinización enzimática

| Enzima | Tratamiento E:S | % desproteinización |
|---|---|---|
| α quimotripsina | QB1 0,5:100 | 59,03 ± 8,00 |
| | QB2 0,7:100 | 63,48 ± 3,33 |
| papaína | QB3 0,5:100 | 65,43 ± 2,39 |
| | QB4 0,7:100 | 67,13 ± 2,76 |

Según se observa en la tabla anterior, al cabo de las 72 horas con las dos enzimas utilizadas, en la medida que se incrementa la relación E:S se favorece la desproteinización enzimática y entre las dos enzimas los mejores resultados los arrojó la papaína con porcentaje de desproteinización de 67,13 %- Estos resultados superan los informados por otros estudios que utilizaron otras enzimas sobre el mismo sustrato de residuos de camarón, por ejemplo, [22] reportaron un 65 % de remoción de proteínas en quitina mediante la aplicación de la enzima comercial alcalasa. Por su parte, [23] obtuvieron un 33,13 % de desproteinización al aplicar alcalasas, esto indica que el uso de las enzimas α-quimotripsina y papaína en cualquiera de las concentraciones arrojan mejores resultados que los reportados por los autores mencionados, lo que dice de la eficiente desproteinización obtenida.
Sin embargo, es importante señalar que otros autores han reportado resultados superiores al tratamiento empleado en este estudio utilizando α-quimotripsina y papaína. En sus investigaciones lograron reducir el contenido residual de proteínas después de la desproteinización a niveles tan bajos como 1,3 % y 2,8 % respectivamente, lo cual representan procesos que superan el 90 % de desproteinización. Estas diferencias podrían atribuirse al hecho de que los primeros optimizaron el proceso mediante la combinación controlada de temperatura, pH y concentración, mientras que los segundos emplearon catalasas como enzimas para la hidrólisis de las proteínas [24, 25].

En la tabla 6 se presenta la caracterización de la quitina obtenida en cada uno de los tratamientos de desprotinización enzimático desarrollado.

**Tabla 6.** Caracterización de la quitina en función de la masa molar y grado de acetilación

| Tratamiento | | Masa molar Mv (g/mol) | Valoración potenciométrica GA* (%) | desv std |
|---|---|---|---|---|
| α quimotripsina | QB1 0,5:100 | $1{,}00.10^6$ | 67,81 | 3,87 |
| | QB2 0,7:100 | $1{,}06.10^6$ | 80,66 | 1,17 |
| Papaína | QB3 0,5:100 | $1{,}07.10^6$ | 55,00 | 1,24 |
| | QB4 0,7:100 | $1{,}23.10^6$ | 80,68 | 1,83 |

*GA: grado de acetilación

Puede observarse que los parámetros de caracterización de las quitinas obtenidas se acercan a los reportados por otros investigadores, que señalan que para considerar al producto obtenido quitina, esta debe tener una masa molar superior al orden de $10^6$ y un grado de acetilación mayor a 40 %, lo que se cumple para las cuatro quitinas obtenidas. La quitina que presenta la mayor masa molar $1{,}23.10^6$ g/mol y mayor grado de acetilación 80,68 % fue QB4, obtenida mediante el tratamiento enzimático con papaína en una relación enzima-sustrato 0,7:100; lo que justifica el por qué para el estudio cinético se utilizó esta enzima [26].

**Cinética de la desproteinización enzimática**

En las figuras 1 (a y b) se presentan la curva de Michaelis Menten linealizada de acuerdo al Análisis de Lineweaver-Burk, que representa la cinética enzimática después de 3 y72 horas de reacción a 40 °C y 60 °C respectivamente.

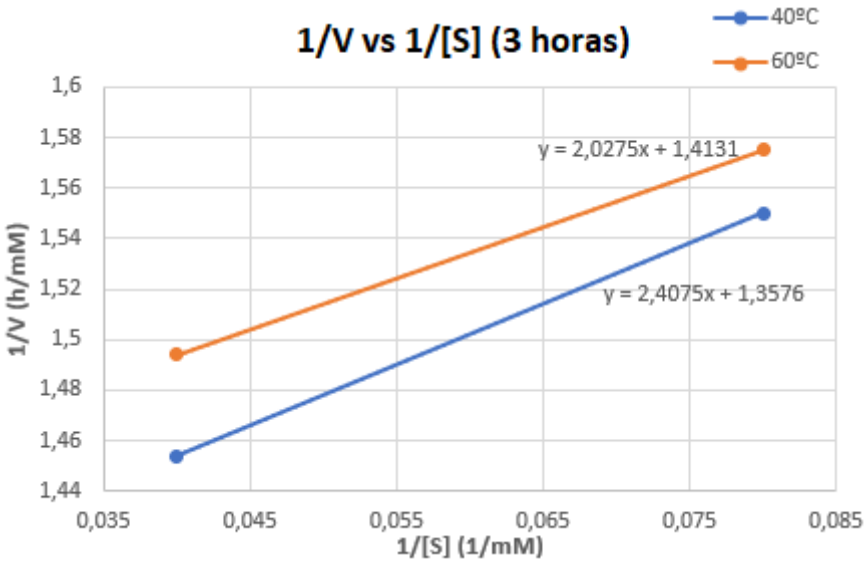



**Figura 1a** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática en tres horas, a 40 y 60 °C

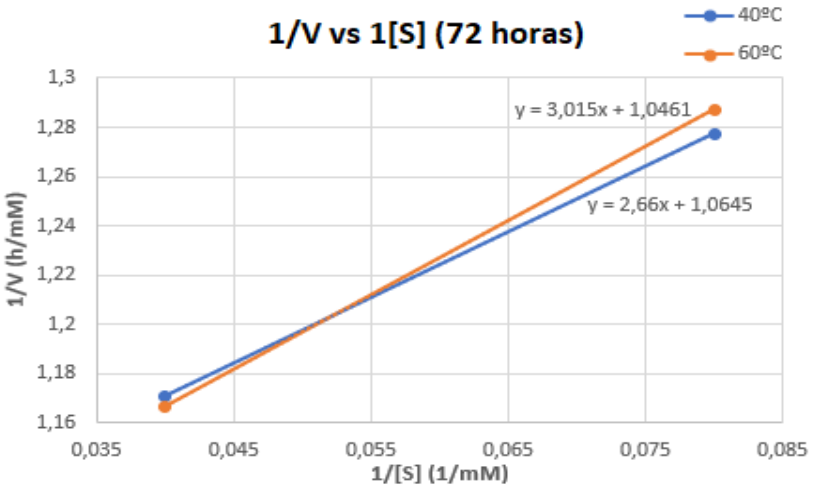



**Figura 1b.** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática en 72 horas, a 40 y 60 °C

Según se observa, a las tres horas de reacción la incidencia de la temperatura es mayor y al cabo de las 72 horas esta influencia prácticamente desaparece. A partir de las figuras 1(a y b) se determinaron los parámetros cinéticos de la desproteinización enzimática (Tabla 7).

En la tabla se muestra la cinética a dos diferentes temperaturas a las tres y 72 horas de reacción. Para el primer tiempo se observa que a 40 °C, la Vmáx es aproximadamente de 0,737 %/h con un valor de ña constante Km de 1,775 mg/L, lo que sugiere una eficiencia y afinidad moderadas. Al incrementar la temperatura a 60 °C, la Vmáx disminuye ligeramente a aproximadamente 0,708 %/h, y el valor de Km también disminuye a 1,436 mg/L Este conjunto de resultados indica que, aunque la eficiencia de la enzima disminuye ligeramente con la temperatura, la afinidad por el sustrato aumenta. Esto puede deberse

a una dinámica alterada del sitio activo a temperaturas más altas y a una estabilidad estructural incrementada de la enzima respectivamente

**Tabla 7.** Parámetros cinéticos en la desproteinización enzimática

| Tiempo (h) | 3 | | 72 | |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 40 | 60 | 40 | 60 |
| Vmáx (%/h) | 0,737 | 0,708 | 0,939 | 0,956 |
| Km (mg/L) | 1,775 | 1,436 | 2,499 | 2,882 |

Para las 72 horas de reacción se observa que tanto los valores de Vmáx y Km se incrementan con respecto a las tres horas, lo que evidencia que la enzima realizó su función catalítica favorablemente. Este comportamiento se produce para las dos temperaturas analizadas.

**Desacetilación enzimática de quitina**

La tabla 8 presenta la caracterización de la quitina tratada enzimáticamente con 0,5 mg y 1,0 mg de β-glucosidasa, respectivamente, durante 1, 2, 4 y 8 horas de tratamiento. Se muestran los valores de masa molar (Mv) y grado de desacetilación (%GD) obtenidos. Con el objetivo de analizar la cinética enzimática de desacetilación de la quitina fue ajustado el modelo de Michaelis-Menten a través del análisis Lineweaver-Burk.

**Tabla 8.** Masa molar en función del grado de desacetilación de la quitina

| | **%GD** | **Masa molar Mv (g/mol)** | **Viscosidad intrínseca (mL/g)** |
|---|---|---|---|
| Qp1 | 38 | $1{,}39.10^5$ | 599,89 |
| Qp2 | 44 | $1{,}24.10^5$ | 551,42 |
| Qp3 | 51 | $1{,}12.10^5$ | 510,16 |
| Qp4 | 57 | $1{,}04.10^5$ | 480,05 |
| Qp5 | 64 | $1{,}01.10^5$ | 599,89 |
| | **Promedio** | **$1{,}16 .10^5 \pm 0{,}15$** | |

La masa molar de la quitina desacetilada, determinada mediante el método viscosimétrico muestra una tendencia a disminuir de manera exponencial hasta un valor asintótico de $1.10^5$ g/mol a medida que se incrementa el grado de desacetilación. Esto puede deberse a que la enzima no solo esté actuando sobre los enlaces de la amida de la quitina, sino también sobre los enlaces estructurales glucosídicos.

Sin embargo, esta reducción de la masa molar no es significativa, lo que sugiere que el efecto del tratamiento enzimático aplicado es incipiente y no parece afectar la estructura polimérica del producto obtenido.

**Cinética de la desacetilación enzimática**

En la tabla 9 se presentan los parámetros cinéticos para el modelo de Michaelis Mente de la quitina tratada enzimáticamente con 0,5 mg y 1,0 mg de beta-glucosidasa, respectivamente, durante 1, 2, 4 y 8

horas de tratamiento, a través del análisis Lineweaver-Burk.

**Tabla 9.** Parámetros cinéticos en la desacetilación enzimática

| E:S (mg/g) | 0,5:1 | 1:1 |
|---|---|---|
| Vmáx (mM/h) | 0,8022 | 1,2947 |
| Km (mM) | 0,4572 | 0,4433 |

Estos resultados sugieren que, en ambos casos, la beta-glucosidasa tiene una alta afinidad por el sustrato, como lo indica el bajo valor de Km. Sin embargo, al aumentar la concentración de la enzima, se incrementa la velocidad máxima de la reacción (Vmáx), lo que indica una mayor eficiencia catalítica.

Cuando se comparan estos resultados con los valores reportados por otros autores, en los que se utilizó tripsina con una concentración de 1 mg sobre quitina, obteniendo un valor de Km de 1,01 mM y una Vmáx de 1,3 mM/h, se evidencia que la beta-glucosidasa, aunque tiene una mayor afinidad por el sustrato, es menos eficiente en términos de velocidad máxima de reacción en comparación con la tripsina. Esto sugiere que aunque la beta-glucosidasa se une al sustrato con mayor facilidad, la tripsina puede catalizar la reacción a una velocidad superior cuando opera a su capacidad máxima [27].

En la figura 2 se presenta la curva de Michaelis Menten linealizada de acuerdo al Análisis de Lineweaver-Burk, representando la cinética enzimática a 25 ºC para una cantidad de 0,5 mg y 1 mg de beta-glucosidasa.

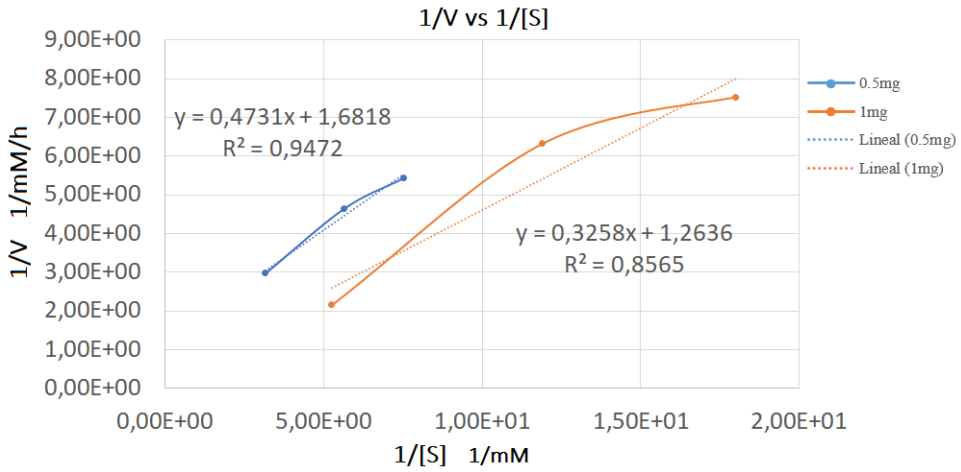



**Figura 2.** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática (beta-glucosidasa) a 25 ºC

Como se observa en ambos casos, pueden apreciarse como líneas prácticamente paralelas en el diagrama de Michaelis-Menten; lo que sugiere, que a pesar de las diferencias en las cantidades de enzimas, la beta-glucosidasa tiene respuestas cinéticas similares frente a los cambios en la relación enzima - sustrato. Sin embargo, las diferencias en los valores de Km y Vmáx indican ajustes sutiles en las características dinámicas.

## 4. CONCLUSIONES

Los residuos de camarón son fuente de quitina y su aprovechamiento disminuye el impacto ambiental y genera beneficios económicos, pues este biopolímero tiene gran demanda en la industria. Se demostró la bondad del tratamiento enzimático frente al químico al generarse residuales amigables con el medio ambiente. Las etapas de desproteinización y desacetilación enzimática cumplen con el modelo cinético de Michaelis Menten y los valores de la constante Km permitió seleccionar a la papaína con los mejores

resultados

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al convenio de colaboración entre la Universidad Técnica de Manabí y la Cujae para la formación de máster y doctores.

## REFERENCIAS

1. Banco Central del Ecuador. Boletín de Cuentas Nacionales Trimestrales del Ecuador. Gisponible en web. http://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/cntrimestral/CNTrimestral.jsp.2014.
2. Cao W., Zhang C., Hong P., Ji H., Hao J., Zhang J. ¨Autolysis of shrimp head by gradual temperature and nutritional quality of the resulting hydrolysate, LWT¨. *Food Science and Technology* 2009, vol.42: pp. 244–249.
3. Barra A., Romero S., Beltramino, D. J. ¨Obtención de quitosano¨. Sitio Argentino de Producción Animal, 2012, pp: 8-9. Disponible en:
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf
4. Polo, M. Sostenibilidad: obtención de quitina a partir de sustancias de desecho, Tesis de Grado, Universidad de Sevilla, España. 2016.
5. Barriga Gómez, G. (2011). Configuración del QT y CMCNa determinada por microscopía, espectroscopía y simulación molecular: orientada a la electroinducción superficial. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 2011 Disponible en. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4819. 2014.
6. Curbelo, C.. Palacio, Y.¨Tratamiento químico de residuos de camarón para la obtención de quitina¨. *Revista Centro Azúcar* 2021, vol. 48 (2). pp: 103-116.
7. Pareek N., Vivekanand V., Pragati Agarwal, Samta Saroj, Rajesh P. Singh.. Bioconversion to chitosan: A two stage process employing chitin deacetylase from *Penicillium oxalicum* SAEM-51. Department of Biotechnology, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee 247667, Uttarakhand, India. Carbohydrate Polymers, ELSEVIER, 418.96, 417– 425. 2013.
8. Abadía Piquero J., Preparación y caracterización mecánica de hidrogeles de quitosano para soporte de células de cartílago. Proyecto de fin de Carrera. Especialidad: Química Industrial. Universidad de Zaragoza. España. 2010.
9. Benhabiles, M. S., Salah, R., Lounici, H., Drouiche, N., Goosen, M. F. A., Mameri, N. ¨Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp shell waste¨. *Food Hydrocolloids*, 2012. vol. 29. pp 48–56.
10. Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan—a versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. Progress in Polymer Science, 36: 981–1014.
11. Curbelo, C, Arzuaga, M.M., Cisneros N,I., Fanego, S, Véliz, E. Obtención de quitina por métodos combinados a partir de residuos de camarón. 19 Convención de Ingeniería y Arquitectura cujae. La Habana, Cuba. 2018, 10 pp.
12. Atencio, R., Valbuena, A.C., Chávez, A., Valbuena, G., Joan Vera-Villalobos, J.V. (2019). Estudio cinético de la N-desacetilación de quitina extraída de exoesqueletos de crustáceos empleando cromatografía iónica CIENCIA 27 (1,2), 45 – 53.
13. Cisneros Pérez I., Curbelo C., Cobeña M.V., Molina D. I. Método alternativo para la desacetilación de la quitina. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*. 2018. Volumen Especial Nº 02, pp: 162-169. ISSN 1316-4821 / 2542-3401
14. Tahir, I., Wijaya, K., Krismayanti, D., Saviola, A.J., Wahab, R.A., Amin, A.K., Peatika, R.A. ¨Microwave Radiation-Assisted Chitib Deacetylation: Optimization by Response Surface Methodology (RSM)¨. *Korean Journal of Materials Research* (2024), vol.34 (2), pp: 85-94.
15. Cisneros Pérez I., Curbelo C; Burbano, L. ¨Enzymatic deacetylation of chitin using betaglucosidase as a biocatalyst. Bionatura**:** International Journal of Biotechnology and Life Sciences 2024. vol. 9 (2): pp:1-9.
16. Hernández I. (2004). ¨La quitosana: un producto bioactivo de diversas aplicaciones¨. *Cultivos Tropicales*, 2004., vol. 25 (3), pp: 97-110.

17. Arzuaga M, M. Obtención de quitina a partir de residuos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) por métodos combinados. Tesis de grado. Director Caridad Curbelo. Instituto Superior Politecnico Jose Antonio Echeverria. 2017.
18. Castelán, C. J. J. Obtención y caracterización de quitina biológica y su desacetilación a quitosano. Tesis de Maestría en Biotecnología. E S E N T A QFB. 2012.
19. Valdez A.U., Espinoza J.D., Sandoval G.C., Balagurusamy N., Hernandez A. M., De la Garza I., Contreras J.C. ¨Screening of Industrial Enzymes for Deproteinization of Shrimp Head for Chitin Recovery¨ *Food Science Biotechnology* 2010, vol.19 (2), pp: 553-557.
20. Castro Lino A., Ramírez Márquez J., Rivera Ortega J. A., González Coronel M. A., Martha Sosa Rivadeneyra M., Sandoval Ramírez J., (2015) ¨Síntesis de quitosano a partir de polisacárido obtenido del camarón, por medio de un método químico- enzimático para tratamiento de colorantes en aguas¨ 2015.. *Revista latinoamericana El ambiente y las Ciencias*. vol.6 (13), pp: 156-162.
21. Macias, A., Hurtado, R., Cedeño, D., Vite, F., Scott, M., Vallejo, P., Santana, W., Espinoza, M., Ubillus, S., Arteaga, X., Torres, O., Reyes, M., Mera, J., Chavarria, D., & Intriago, K. (2018). Introducción Al Estudio De La Bioquímica 2018 (vol. 1, Issue 1). Primera edición: octubre
22. Duarte De Hollanda, H. and Netto F. M. ¨Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis¨. *Food Chemestry and Toxicology*. 2006, vol. 71, pp: 298-303.
23. Dey, S. S., & Dora, K. C. (2011). ¨Suitability of chitosan as cryoprotectant on croaker fish (*Johnius gangeticus*) surimi during frozen storage¨. *Journal of food Science and Technology* 2011, vol, 48, pp: 699-705.
24. Gagne, N. y Simpson, BK (1993). ¨Uso de enzimas proteolíticas para facilitar la recuperación de quitina de los desechos del camarón¨. *Biotecnología de Alimentos* 1993, vol. 7 (3), pp: 253-263.
25. López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Bueno-Solano, C., Campas-Baypoli, O. N., & Adan-Bante, N. P. (2013). ¨Fatty acid composition and total lipid content in protein hydrolysates of shrimp heads¨. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2013, vol. 45 (3) pp: 160-176.
26. Pillai C., Paul W., Sharma Ch. (2009). ¨Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation¨. *Progress in Polymer Science* 2009, vol. 34, pp: 641-678.
27. Mageed, HA, Ezz, NA y Radwan, R. (2019). ¨Agregados de enzimas reticuladas tripsina-quitosano bioinspirados: un enfoque versátil para la estabilización mediante inmovilización sin portador¨. *Revista de Biotecnología, Biología Computacional y Bionanotecnología* 2019, vol.100 (3), pp: 45-60.

**Sobre los autores**

Caridad Curbelo Hernández: Ingeniera Química, Profesora Titular y Consultante de Operaciones Unitarias. Doctora en Ciencias Técnicas, Miembro de la Sociedad Cubana de Química.
Nelson Iván Cisneros Pérez: Ingeniero Químico, Profesor, Máster en Ingeniería Industrial, Mención en Planeación y Control de los Procesos y Servicios.
Galo Arturo Perero Espinosa, Ingeniero Industrial. Profesor, Doctor en Ciencias Técnicas en su Dimensión Ambiental
Luzmila Elizabeth Burbano Mera, Ingeniera Agroindustrial, Profesora, Máster en Agroindustria.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# *ESTUDIO DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE*

**Adrian Alejandro Moreno Aguila, Dr. C Lianys Ortega Viera, Dr. C Elina Fernández Santana, Dr. C José María Ameneiros Martínez**
Universidad Tecnológica de La Habana " José Antonio Echeverria"
adr02.alej@gmail.com

**RESUMEN**

La progresiva inquietud por el medio ambiente se evidencia cuando el deterioro ambiental, la extinción continua de las especies y la repercusión de la producción reflejan los grandes problemas ambientales existentes. El concepto de desarrollo sostenible adquiere repercusión internacional con el Informe *Brundtland* presentado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y se define el término como " el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras" . Uno de los temas ambientales importantes para la construcción de la sostenibilidad es el de los residuos. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo: valorar las potencialidades de los residuos sólidos urbanos para el desarrollo sostenible, exponiendo como caso de estudio la evaluación de las potencialidades de los residuos generados en el campus Cujae. A partir de la evaluación preliminar se obtiene un potencial de generación de electricidad de entre 17,78 MWh y 143, 57 MWh de electricidad según las tecnologías: termo combustión, biogás de relleno sanitario, gas por pirólisis y gasificación por plasma. La más eficiente resulta ser gas por pirólisis, con un ahorro económico de 810 850 CUP mensual para el país. Valores importantes en la búsqueda del camino hacia una sociedad próspera y sostenible.

**PALABRAS CLAVES:** aprovechamiento, desarrollo sostenible, electricidad, residuos sólidos urbanos.

**ABSTRACT**

Below are instructions for preparing your article and send it for consideration by the Scientific Committee of the XXI Scientific Convention on Engineering and Architecture. Please note the following points in particular: type the text of your article to a single column within the margins established in this format (size A4 paper, top and bottom margins of 2.5 cm and left and right margins 3 cm); not print any frame around the text, the abstract should be written with no less than 150 words and not exceed 250 words, use the font Times New Roman 10 pt and single spaced lines, the references should have numerical order according to how they appear in the text, the figures must be of good quality and together with the tables should be interspersed in the text should be declared the whole of the nomenclature of the symbols used and the appropriate units, the use SI international system of units is required, the paper must be written in Spanish with English and Spanish writing in the title, abstract and keywords, the article should have a recommended length between 6 and 12 pages.

**KEY WORDS:** About five key words or phrases, separated by commas (,).

## 1.INTRODUCCIÓN

La población a nivel mundial es dependiente de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades como son: la alimentación, salud, y servicios energéticos, entre otros.

La progresiva inquietud por el medio ambiente y su relación con la economía empieza a evidenciarse después de la Segunda Guerra Mundial, cuando el deterioro ambiental, la extinción continua de especies y la repercusión de la producción reflejan, entre otras razones, los grandes problemas ambientales de esa etapa. En este contexto destaca el I Informe del Club de Roma en 1972 (Meadows, Randers et al. (1972)), " Los límites del crecimiento" , en el que se concluye que: […] si se mantienen las tendencias actuales de

crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población, como de la capacidad industrial (Meadows, Randers et al. 1972, Báez 2020). Sin embargo, no es hasta 1987 que se formaliza el concepto de desarrollo sostenible y adquiere repercusión internacional con el Informe *Brundtland* presentado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. La comisión, creada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1983, define el término como " el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras" (Autores 1987, Báez 2020).

La construcción de una agenda pública vinculada a la producción sustentable requiere de un abordaje integral de los grandes temas ambientales de esta época: Residuos es, sin duda alguna, uno de ellos. Los residuos sólidos (RS) son un problema común en las ciudades y deben ser entendidos desde una visión metabólica. Es decir, las ciudades son sistemas complejos disipativos, que necesitan materiales y energía para satisfacer las funciones y estructuras de estas. En este proceso, dichos materiales y energía se degradan en forma de desechos, que si no son manejados adecuadamente constituyen un reto para su propia sostenibilidad.

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) ha aumentado en todo el mundo como consecuencia del incremento de la población, las actividades humanas y el desarrollo de la tecnología. Adicionalmente, la gestión en la disposición y control de los RSU es compleja debido a la variedad y cantidad de desechos, a un sistema de recolección ineficiente, a la inadecuada disposición final, a bajos presupuestos asignados al manejo de los residuos, impactos al ambiente, falta de participación ciudadana, y a los patrones de consumo de la sociedad.

La generación de RSU constituye una problemática mundial. Tiende a agravarse debido al incremento sostenido de la producción y el consumo de bienes y servicios, particularmente en las sociedades desarrolladas, las que transfieren estos modelos de consumo a los países en vías de desarrollo (Flores 2009). Esta situación se torna más dramática en la medida que continúa tomando auge la implementación de los patrones de consumo que redunda en el ciclo de producir, consumir y desechar, que no solo conlleva al agotamiento de los recursos que se disponen en la naturaleza, sino que incrementa la generación de residuos orgánicos e inorgánicos que, de no recibir un tratamiento adecuado, elevan considerablemente los efectos nocivos sobre el planeta y sus habitantes (Rosario, Toledo et al. 2014). Al respecto, (Rebolledo 2009) plantea que el agravamiento de la situación en cuanto a la generación de los RSU en los últimos años, se debe de manera esencial al desarrollo industrial, las aglomeraciones en torno a las ciudades y el desarrollo desproporcionado de algunos municipios.

La gestión de los RSU, a pesar de que constituye un elemento esencial de las ciudades sostenibles, sanas e inclusivas, suele pasarse por alto, sobre todo en los países de ingreso bajo. Esta situación ha llevado a un replanteamiento del tema y un cambio de actitud, que considera las cuestiones medioambientales de gran relevancia social. Hoy resulta común asemejar calidad de vida, con el disfrute de un medio ambiente lo más íntegro y lo menos deteriorado posible (Broche and Ramos 2014) Esto requiere de mecanismos capaces de recuperar y gestionar adecuadamente estos productos fuera de uso, con el objetivo de contribuir a una apropiada eliminación de los mismos.

En la Agenda 21 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se establecen las bases para un manejo integral de los residuos sólidos municipales (RSM) como parte del desarrollo sostenible (Autores(a) 2018). Las metas y los esfuerzos requeridos en temáticas de medio ambiente se enunciaron dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la declaración del Milenio en el año 2000 (Graziani 2018). En ellos, se establece que el manejo de los residuos debe contemplar la minimización de su generación, el reciclaje, la recolección y el tratamiento, y disposición final, adecuados. También, se indica que cada país y ciudad establecerán sus programas para lograr lo anterior de acuerdo con sus condiciones locales y a sus capacidades económicas. Esta problemática de alcance mundial debe conducir a aumentar la conciencia de los estados y de la población en general, sobre la necesidad de implementar políticas y acciones tendientes a minimizar los impactos negativos que produce la generación

incontrolable de los RSU sobre el medio ambiente y la salud humana modificando el obsoleto patrón de economía lineal, por un nuevo paradigma de economía circular.

Para la República de Cuba, el problema de la gestión del reciclaje de los RSM forma parte de la estrategia para el desarrollo socioeconómico del país, una vez aprobados en el VI Congreso del Partido (PCC) y actualizados en el VII Congreso, los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, para la actualización del nuevo modelo económico emprendido por la nación, que busca un desarrollo sostenible y que se preserven las conquistas del socialismo. El discreto, pero paulatino crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) de la nación según el informe de la Oficina Nacional de Estadística e Información (CITMA 2018), demuestra una evolución positiva y de forma sostenida en la economía cubana que ha tenido un efecto significativo en la generación de RSM.

Según la Estrategia Ambiental Nacional (EAN) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA 2017), la contaminación es uno de los mayores problemas ambientales de Cuba y se plantea en el segundo de sus cuatro objetivos estratégicos hasta el 2020, “ la disminución de la contaminación como vía para mejorar la calidad ambiental” . La existencia de un Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES), favorece la solución al incremento sostenido de los RSM. En el país se producen diariamente aproximadamente 26 122 t de RS, lo que representa una tasa de generación per-cápita de aproximadamente 0,66 kg/hab/día. De ellas, solo son recolectadas alrededor del 40 % y de estas últimas, solo el 13 % son recicladas y/o reutilizadas (CITMA 2017); por lo que hay una parte mayoritaria que continúa permaneciendo como residuo, desaprovechando sus potencialidades. A partir de lo anteriormente se plantea como objetivo de esta investigación: Valorar las potencialidades del tratamiento de los residuos sólidos urbanos para el desarrollo sostenible.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Procedimiento para la evaluación del potencial energético de los RSU

La evaluación del potencial energético de los residuos sólidos requiere en primer lugar, seguir una secuencia de trabajo que inicia con la selección de los indicadores a utilizar; fijar sus metas y estándares en base a los sistemas de tratamiento de residuales empleados, a su potencial energético, considerando las mejores prácticas nacionales e internacionales del sector (*Benchmarking*); realizar los cálculos de la valorización energética; identificar las brechas o desviaciones de los indicadores con respecto a las metas desde los puntos de vistas cuantitativo y cualitativo considerando las tres dimensiones del desarrollo sostenible (ambiental, económica y social) y proponer las políticas o medidas de corrección. Para dar cumplimiento al objetivo de la investigación solo se desarrollan los tres primeros pasos de la secuencia descrita (Columbié, García et al. 2021).

El anterior procedimiento de trabajo debe estar alineado de forma causal o funcional al marco de trabajo de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), sus metas y sistema de indicadores. Para estimar el potencial de valorización de los residuos sólidos, se toman como referencia otras investigaciones que abordan el tema a partir de las diferentes técnicas de tratamiento. Las cuales, a base de procedimientos experimentales, seguimiento y observación de las diferentes tecnologías logran calcular cuanta energía se puede obtener de una tonelada de RS (Columbié, García et al. 2021). La tabla 1 muestra los valores de potencial de valorización según las diferentes tecnologías.

**Tabla 1.** Potencial de valorización por tecnologías (Columbié, García et al. 2021)

| **Tecnología** | **Potencial de valorización por t de RS** | **Fuente** |
|---|---|---|
| **Termo combustión** | 400 - 600 kWh | (Soto 2013) |
| **Biogás de relleno sanitario** | 464 - 646 kWh | (López 2015) |
| **Gas por pirólisis** | 928 - 3 230 kWh | (Millan 2014, López 2015) |
| **Gasificación por plasma** | 600 - 900 kWh | (Soto 2013) |

**2.2 Procedimiento para la evaluación preliminar del potencial energético de los RSU en el campus Cujae**

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo con los siguientes alcances de estudio según la literatura consultada (Columbié, García et al. 2021).

- **Según la intervención del investigador:** el tipo de estudio es observacional porque no existe intervención del investigador sobre los resultados, las mediciones reflejan la evolución natural de los eventos, ajena a la voluntad del investigador
- **Según la planificación de la medición de la variable de estudio:** el tipo de estudio es prospectivo porque el investigador administra sus propias mediciones, la información recolectada posee el control del sesgo de medición
- **Según el número de mediciones de la variable de estudio:** el tipo de estudio es transversal porque la investigación es observacional y analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población muestra o subconjunto predefinido, teniendo en cuenta la prevalencia, efecto de la población y magnitud de la exposición
- **Según el número de variables de interés:** el tipo de estudio es descriptivo debido a que el análisis estadístico es univariado, porque solo determina condiciones, estima los parámetros de la población a partir de una muestra o describe sus características
-

Este, se fundamenta en un diseño no experimental porque la investigación se realiza sin la manipulación deliberada de las variables de caracterización de los residuos sólidos como: generación, composición física, densidad y humedad de residuos sólidos generados en la Cujae.

**Población:** La población de esta investigación está constituida de la siguiente manera: Conocimiento y percepción de la población universitaria: Para determinar esta dimensión, la población objetivo son los alumnos, docentes, administrativos, personal de limpieza y terceros de la Cujae, durante el ciclo académico 2023.

**Muestra**: la muestra se obtuvo de la siguiente manera: Conocimiento y percepción de la población universitaria: Para resolver esta dimensión, la determinación del tamaño de la muestra se procede aplicando la ecuación 1:

$$n=\frac{NZ^2pq}{NE^2+Z^2pq} \qquad \text{ec. 1}$$

Donde:
P (proporción de éxito) :0,5 (-)
Q (proporción de fracaso) :0,5 (-)
N (tamaño de la población de la Cujae)
Z (valor de la distribución normal a una confianza de 95 %) :1,96
E (error de estimación) :0,05 (-)

**Características físicas de los residuos sólidos:** para determinar esta dimensión, no se considera determinar un tamaño de muestra, debido a que se trabaja con los residuos sólidos generados por la población total del ciclo académico 2023 de la Cujae.

**Técnica e instrumentos de recolección de datos:** las técnicas e instrumentos de recolección de datos son fuentes primarias (estudios prospectivos), ya que se realizan en base a la confiabilidad, validez y objetividad, con la finalidad de obtener resultados consistentes y coherentes con la más mínima incertidumbre en esta investigación, por ello se realiza según se expresa a continuación:

**Descripción general del campus Cujae**

La Cujae está integrada por más de 40 edificios y abarca un área de 398 000 $m^2$ donde están comprendidos aulas, laboratorios, salas de conferencias, centros de investigaciones, bibliotecas, talleres, almacenes, dormitorios, comedores, cafeterías, oficinas administrativas, oficinas docentes, teatros,

gimnasios deportivos, campos deportivos, dispensario médico, casa de recreación estudiantil, departamento de ediciones, imprenta, y todo tipo de instalaciones que coadyuvan a una correcta preparación de los educandos.

Cuenta con 9 facultades donde se estudian trece carreras. Y cuenta con 12 centros de investigaciones, asociados casi en su totalidad con las facultades. Los mismos constituyen el núcleo por excelencia del trabajo científico, donde se agrupan los colectivos de resultados más relevantes y de mayor importancia. Tiene 1 858 trabajadores y más de 7 500 estudiantes aproximadamente (Cujae 2023).

Las facultades son: Facultad de Arquitectura, Facultad de Automática, Facultad de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Química y Facultad de Telecomunicaciones. Los tipos de recipientes contenedores de residuos sólidos existentes en la Cujae son los llamados latones que son flotantes: recipientes que pueden ser movilizados por una persona, son de polietileno de alta densidad, reuniendo las mejores condiciones de fluidez, con gran resistencia y tienen una altura de 1 200 mm, 1 265 mm de largo y 740 mm de ancho, con un volumen aproximado de 1 $m^3$. Tiene agarres para facilitar la recogida de basura, que responden a las exigencias de la legislación laboral. El contenedor está formado por dos partes: el cuerpo y la tapa. La unión entre las dos partes se realiza por medio de dos bisagras. La parte exterior de la tapa es prácticamente lisa y abombada por lo que no retiene suciedad, ni agua cuando son lavados. También existen áreas al aire libre destinadas a receptar residuos de jardinería y no poseen ningún tipo de protección contra las inclemencias climáticas (intecoAstur 2023).

**2.3 Procedimiento para el estudio de caracterización de los RSU**

Los estudios de generación y caracterización (ver tabla 2), son útiles para obtener información confiable sobre las cantidades y composición de los residuos, que permite, por ejemplo, hacer las proyecciones necesarias para la planificación de un sistema de recolección de los residuos en una comunidad urbana y/o determinar las cantidades de materiales aptas para reciclar y/o reutilizar (Autores 2018).

La caracterización de los residuos permite planificar las acciones para el manejo de estos, así como encontrar las soluciones más apropiadas a los problemas que presentan en las operaciones básicas de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, evitando el deterioro de la calidad ambiental y la salud de personas (Silveria 2019).

**Tabla 2** Ventajas y desventajas del estudio de caracterización (Coracora 2013)

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| **Permite iniciar e implementar un sistema de manejo de residuos sólidos de acuerdo a las características de los residuos sólidos** | **Se requiere de un espacio amplio para seleccionar los residuos** |
| **Permite tener un conocimiento del potencial económico que representan los residuos diferenciados para el proceso de reciclaje** | **Existe cierto rechazo de la población para ceder un área en la zona urbana destinada a esta labor** |
| **Permiten realizar proyecciones en los volúmenes de generación de residuos sólidos, lo que sería de utilidad para diseñar la construcción de rellenos sanitarios y la adquisición de equipos adecuados para la recolección y transporte** | **Si la muestra no es representativa se desvirtúa la información** |

Algunos métodos de caracterización evalúan los residuos en la disposición final, ya mezclados y compactados, otros se han aplicado desde la fuente de generación, también se han aplicado técnicas de caracterización en las plantas clasificadoras.

Existen diversas técnicas de caracterización aplicadas en cada región y país con diferentes criterios de muestreo y parámetros, que se adaptan a las necesidades de cada caso. Se realiza una revisión exhaustiva de conceptos, normas de caracterización, metodologías de algunos organismos oficiales, propuestas elaboradas por algunos investigadores y metodologías aplicadas en algunos estudios de caracterización de RSU y a partir de esto, se observa que no hay una metodología de caracterización general o estándar, con diversos criterios de muestreo y precisión, que hacen que no se disponga de un patrón de referencia a nivel local, regional e internacional.

**Normativa aplicada para la realización de los estudios de caracterización de RSU**

El método de trabajo que se utiliza en este estudio de caracterización de los RSU, se realiza de acuerdo a lo establecido por las siguientes normas:

- NORMA ASTM 5231-92 (re-aprobada en el año 2008) " *Standard Test Method for Determination of Com-position of Unprocessed Municipal Solid Waste*" (Salcedo 2008)
- NORMA IRAM 29.523:2003 / 2010. " Calidad ambiental - Calidad del suelo: Determinación de la composición de residuos sólidos urbanos sin tratamiento previo" (IRAM29523 2010)
- CEPIS 2005. Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de los residuos sólidos. Hoja de divulgación técnica ISSN: 1018/5119 HDT/ N°97 (CEPIS 2005)

**2.3.1 Determinación del peso volumétrico de residuos**

El procedimiento correcto que se debe hacer es el siguiente:
Para determinar el peso volumétrico de los residuos, recolectados en las zonas determinadas en los términos de referencia (TDR), se depositan los residuos en el contenedor plástico, de 1 $m^3$, hasta que este se complete o en otros casos, hasta el nivel de llenado con los residuos disponibles.

Posteriormente, el recipiente se golpea contra el suelo tres veces desde una altura no superior a los 10 centímetros.

Nuevamente se vierten residuos al contenedor hasta llenarlo, evitando hacer presión para no alterar el valor del peso volumétrico; cuando no se llena el recipiente con los residuos, se anota el volumen que se alcanza en el contenedor.

Una vez que el contenedor esté listo para pesarse, se coloca en la balanza electrónica de 450 kg y sensibilidad de 100 g, y se anota su valor en peso.

El valor neto de los residuos se obtiene restando la tara (peso del contenedor vacío), al valor medido en la balanza. Este peso se divide entre el volumen del recipiente para obtener el peso volumétrico de los residuos sin compactar.

Para el cálculo del peso volumétrico se utiliza la ecuación 2:

$$PV = \frac{PESO}{VOLUMEN} \qquad \text{ec. 2}$$

Donde:
PV: peso volumétrico de residuos ($kg/m^3$)
Peso de residuos: (kg)
Volumen de residuos: ($m^3$)

Ya que no se cuenta con la instrumentación necesaria, se emplea la ecuación 3 para calcular la masa de los RSU del campus universitario, durante los días que se realiza la observación. Para determinar el volumen se realizan caminatas por el campus universitario, se toman fotografías y se mide utilizando una cinta métrica, el área que ocupa cada uno de los vertederos, así como su altura y con estos, se calcula el volumen ocupado por cada uno de los vertederos al aire libre y de los montículos de desechos de jardín. La tabla 3 muestra el valor de la densidad de cada componente.

$$m = \rho * V \quad \text{ec. 3}$$

Donde:
m: masa de los RSU (kg)
ρ: densidad de cada uno de los componentes (kg/m$^3$)
V: volumen ocupado por los RSU (m$^3$)

**Tabla 3** Densidad de los distintos tipos de desechos (Elaboración propia)

| **Componentes** | **Densidad (kg/m$^3$)** | **Fuente** |
|---|---|---|
| **Papel** | 500 - 800 | (Zanuttini 2008) |
| **Cartón** | 600 – 1 200 | (Pro-Carton 2023) |
| **Metales no ferrosos** | 2 000 – 5 000 | (Autores 2021) |
| **Desechos de jardinería** | 250 - 300 | (Biorresiduos 2022) |

**Acopio de las muestras de materiales caracterizados**
Una vez concluida la caracterización de cada uno de los materiales, se embolsan separadamente cada material en " bolsas limpias" , para su posterior pesaje y registro.

**Pesaje de los materiales caracterizados**
Finalizada la caracterización de cada uno de los materiales, se procede al pesaje de cada una de las bolsas, conteniendo cada uno de los materiales.

**2.3.2 Composición básica de los residuos sólidos urbanos**
Las categorías de residuos seleccionadas se presentan en la tabla 4, según componentes que se definieron en la TDR, para la recolección de muestras y caracterización se utiliza la norma ASTM D 5231 – 92 (2008) como base, Norma (IRAM29523 2010).

- Determinación de la composición de los residuos sólidos urbanos sin tratamiento previo
- Calidad ambiental
- Calidad del suelo

De esta manera se realiza un estudio analizando 14 componentes:

**Tabla 4** Composición básica de los RSU (Autores 2018)

| **Material básico componente** | |
|---|---|
| Papel y cartón | Maderas |
| Botellas plásticas | Residuos de jardín |
| Plásticos diversos | Textiles |
| Metales ferrosos | Pañales descartables |
| Metales no ferrosos | Aparatos electrónicos |
| Vidrios | Otros |
| Biodegradables | Misceláneos < 15 mm |

Posteriormente, se calcula el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta la ecuación 4:

$$\text{Composición} = \frac{\text{Peso de cada componente}}{\text{Peso total de los residuos}} * 100 \quad \text{ec. 4}$$

Donde:
Composición de los RSU: (%)
Peso de cada componente: (kg)
Peso total: (kg)

Para determinar el porcentaje promedio de cada componente, se efectúa un promedio simple, es decir, sumando los porcentajes de todas las mediciones de cada componente y dividiéndolo de acuerdo con el periodo de caracterización.

**2.4 Procedimiento para el estudio de generación**

Los estudios de generación de residuos sólidos urbanos, son útiles para obtener información confiable sobre los volúmenes de RSU dispuestos para disposición final, que permite, por ejemplo, hacer las proyecciones necesarias para la planificación de un sistema completo de recolección y disposición final de los residuos en una comunidad urbana, incluyendo, recorridos de servicios, equipamiento a incorporar, determinación de los volúmenes de excavaciones en enterramientos sanitarios, estimaciones de generación de lixiviados y de gases en fosas de disposición final de los residuos, entre otros.

Para la cuantificación de la cantidad de los residuos sólidos urbanos que se generan, se utiliza el índice de Generación de Residuos Sólidos Per Cápita (GP), su estimación depende de la cantidad de población y características socioeconómicas. Viene expresada en las unidades kg/(hab∗día), con este índice se puede determinar la cantidad de maquinaria necesaria, así como equipos y personal para las actividades de recolección (Quinteros, González et al. 2020).

Para determinar la producción de residuos sólidos, es preciso pesar todos los vehículos recolectores durante un período de tiempo y dividir la carga total por la población atendida y por la duración del estudio. Si no se cuenta con básculas en los sitios de disposición de los residuos para pesar los camiones recolectores, se pueden emplear otros métodos para determinar la generación.

En este estudio se exploró una alternativa diferente para inferir la generación de residuos, cuando los recursos para un estudio de esta naturaleza son limitados.

La GP es un cálculo que se utiliza para determinar las cantidades de residuos sólidos que genera, en promedio, una unidad por un determinado tiempo, según se muestra en la ecuación 5 (Trujillo 2020).

$$GP = \frac{W}{UT} \qquad \text{ec. 5}$$

Donde:
GP: Generación de RSU per cápita (kg/(hab∗día))
W: Cantidad generada de RSU (kg)
UT: Unidad de tiempo (día)

**2.5 Consideraciones para la determinación del potencial energético**

Con los volúmenes de RS recolectados en la Cujae durante tres semanas, se estima la valorización de los mismos según las distintas tecnologías que pueden encontrarse en la literatura consultada. Según la información analizada, se calcula el potencial de generación de electricidad, según la tecnología utilizada y los diferentes escenarios a través de la ecuación 6:

$$\text{masa} * \text{Potencial de valorización} = \text{generación de electricidad} \qquad \text{ec. 6}$$

Donde:
masa: masa de recolección de RSU: (t)
Potencial de valorización: potencial de valorización de cada tecnología por t de RS (kWh)
Generación de electricidad: generación de energía eléctrica con RS recolectados (kWh)

**2.6 Consideraciones para el análisis económico**

Conociendo el consumo de energía eléctrica de la Cujae mensualmente, se puede determinar el ahorro (ecuación 7) que proporciona la utilización de una tecnología de aprovechamiento de RS, para la generación de electricidad con los residuos recolectados en la universidad. También el ahorro en cuanto a combustible, que representa para el país.

ahorro=generación de electricidad*precio del barril de petróleo ec. 7

Donde:
Ahorro: ahorro económico en cuanto a combustible necesario para generar electricidad (MN)
Generación de electricidad: (MWh) o (bep-barriles equivalentes de petróleo)
Precio del barril del petróleo: (MN- moneda nacional)/barril (OPEC 2023)
El ahorro generado por la producción de electricidad con los residuos sólidos de la Cujae representa un a contribución importante a la economía del país.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos

A partir de las investigaciones consultadas (Columbié, García et al. 2021), se determina el potencial de valorización por cada tecnología, ver figura 1. Los resultados y cálculos de las investigaciones empleadas como referencias de las tecnologías tratadas en este estudio, pueden variar en dependencia de la composición gravimétrica y otras características físicas, químicas y biológicas de los RS utilizados en cada una.

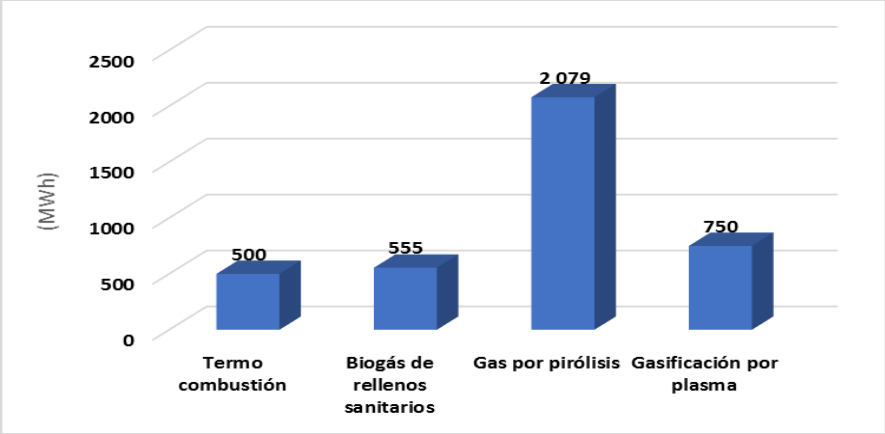



**Figura 1** Potencial de valorización por tonelada de residuo sólido

Esta información no está disponible para los RS recolectados en la Cujae, por lo cual los resultados obtenidos deben usarse como una referencia y aproximación al potencial real. Debido a esto, se estima el potencial de valorización para cada tecnología dentro de los límites inferiores y superiores, según los beneficios energéticos que se podrían obtener. Según (Soto 2013) en una planta de termo combustión una tonelada de desechos podría satisfacer una demanda y consumo entre 400 y 600 kWh.

En biogás de rellenos sanitarios, (*GRS)* según sus siglas en inglés, se produce por descomposición anaeróbica de los residuos urbanos depositados en los rellenos sanitarios. La generación depende del tiempo transcurrido, de la composición de los RSU y de variables meteorológicas como la temperatura del ambiente y la humedad. El uso del *GRS* está determinado por su contenido de metano y el flujo capturado. El porcentaje de sólidos volátiles (SV) presentes en el sustrato equivale al contenido en materia orgánica. Para el 50 % en SV, una fracción orgánica estándar, se estima una cantidad de metano producido entre 550 y 650 $m^3$/t SV y con un porcentaje del mismo del 60 % (López 2015). Debido a estos aspectos y a la degradación biológica incompleta, generalmente se acepta que un volumen máximo aproximado de 200 $Nm^3$ de biogás, puede generarse a partir de una tonelada de RSU dispuestos en el relleno sanitario y 1 $Nm^3$ de biogás puede generar como máximo 2,32 kWh de energía eléctrica y 3,23

kWh de energía térmica en motores de combustión interna con tecnología alemana (Nzila, Dewulf et al. 2010). Entonces por cada tonelada de RSU se podría generar de 464 a 646 kWh.

El volumen de gas producido por pirólisis por tonelada de residuo depende del poder calorífico de este. Para un poder calorífico de 6 MJ/kg se producen alrededor de 400 $Nm^3$ de gas y para un poder calorífico de 12 MJ/kg, se pueden alcanzar valores de hasta 900 a 1 000 $Nm^3$ por tonelada. Debido al aire de combustión, el contenido en partículas de polvo en el gas limpio es 0,25 mg/$Nm^3$ (Millan 2014).

El tratamiento de residuos mediante gasificación por plasma representa el proceso de obtención de energía (kWh) por tonelada de residuos sólidos, hasta 1,5 veces mayor que el proceso mediante incineración, al tener mejor eficiencia de generación eléctrica (Yassin, Lettieri et al. 2009).
En el caso de los países de América Latina y el Caribe (ALC), los RSU tienen un mayor contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35 % a 55 % y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 kg/$m^3$ (Reyes 2006).

### 3.2 Evaluación preliminar del potencial energético de los residuos sólidos del campus Cujae

El objetivo perseguido en esta evaluación preliminar es la toma de muestras representativas, para la determinación de la composición porcentual de los principales componentes y subcomponentes de los RSU.

El alcance del estudio está en la toma de muestras directamente desde los lugares en que son dispuestos los residuos por los habitantes y la clasificación exhaustiva de modo que la muestra resulte representativa. La finalidad del mismo es generar información cuantitativa y cualitativa, sobre las características de los RSU, generados en el campus Cujae.

#### 3.2.1 Caracterización de los residuos sólidos urbanos

Con un total de 31 contenedores de para la recolección de los RSU en todo el campus universitario. Se realizan caminatas y una medición semanal durante 3 semanas, del volumen del área ocupada por los residuos sólidos. La caracterización de los residuos sólidos urbanos tiene parámetros muy importantes para la toma de decisiones, en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo y disposición final de los residuos, por ello se pone especial atención a este estudio desde la selección de las muestras hasta el análisis estadístico.

La finalidad del mismo es generar información de las características de los residuos sólidos urbanos generados en las distintas zonas, mediante el manejo de métodos de muestreo estadístico y análisis señalados en las normas. De esta manera fundamentar las alternativas sobre el manejo y eliminación de los residuos.

La tabla 5 muestra la masa de los residuos sólidos recolectados en el campus Cujae para cada una de las mediciones, mediante la ecuación 3 y la tabla 3.

**Tabla 5** Masa total de RSU recolectados en cada una de las mediciones durante las semanas de estudio

| Medición | Masa total de RSU (kg) | Masa total de RSU (t) |
|---|---|---|
| **1** | 50 753,13 | 50,75 |
| **2** | 40 053,13 | 40,05 |
| **3** | 42 550,00 | 42,55 |

#### 3.2.2 Caracterización física de los residuos sólidos urbanos

Se realiza la caraterización de los residuos sólidos urbanos en el campus Cujae resultando sus componentes esencialmente en papel, cartón, residuos de jardín y metales no ferrosos.

A continuación se muestran en la tabla 6, los valores correspondientes a la masa de los principales componentes de los residuos, según el tipo de material, en las tres mediciones realizadas; así como el porcentaje que representan los distintos tipos de componentes respecto al total (Ver figura 2).

**Tabla 6** Masa de los principales componentes de los residuos sólidos en las mediciones de estudio

| **Componente** | **Masa (t)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Medición 1** | **Medición 2** | **Medición 3** |
| **Papel** | 13,49 | 14,18 | 25,35 |
| **Cartón** | 15,53 | 14,40 | 6,08 |
| **Residuos de jardín** | 11,24 | 7,98 | 4,13 |
| **Metales no ferrosos** | 10,50 | 3,50 | 7,00 |

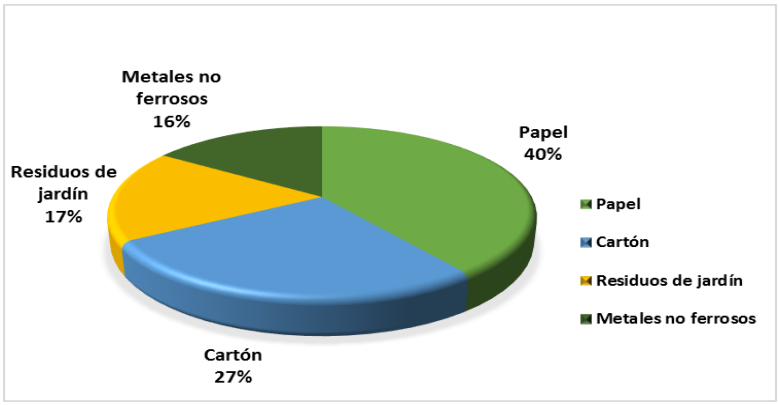



**Figura 2** Porcentaje total de los distintos tipos de materiales según la caracterización de los RS en el campus Cujae

Como se muestra en la figura 2 los componentes de mayor presencia en el campus universitario son el papel y el cartón con un 40 y un 27 % respectivamente. Como era de esperarse al ser una institución escolar, estos materiales son los que más prevalecen por ser insumos esenciales en este tipo de centros. Estos resultados también fueron obtenidos por (Caldera, 2016) en su artículo el cual indica que entre los residuos orgánicos, papel y cartón alcanzan cerca del 70 % del total de residuos de las universidades.

### 3.3 Estudio de generación

#### 3.3.1 Generación per cápita por zona técnica

Los resultados de este estudio se obtienen teniendo en consideración, que no se pudo realizar la medición de la masa de los vehículos de compactación y que se efectúan cálculos estimados con base a la recolección de muestras de los residuos sólidos urbanos para los estudios de generación y caracterización solicitados.

El conocimiento de la producción total de los residuos sólidos urbanos, permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección más adecuado, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de áreas para el tratamiento y la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa de aseo.

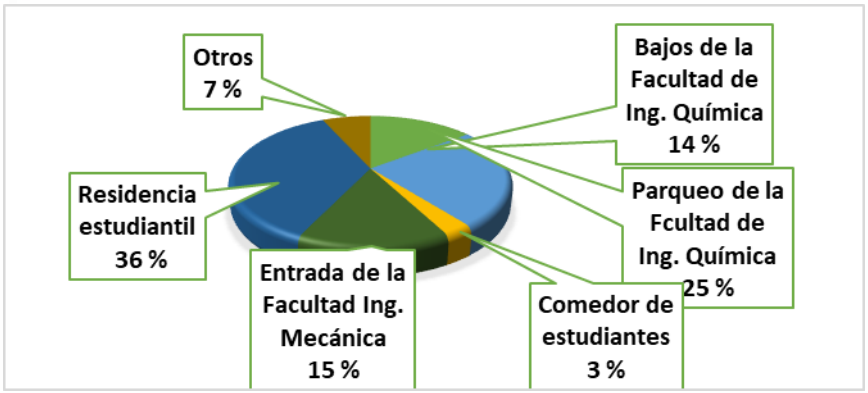



**Figura 3** Porcentaje de generación de RSU por zona técnica

En la figura 3 se observa el porcentaje de generación de RSU por zona técnica. De la generación y composición de los desechos generados en el campus Cujae, se puede decir según este estudio preliminar, que el área de mayor generación es la residencia estudiantil, lo que es directamente proporcional a la población de esa zona, le sigue el área del parqueo de la facultad de Ingeniería Química que unido al volumen de RS de los bajos de la facultad, llega a ser una cifra preocupante, concentrada en un área donde transitan, trabajan y estudian muchas personas. En las demás áreas, su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de residuos generados, salvo cuando hay una demora extrema en recoger los RS del campus universitario por parte de Comunales u otro responsable.
Según los muestreos de residuos realizados en ciudades más grandes y en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas dispersas en las zonas, se ha encontrado que la GP presenta intervalos entre 0,580 y 0,800 kg/hab/día. Tales valores son bastante representativos para la mayoría de estas poblaciones. En el caso del presente estudio en el campus Cujae, la generación per cápita es 4,7 kg/hab/sem o lo que es lo mismo, 0,67 kg/hab/día; lo cual es consecuente y muy similar a la generación per-cápita en el país, que es de aproximadamente 0,66 kg/hab/día (ONEI, 2017).
Algunos de los problemas que pudieran incidir en la gestión actual del manejo de RSU son los siguientes:

1. Falta de herramientas y el equipo de seguridad necesario para la recogida de residuos sólidos
   - Mascarillas, estas pueden evitar algún tipo de enfermedad (influenza)
   - Botas, sirve para evitar el contacto de algún material corto-punzante, también es necesario para compactar los residuos en los contenedores
   - Coche recolector de residuos con capacidad determinada, esto puede evitar que la persona encargada cargue exceso de peso con la columna
2. Falta de implementos para la higiene del personal de limpieza
3. Resides sólidos depositados en lugares no adecuados y cerca de la facultad y el docente, lo cual constituye un riesgo para la salud de las personas que estudian o trabajan en el centro
4. Las personas al momento de arrojar los residuos en los contenedores, muchas veces los dejan en el piso fuera de estos
5. Los contenedores de residuos acumulados se desbordan haciendo que los residuos se desperdiguen, provocando una mala imagen de la institución, y se tenga en potencia, una proliferación de vectores, muy cerca de las edificaciones y pasos peatonales, poniendo en riesgo la salud de la comunidad universitaria
6. Demora en la recolección de los residuos por parte de los responsables, permaneciendo los RSU, por más de una semana bajo las inclemencias climáticas
7. Residuos sólidos peligrosos tales como residuos sólidos de laboratorios son arrojados igualmente a los contenedores
8. Los residuos sólidos generados por el mantenimiento de jardines y áreas verdes, se acumulan en las mismas áreas donde se realiza la actividad al área libre hasta su descomposición, dando una mala imagen a la institución y en potencia una proliferación de vectores. Los residuos de fácil biodegradación, como césped picado, no son aprovechados para transformar en compost
9. Residuos sólidos de fácil comercialización son arrojados y mezclados con el resto de desperdicios, haciendo que estos pierdan su potencial de ser acopiados, recogidos por gestores y posteriormente, reciclados

10. No existe un sistema de recolección, acopio ni promoción, que se encargue de guiar a la población del campues para que recupere residuos sólidos mediante la reducción, re-uso o reciclaje

### 3.4 Determinación del potencial energético

Consumo de energía eléctrica: el consumo de energía eléctrica en los hogares de Cuba se ha incrementado en los últimos cinco años, según los datos disponibles en un 15,63 %, con un incremento promedio anual de 2,96 % y un consumo promedio mensual de 191,1 (kWh/cliente) (ONEI 2022). La Cujae tiene un consumo mensual de energía eléctrica de 301,315 MWh por plan como promedio.

Con los volúmenes de RS recolectados en el campus Cujae durante la investigación, se estima la valorización de los mismos para las distintas tecnologías, obteniéndose como resultados un potencial de generación de electricidad de entre 17,78 y 143,57 MWh de electricidad según la tecnología utilizada y los diferentes escenarios, ver figura 4.

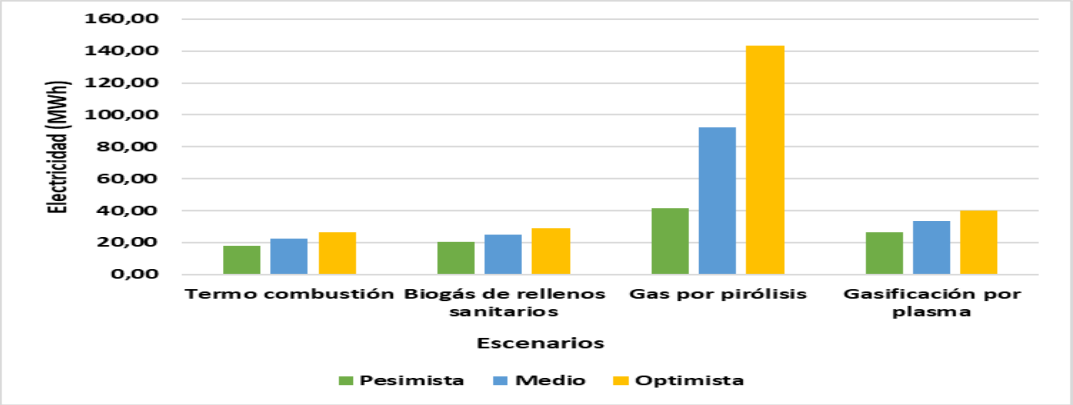



**Figura 4** Estimación de la generación de energía eléctrica según las tecnologías de valorización por tonelada de RSU

Como se puede apreciar, según los resultados de este estudio preliminar, la pirólisis teóricamente, ofrece obtener mayor rendimiento energético; sin embargo, es una tecnología costosa según (Tangri 2017). En Cuba se han desarrollado investigaciones sobre la pirólisis de residuos forestales o de arbustos considerados plagas, como el marabú; como recurso renovable de energía, de paja o bagazo de caña, así como de residuos sólidos de naranja.

Para poder tratar los residuos mediante pirólisis, se deben cumplir una serie de requisitos, no obstante, es difícil definir la tipología de los residuos considerados como adecuados o inadecuados, dado que está muy relacionado con el tipo de reactor usado y de las condiciones de operación. Básicamente, se consideran como residuos más aptos: papel, cartón, astillas de madera, residuos de jardín y algunos plásticos seleccionados, por lo que los residuos sólidos generados en el campus Cujae, son una cantera para la utilización de esta tecnología.
Los residuos deben proceder de un sistema selectivo de recogida y/o en su defecto, deben someterse a un sistema de clasificación previo a la planta de pirólisis. No son admisibles los residuos voluminosos, los metales, los materiales de construcción, los residuos peligrosos, vidrio y algunos plásticos, como el PVC, los cuales se requiere triturar, secar y homogeneizar. Ni en la Cujae, ni en La Habana en general, se cuenta con un sistema de recogida y clasificación en origen, causado por la situación económica, la falta de cultura y sensibilidad de la población, lo que, unido a la ausencia de plantas de tratamientos de RSU, hacen que sean depositados en los vertederos, desechos de diversos orígenes, lo que complejiza la aplicación de esta tecnología.
Las ventajas del proceso de pirólisis incluyen:

1. La posibilidad de recuperar fracciones orgánicas, como por ejemplo el metanol
2. La posibilidad de generar electricidad usando motores de gas o turbinas de gas para la generación, en lugar de calderas de vapor

3. Reducir el volumen de los gases de combustión, para reducir el costo de inversión en el tratamiento de gases de combustión
4. Las ventajas de emisión de los gases de combustión conseguidos en este proceso se verán reducidas, cuando se realice un proceso a altas temperaturas como la gasificación o la combustión

Como inconvenientes, se puede decir que:

1. Uso limitado de ciertos residuos
2. Requiere buen control de operación del proceso
3. La tecnología no está ampliamente probada
4. Requiere un mercado para el gas de síntesis
5. Normalmente se utiliza en una etapa posterior de combustión

### 3.5 Análisis económico

#### 3.5.1 Estimación del ahorro económico por la generación de electricidad

El precio actual del barril de petróleo *Brent* del día 9 de diciembre de 2023 (OPEC 2023), es de 9 114,00 CUP (75,95 USD) el barril. El consumo eléctrico de la Cujae representa un gasto de 1 701 759,90 CUP en combustible, mensualmente para el país utilizando la conversión (Autores 2020):
1 MWh = 0,086 tep, 1 tep = 7,2056 bep (barriles equivalentes de petróleo)

Con la utilización de tecnologías para la generación de electricidad a partir del aprovechamiento de RSU, se estima un ahorro económico representativo para Cuba y más en la situación energética actual que atraviesa el país.

En la figura 5, se observa una comparación entre las distintas tecnologías del presente estudio y el ahorro económico que representa. Se puede observar que la pirólisis ofrece una estimación de 810 850 CUP de ahorro mensual, utilizando solamente los residuos sólidos generados en el campus Cujae.

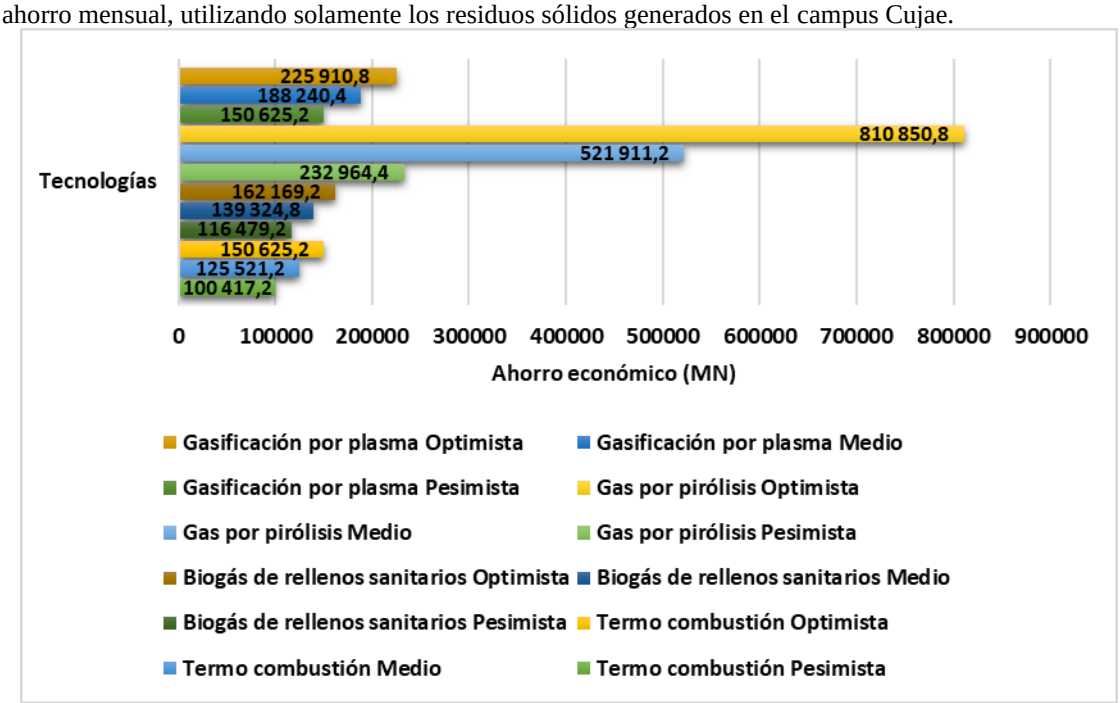



**Figura 5** Estimación del ahorro económico en CUP por la generación de electricidad según el tipo de tecnología

**Propuesta de la mejor variante para el campus Cujae**

Como anteriormente se menciona la tecnología de gas por pirólisis es la más recomendada para el campus Cujae, ya que tiene un alto potencial de valorización por tonelada de residuo sólido. Al ser los residuos más utilizados para esta tecnología: el papel, cartón y residuos de jardín, los predominantes en la Cujae, se destaca esta tecnología como beneficiosa en su uso. El ahorro económico que permite el empleo de esta tecnología, constituye un aporte al desarrollo sostenible que se espera sea alcanzado por todos los países y en este momento, es una respuesta a la imperiosa necesidad del ahorro de combustible al que ha llamado la máxima dirección del país.

## 4 CONCLUSIONES

La evaluación preliminar de las potencialidades de los residuos sólidos urbanos existentes en el campus Cujae, así como la valorización de los mismos para las tecnologías estudiadas, permite obtener como resultado, que estos residuos tienen un potencial para la generación de electricidad entre 17,78 MWh y 143,57 MWh, según la tecnología utilizada en los diferentes escenarios. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos del campus Cujae, se propone como mejor variante la tecnología de gas por pirólisis, la cual permite un ahorro mensual de 810 850 CUP.

## 5 RECOMENDACIONES

- Determinar el costo de inversión de la tecnología de gas por pirólisis para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el campus Cujae
- Proponer un plan de reciclaje en la Cujae que favorezca la clasificación de los RSU para su posterior utilización en la tecnología de gas por pirólisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Autores, C. d. (1987). Nuestro futuro común - Informe Brundtland. N. U. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nueva York.
2. Autores, C. d. (2020). Cap 5. ENERGÍAS NO RENOVABLES.
3. Autores(a), C. d. (2018) La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.
4. Broche, Y. and R. Ramos (2014). "Procedimiento para la gestión de los residuos sólidos generados.
5. Caldera, Y. (2016). "Manejo integral de los residuos sólidos en un núcleo universitario." Impacto científico 11.
6. CEPIS (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caraterización de los residuos sólidos.
7. CITMA (2017). Anuario Estadístico 2016, Edición 2017, Cuba. O. N. d. E. e. I. ONEI.
8. CITMA (2018). Anuario Estadístico 2017, Edición 2018, Cuba. O. N. d. E. e. I. ONEI.
9. Columbié, J. D. N., et al. (2021). "Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos en Santiago de Cuba." Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales: 90-108.
10. Coracora, M. D. d. (2013). "ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE CORACORA-AYACUCHO."
11. Cujae (2023). "Página web Cujae. Recursos humanos. Total de trabajadores." from drh.cujae.edu.cu.
12. Flores, C. B. (2009). "La problemática de los desechos sólidos." Economía XXXIV: 121-144.
13. Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. Buenos Aires.
14. intecoAstur (2023). "Contenedor 1.000 litros." from https://www.intecoastur.com/catalogo/contenedor-desechos-1000-litros-reciclaje/.

15. IRAM29523, N. (2010). Norma IRAM 29.523:2003/2010 Calidad ambiental- Calidad del suelo: Determinacion de la composición de residuos solidos urbanos sin tratamiento previo PRIMERA EDICION 2003-03-10. Cuba.
16. López, J. C. (2015). Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red.
17. Meadows, D. H., et al. (1972). The Limits to Growth. Nueva York.
18. Millan, T. B. (2014). "Estudio de Factibilidad Técnica y Económica de una Planta de Pirolisis para la Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal—Bing ".
19. Nzila, C., et al. (2010). "Biowaste energy potential in Kenya." Renewable energy 35(12): 2698-2704
20. ONEI, O. N. d. E. e. I. (2022). Anuario estadístico de Cuba 2022, Dirección General de Estadística.
21. OPEC (2023). "OPEC December 2023." from https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/7081.htm.
22. Quinteros, P. l., et al. (2020). "Modelo multicriterio para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en Quevedo – Ecuador." Revista de Ciencias Sociales XXVI: 328-352.
23. Rebolledo, A. B. (2009) Gestión Integral del Residuos Sólidos Municipales.
24. Reyes, H. P. (2006). "Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima Metropolitana."
25. Rosario, J. B. F. d., et al. (2014). "GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y SUS IMPACTOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES." Centro Azúcar 41.
26. Salcedo, J. A. (2008). D5231 − 92 Método de prueba estándar para la Determinación de la Composición de Residuos Sólidos Urbanos No Procesados.
27. Silveria, M. L. C. (2019). DETERMINACIÓN DEL APORTE PERCÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE LA CIUDAD DE HUARAZ – ANCASH. FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA. Perú, UNIVERSIDAD NACIONAL " SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" .
28. Soto, M. (2013). Tecnología de incineración o gasificación lo que persigue es generar calor, Obtenido de https://www. nacion. com/elpais/servicios/tecnologia-de ….
29. Tangri, N. (2017). "M. wilson," Gasificación y pirólisis de residudos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos," GAIA, SF, CA." Análisis de Tecnologías de Riesgo.
30. Trujillo, R. S. (2020). Solución a la basura: gestión integral de residuos sólidos, Editorial Nueva.
31. Yassin, L., et al. (2009). "Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context." Chemical Engineering Journal 146(3): 315-327.

# Programa General
# VII Congreso Internacional de Ingeniería Química, Biotecnológica y Alimentaria
# (CIIQBA 2024)

| | Días | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Horario** | **25-Nov** | **26-Nov** | **27-Nov** | **28-Nov** | **29-Nov** |
| **09:00-13:30** | **Acto inaugural<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00** | **Acto Inaugural<br>VII- CIIQBA<br>Sala 8<br>9:00– 9:15** | **Sesión técnica<br>Taller de Magnetismo<br>Sala 8<br>9:00–11:00** | **Sesión técnica<br>Análisis de procesos<br>Sala 8<br>9:00–13:00** | |
| | | **Conferencia Magistral<br>(Ernesto Chico Véliz)<br>Sala 8<br>9:15–10:15<br><br>Conferencia Magistral<br>(Neus Sanjuán Pellicer)<br>Sala<br>10:30–11:15** | **Sesión técnica<br>Ingeniería en alimentos<br><br>Sala 8<br>11:00–12:00** | | |
| | | **Sesión técnica<br>Ingeniería en procesos biotecnológicos<br><br>Sala 8<br>11:30–13:30** | **Sesión técnica<br>Ingeniería ambiental<br><br>Sala 8<br>12:00–13:30** | **13:15–13:30<br>Clausura del<br>VII- CIIQBA** | **Acto Clausura<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas** |
| | **Almuerzo** | | | | |
| **14:00-17:00** | **Buffet de bienvenida<br>XXI CCIA<br>Restaurante<br>El Bucán<br>13:00 horas** | **Encuentro con líderes científicos<br>14:00 horas** | **Ceremonia Condecoraciones<br>Sala 5, 14:00 horas** | | **Brindis de despedida<br>XXI CCIA<br>Rest.<br>El Bucán<br>14:00- 17:00** |

# Programa Técnico

## VII Congreso Internacional de Ingeniería Química, Biotecnológica y Alimentaria
## (CIIQBA 2024)

**Día:** 26 de noviembre 2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente sesión:** Dr.C. Julio Cesar Dustet Mendoza **Sala:** 8

| Horario | Código | Título del trabajo | Ponente |
|---|---|---|---|
| 9:00-9:15 | | **Inauguración VII CIIQBA**<br>**Palabras: Lianys Ortega Viera.**<br>**Decana Facultad Ingeniería Química** | |
| 9:15-10:15 | Conf 1 | Industria 4.0 en Biofarma: perspectivas desde la producción industrial de anticuerpos en Cuba. | Dr. C. Ernesto Chico Véliz (CIGB) |
| 10:20-10:30 | Conf 2 | Efecto de las cadenas de suministro globales sobre la pérdida de la biodiversidad | Dr. C. Neus Sanjuán Pellicer (Universidad Politécnica de Valencia) |
| 11:30-11:40 | CII 32 | Dissolution in a neutral aqueous media of a new strongly low water solubility Active Pharmaceutical Ingredient | Abel Mondelo Rodríguez |
| 11:40-11:50 | CII 33 | Large scale synthesis of 5-ethoxycarbonyl-6-methyl-4-(2-nitro-phenyl)-3,4-dihydro-2(1H) pyridone | Abel Mondelo Rodríguez |
| 11:50-12:00 | CII 13 | Propuestas de mejoras en la producción del anticuerpo monoclonal nimotuzumab para una concentración de $10{,}4 \cdot 10^6$ cél./mL en el biorreactor | Ivis Regalado Fonseca |
| 12:00-12:10 | CII 10 | Establecimiento de la zona de operación para el cultivo a gran escala de la línea celular CHO-K1 en la obtención de una vacuna viral | Jennifer de la Caridad Quesada Rodríguez |
| 12:00-12:10 | CII 47 | Estudio de la composición del medio de cultivo en el crecimiento de *ARTHROSPIRA PLATENSIS* | Denia González León |
| 12:10-12:20 | CII 48 | Impacto de la extensión del tiempo de fermentación en el proceso de producción de NIMOTUZUMAB | Rosalía Martínez Ramos |
| 12:20-12:30 | CII 56 | Separación - purificación de ácido láctico a partir del caldo fermentativo | Yarisleydis Nicot Rochet |
| 12:30-12:40 | CII 09 | Desescalado del proceso de fermentación de la proteína recombinante SL22 a un biorreactor de 50 L | Roberto Rafael Núñez Ortiz |
| 12:40-12:50 | CII 19 | Effect of gelatine crosslinking over scaffolds of composite polymers for tissue engineering | Reyniel Gómez González |
| 12:50-13:00 | CII 15 | Impacto de la fuente de inóculo sobre la producción de ácido láctico | Beatriz Guerra Álvarez |
| 13:00-13:10 | CII 35 | Producción de biohidrógeno mediante la fermentación oscura de residuos de la industria cervecera | Luis Osvel Milián Zamora |
| 13:10-13:20 | CII 49 | Aplicación del Speckle dinámico para el estudio de procesos biofísicoquímicos en hojas de plantas | Juan José Llovera González |
| 13:20-13:30 | CII 31 | Afectaciones por corrosión en planta de tratamiento primario de crudo | Juan José Camejo Giniebra |

**Día:** 27 de noviembre 2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente sesión:** Dr.C. Guido Riera González **Sala:** 8

Dr.C. Guillermo Robeaux Kindelan

| Horario | Código | Título del trabajo | Ponente |
|---|---|---|---|
| 9:00-11:00 | | **Taller: Magnetismo**<br>**Preside:** Guillermo Robeaux Kindelan | |
| | CII 57 | Simulación en superpro designer de la fermentación líquida de Cándida utilis con aplicación de campo magnético | Siannah María Más Diego |
| | CII 58 | Influencia del campo magnético en el crecimiento celular de la levadura Cándida utilis y1084 | Claudia Arias Rodríguez |
| | CII 59 | Influencia de los pulsos repetidos del campo magnético en el crecimiento de Cándida utilis y1840 | José Ramón Guerrero Haber |
| | CII 60 | Incidencia del efecto acumulativo del campo magnético sobre la velocidad de crecimiento de la levadura Cándida utilis | Giselle Giralt Ortega |
| | CII 61 | Selección de una variante para la purificación de levadura Cándida utilis y1084 tratada con campo magnético | Héctor Elpidio Tejera Cisneros |
| | CII 62 | Influencia del campo magnético en el crecimiento celular de Beauveria bassiana 1234 | Dalgis Guerrero Barriel |
| | CII 63 | Influencia del campo magnético en el crecimiento celular de Beauveria bassiana bb12 | Meybel Ríos Hernández |
| | CII 64 | Introducción de la tecnología magnética en la unidad 3 de la termoeléctrica Antonio Maceo | Sofía Melek Campos |
| | CII 65 | Evaluación energética de una caldera de baja presión con tratamiento magnético del diésel | Mónica Berenguer Ungaro |
| | CII 66 | Efecto del campo magnético estático sobre la combustión del diésel en un grupo electrógeno | Ramón Arias Gilart |
| | CII 67 | Factibilidad del uso de la tecnología magnética para el incremento de la eficiencia energética en la termoeléctrica ¨Antonio Maceo¨ | Yilian Rodríguez Clavijo |
| | CII 68 | La tecnología magnética en la termoeléctrica Antonio Maceo | Sofía Melek Campos |
| | CII 69 | Influencia de un campo magnético estático en el proceso de coagulación | Casiano Coureoneaux |
| | CII 70 | El campo magnético, dureza total, calor específico y punto de ebullición del agua | Nuria de los Ángeles Vaillant López |
| | CII 71 | Tecnología magnética en la potabilización y el tratamiento de aguas residuales: revisión y perspectivas | Guillermo Robeaux Kindelan |
| | CII 72 | Estudio de la conservación y contenido de hierro en un néctar de mango tratado con un campo electromagnético de baja frecuencia | Yaima Torres Ferrer |
| | CII 73 | Secado solar de productos para conservación en cuba desde criterios integrales para su uso extendido | Alonso Torres Ten |
| | CII 74 | Norma empresarial: dimensionado y montaje de sistemas de agua caliente sanitaria solar | Alonso Torres Ten |
| | CII 75 | HCACS_CIES, útil para el cálculo de sistemas solares de agua caliente sanitaria | Alonso Torres Ten |
| | CII 54 | Evaluación de los intercambiadores de calor en la CTE Antonio Maceo, a partir del empleo de magnetizadores | Josué Imbert González |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | CII 55<br><br>CII 80 | Evaluación de los indicadores de consumo energético en una planta torrefactora de café<br>Potencial energético de Chlorella vulgaris y Dunaliella viridis: efecto del campo magnético | Josué Imbert González<br>Liliana Gómez Luna |
| 11:10-11:20 | CII 18 | Hidromiel en Colombia: análisis comparativo de una planta de producción piloto en Boyacá y Bolívar | Brahian Rincón Sánchez |
| 11:20-11:30 | CII 44 | Obtención de una emulsión incorporando aceite de caléndula y semilla de aguate | Valentina Novoa Montilla |
| 11:30-11:40 | CII 06 | Obtención de leche gelificada de soya para adulto mayores | Aniely M´Boumba |
| 11:40-11:50 | CII 53 | Obtención de una nanoemulsión de aceite de moringa enriquecido con licopeno | Yanet Sariego Toledo |
| 11:50-12:00 | CII 28 | Incorporación de suero lácteo en la elaboración de helados de frutas | Yisel León |
| 12:00-12:10 | CII 46 | Empleo de dos catalizadores heterogéneos en la transformación de aceite vegetal residual | Marilin García Díaz |
| 12:00-12:10 | CII 01 | Estudio preliminar a nivel de laboratorio del empleo de resinas adsorbentes en la filtración de aguardientes | Salomé Alemán Carriazo |
| 12:10-12:20 | CII 17 | Secado de la almendra de la semilla de mango: características físico-químicas de la harina | Anabel Frías Chirino |
| 12:20-12:30 | CII 20 | Cinética del tratamiento enzimático de residuos de camarón para la obtención de quitosano | Caridad Curbelo Hernández |
| 12:30-12:40 | CII 08 | Implementación de Calibraciones Bromatológicas para analizar las Plantas Proteicas por el equipo NIRS FOSS | Consuelo de la C. González Triana |
| 12:40-12:50 | CII 39 | Estudio del impacto económico y social de los residuos sólidos para el desarrollo sostenible | Adrian Alejandro Moreno Aguila |
| 12:50-13:00 | CII 40 | Sustitución de agua por jugo de henequén en un producto detergente | Naily Toledano Fernández |
| 13:00-13:10 | CII 41 | Propiedades fotoprotectoras de la moringa oleífera | Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas |
| 13:10-13:20 | CII 45 | Influencia del contenido de sólidos perforados y sales en el fluido de perforación | Karen Pedroso Padron |
| 13:20-13:30 | CII 11 | Combined medical application of nanofat and porous polylactic acid scaffolds | Alicia María Tamayo Carbón |
| | CII 43 | Impacto ambiental que provoca la molinera Turcios Lima (**Poster**) | Teresita de Jesús Romero López |
| | CII 34 | Evaluación técnica para la instalación de un enfriador a placas en la producción de aguardiente (**Poster**) | Norbier Pérez Rubio |
| | CII 05 | Evaluación técnica-económica del proceso de cocción y enfriamiento de la producción de jamonada en la UEB empacadora Camilo Cienfuegos (**Poster**) | Guido Riera González |

**Día:** 28 de noviembre 2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente sesión:** Dra.C. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas **Sala:** 8

| Horario | Código | Título del trabajo | Ponente |
|---|---|---|---|
| 9:00-9:10 | CII 21 | Producción de aguardiente a partir de meladura en la destilería ‘‘Héctor Molina Riaño’’ | Grettel Castillo Cabrera, |
| 9:10-9:20 | CII 29 | Caracterización físico-química y sensorial en el LABEB de aguardientes obtenidos a partir de meladura | Dacelis Borroto Mato |
| 9:20-9:30 | CII 37 | Evaluación de aguardientes obtenidos de dos fuentes de materia prima por cromatografía gaseosa | Lissette Orta Arrazcaeta |
| 9:30-9:40 | CII 36 | Vodka de ñame criollo: Innovación en destilados a partir de *Dioscorea bulbifera*- proceso y caracterización | Marco Mason |
| 9:40-9:50 | CII 22 | Aplicación de técnicas de integración de procesos en plantas de derivados de la industria azucarera | Sheila Pérez Cedeño, |
| 9:50-10:00 | CII 26 | Aplicación de técnicas de integración energética en plantas de torula y etanol | Jorge Arturo Hernández Sorhegui |
| 10:00-10:10 | CII 52 | Evaluación de esquemas de integración en plantas de derivados de la empresa agroindustrial azucarera (EAA) “Antonio Sánchez” | Arletis Cruz Llerena |
| 10:10-10:20 | CII 76 | Hydrogen production via steam reforming of biogas derived from sugarcane vinasse | Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani |
| 10:20-10:30 | CII 27 | Evaluación de la producción de etanol extrafino mediante simulación con ASPEN HYSYS V10.0 | Javier Horta García, |
| 10:30-10:40 | CII 23 | Destilación reactiva para la valorización de fusel: simulación de procesos | Claudia Liz García Aleaga, |
| 10:40-10:50 | CII 25 | Valorización de la corriente cabezas de la destilación de etanol hidratado a partir de la recuperación de productos de alto valor agregado | Yadaxy Alonso Miranda, |
| 10:50-11:00 | CII 2 | Propuestas de mejoras en la columna de rectificación de alcohol de la ronera Santa Cruz | Lídice Fernández Hernández |
| 11:00-11:10 | CII 3 | Propuestas de mejoras en la columna depuradora de alcohol de la ronera Santa Cruz | Rolando González Señan |
| 11:10-11:20 | CII 4 | Estudio del precalentamiento de la alimentación a la columna destiladora de la ronera Santa Cruz | Marí Fernández Águila |
| 11:20-11:30 | CII 50 | Sistema para la capacitación de operarios de destilerías de etanol hidratado | Gil Cruz Lemus |
| 11:30-11:40 | CII 24 | Aplicación de la minería de datos al estudio de mermas en el proceso de añejamiento de rones | Rachel Hojas Ricardo, |
| 11:40-11:50 | CII 77 | Optimization and evaluation of vegetable oil hydroprocessing to green diesel production | Florival Rodrigues de Carvalho |
| 11:50-12:00 | CII 7 | Optimización multiobjetivo con modelos multivariados en producciones lácteas | Eduardo J. García Noa |
| 12:00-12:10 | CII 51 | Modelación matemática de la fermentación sólida de la leguminosa Lupinus mutabilis en condiciones rústicas | Daniel Treto López |
| 12:00-12:10 | CII 38 | Hydrogen-free furfural HDO with zirconia-supported copper-rhenium catalysts | Claudio Roberto Almeida de Abreu |
| 12:10-12:20 | CII 30 | Optimización y desarrollo de modelo matemático para el control del proceso de soldadura por fricción agitación de la aleación 6061. | Fernando Franco Arenas |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 12:20-12:30 | CII 16 | Producción industrial de los productos zeolíticos Nerea | Julio Cesar Molina Amat |
| 12:30-12:40 | CII 12 | Hoja de cálculo para el balance energético de un bloque en la central termoeléctrica de Santa Cruz | Osvaldo Gozá León |
| 12:40-12:50 | CII 14 | Propuesta para mejorar la eficiencia en la elaboración de crema con aceite de argán | Fernando González Rodríguez |
| 12:50-13:00 | CII 42 | Análisis probabilístico de efecto dominó por incendio mediante un enfoque fuzzy- bayesiano en un área de almacenamiento de hidrocarburos | Yanelys Cuba Arana |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO EN EL CRECIMIENTO DE *ARTHROSPIRA PLATENSIS*

**Denia González León [1], Yadira Gutiérrez Barroso [1,2], Jenny del Valle Martínez [1], Meyvis González López [1]**

[1] **Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Química, Calle 114 #11901 e/n Rotronda y Ciclovia, Marianao, La Habana,** [2] **Empresa de Producción y Comercialización de Productos Naturales (GENIX-LABIOFAM), Unidad de Desarrollo e Innovación, 100 y Ojo de agua, Arroyo Naranjo, La Habana**
[1]denia@quimica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

*Spirulina (Arthrospira platensis)* es una cianobacterias filamentosa fotosintética de interés comercial por su rica composición en proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos, vitaminas y pigmentos. Contiene entre el 40 y 70 % de proteínas, cuenta con todos los aminoácidos esenciales y ha sido sumamente estudiada por su potencial nutricional, antioxidante, terapéutico y coadyuvante en el tratamiento de la obesidad. El proceso de desarrollo para la obtención de polvo de Spirulina cuenta con una etapa fermentativa, en la cual se hace necesario evaluar diferentes composiciones de medios de cultivo con el fin de determinar con cuál se alcanzan los mayores valores de biomasa. Primeramente, se realizó la evaluación de diferentes medios de cultivo Spirel, OFFER, Shlösser y BG11 y luego con el mejor medio seleccionado se estudió el efecto de concentraciones de bicarbonato de sodio y urea sobre el crecimiento a través de diseño experimental $3^2$. La fermentación se realizó en Erlenmeyer de 250 mL a temperatura ambiente, con agitación y luminosidad controladas durante 10 días y se monitoreó el cultivo con un espectrofotómetro (λ=560 nm), lo que permitió elaborar la curva de crecimiento para cada experimento. La producción máxima de biomasa se obtuvo con el medio de cultivo Spirel (14,58 g/L) en la fase de crecimiento exponencial, seguido del medio OFFER (10,06 g/L), Shlösser (9,62 g/L) y por último BG11 (6,33 g/L). La mayor concentración de biomasa (15,43 g/L) se alcanzó en el medio Spirel cuando la concentración de bicarbonato de sodio es 12 g/L y urea igual a 0,1 g/L.

**PALABRAS CLAVES:** *Spirulina*, cultivo de cianobacterias, medios de cultivo

# STUDY OF THE COMPOSITION OF THE CULTURE MEDIUM IN THE GROWTH OF ARTHROSPIRA PLATENSIS

## ABSTRACT

Spirulina (Arthrospira platensis) is a filamentous photosynthetic cyanobacteria of commercial interest due to its rich composition in proteins, carbohydrates, nucleic acids, lipids, vitamins, and pigments. It contains between 40 and 70% protein, has all the essential amino acids and has been highly studied for its nutritional, antioxidant, therapeutic and adjuvant potential in the treatment of obesity. The development process to obtain Spirulina powder has a fermentation stage, in which it is necessary to evaluate different composition of culture media in order to determine which one achieves the highest biomass values. First, the evaluation of different culture media Spirel, OFFER, Shlösser and BG11 was carried out and then with the best medium selected, the effect of sodium bicarbonate and urea concentrations on growth was studied through experimental design $3^2$. This fermentation took place in a 250 mL Erlenmeryer flask, at room temperature, with controlled agitation and lighting lasted 10 days and was monitored with a spectrophometer (λ=560 nm), which allowed the development of the growth curve for each experiment. The maximum biomass production was obtained with Spirel (14.48 g/L) in the exponential growing phase, followed by OFFER medium (10.06 g/L), Shlösser (9.62 g/L) and lastly BG11 (6.33 g/L). The highest biomass concentration was reached in the Spirel medium when the concentration of sodium bicarbonate is 12 g/L and urea equal to 0.1 g/L.

**KEY WORDS:** Spirulina, cyanobacteria culture, culture media

## 1. INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias se han estudiado ampliamente con el fin de producir compuestos que son de interés en las grandes industrias: alimentarias, farmacológicas, cosméticas, acuícolas, entre otras; esto, gracias a sus potenciales usos en la producción de biodiesel, tratamiento de aguas residuales, elaboración de pigmentos para alimentos, antioxidantes para la dieta humana, entre muchos otros [1, 2]. Existen diversas especies de cianobacterias que poseen características nutracéuticas. El término Spirulina se utiliza para referirse principalmente a dos especies: Arthrospira platensis y Arthrospira máxima, las cuales son las que mayor importancia tienen en la economía y en la industria de productos alimenticios. Estas son cultivadas, cosechadas y vendidas para fabricar productos con propiedades nutritivas y su consumo está relacionado con la reducción y prevención del desarrollo de patologías tales como diabetes, obesidad, enfermedades cardiovasculares, cáncer, entre otras; lo cual está asociado fundamentalmente al alto contenido en fibra que contienen [3].

Arthrospira platensis pertenece al phylum Cianobacteria y en la naturaleza habita en lagos alcalinos de zonas tropicales. La forma de espiral de sus tricomas le dio su nombre común, se considera como un tricoma helicoidal de forma cilíndrica e inmóvil, cuya reproducción se realiza por ruptura intracelular. Su talla oscila entre 13 y 25 µm. Puede ser cosechada y procesada debido a su alto contenido en macro y micronutrientes [4, 5]. Es más elevada en proteínas que otros alimentos y su sobresaliente perfil nutricional también incluye los ácidos grasos esenciales, el ácido gamma linoleico (GLA), lípidos, ácidos nucleicos, ácido ribonucleico y ácido desoxirribonucleico (RNA y DNA), vitamina B12, vitamina B y E y fotoquímicos, tales como carotenos, clorofila (purificador de sangre), ficocianina (pigmento azul) la cual es una proteína que se conoce como inhibidora del cáncer [6]. Esta especie es capaz de convertir la energía del sol en compuestos químicos usando dióxido de carbono y liberando oxígeno, además de fijar el nitrógeno del medio [7].

La producción a gran escala de esta cianobacteria implica el uso de nutrientes elementales (macro y micronutrientes) en el crecimiento, productividad y composición bioquímica, estos nutrientes de grado analítico presentan elevados costos, y su uso para producción masiva de microorganismos autótrofos hace el proceso poco sostenible [8]. El carbono es uno de los nutrientes clave para la realización de la fotosíntesis. Por otro lado, el nitrógeno es otro macronutriente esencial para el crecimiento de las cianobacterias, ya que es necesario para la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. Su costo de producción está directamente relacionado a la composición del medio de cultivo empleado (sales de nitrato grado analítico), por ello, es esencial el empleo de sustancias similares a las sales grado analítico de los medios de cultivo estándar [6]. En consecuencia, algunos autores han estudiado el uso de fertilizantes grado comercial principalmente urea y sales de amonio, que contienen nutrientes esenciales como carbono, nitrógeno y fósforo, como sustituyentes de la fuente de nitrógeno del medio de cultivo [8]. El presente estudio pretende evaluar el efecto de la composición de diferentes medios de cultivo en la producción de biomasa de *Arthrospira platensis*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de la cepa

La cepa de *Arthrospira platensis* utilizada para llevar a cabo este trabajo es de procedencia brasileña (código *SPB*) mantenida en el laboratorio de la UEB Spirulina Jaruco de la Empresa GENIX-LABIOFAM en el banco de trabajo a:

- Cámara climática a 17 ºC
- Temperatura ambiente

*La Spirulina* se mantiene en el cepario del laboratorio, en tubos de ensayo que contiene el medio de cultivo *Spirel* estéril.

### Obtención del inóculo

Se tomaron 50 mL del subcultivo de *Spirulina* mantenidos en el cepario del Laboratorio y se inoculó un Erlenmeyer de 500 mL añadiendo 200 mL de medio *Spirel* previamente preparado, para obtener un volumen inicial de 250 mL y una densidad óptica (D.O) de 0,2.
Se fue añadiendo gradualmente medio *Spirel* hasta que el cultivo alcanzó una D.O de 0,5 y un volumen final de 3 L, a partir del cual se extrajo la jalea para realizar las siembras en los diferentes medios de cultivo.

**Medios de cultivos**

Se pesaron los nutrientes para cada medio de cultivo Tabla 1. Agregando 1 L de agua destilada a un matraz de 1 L y se fueron disolviendo las sales a temperatura ambiente con agitación moderada en dos matraces por separado para evitar insolubilidad de las mismas. Se eligieron cuatro medios de cultivos, el medio *Spirel, OFERR, Shlösser y BG11*, propuestos en la bibliografía debido a su capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de esta cianobacteria, así como su simplicidad y bajo costo [9, 11].

Tabla 1: Concentración de nutrientes en cada medio de cultivo a emplear

| Nutrientes | Spirel | OFERR | BG11 | Shlösser |
|---|---|---|---|---|
| $NaHCO_3$ (g/L) | 16,8 | 8,0 | - | 13,61 |
| NaCl (g/L) | 1,0 | 5,0 | - | 1,0 |
| $MgSO_4.7H_2O$(g/L) | 0,2 | 0,16 | 0,075 | 0,20 |
| $CaCl_2.2H_2O$ (g/L) | 0,02 | - | 0,036 | 0,04 |
| $FeSO_4.7H_2O$ (g/L) | 0,01 | 0,05 | 0,006 | - |
| KCl (g/L) | 1,0 | - | - | - |
| $K_2HPO_4$ (g/L) | 0,25 | 0,052 | 0,04 | 0,5 |
| $NaNO_3$ (g/L) | - | 0,5 | 1,5 | 2,5 |
| $K_2SO_4$ (g/L) | - | 1,0 | - | 1,0 |
| EDTA (g/L) | 0,04 | - | 0,02 | - |
| Urea (g/L) | 0,1 | 0,2 | - | - |
| $Na_2CO_3$ (g/L) | - | - | 0,01 | 4,03 |

**Condiciones del cultivo**

Se filtraron 80 mL del cultivo de *Arthrospira platensis*. Se inocularon los Erlenmeyer de 250 mL con la biomasa filtrada anteriormente y 200 mL de cada medio de cultivo, cerrados posteriormente con tapones de algodones estériles. El experimento se realizó por triplicado, haciendo un total de 12 muestras. La cepa de *Arthrospira platensis* se inoculó en los medios de cultivo en condiciones de laboratorio durante diez días. Cada matraz con el cultivo se coloca en fotoperiodos de 12 h de luz natural y 12 h de oscuridad, agitación en zaranda y temperatura ambiente. Se tomaron lecturas de absorbancia diariamente en un espectrofotómetro, para lo cual se registró la medición de absorbancia a 560 nm para la evaluación de la turbidez del medio. Se realizó un monitoreo con el microscopio óptico controlando los siguientes parámetros: color, morfología, pigmentación, número de espiras, fragmentación, contaminantes y materia orgánica.

**Determinación de biomasa**

Para poder calcular los diferentes parámetros del proceso que tienen relación con la biomasa, es necesario disponer de una metodología que permita cuantificar la misma. Para ello se realizó una curva de calibración que permitió correlacionar D.O y la determinación gravimétrica o peso seco (PS).

El procedimiento para elaborar la curva de calibración se describe a continuación: A un cultivo de cianobacterias se le midió la densidad óptica a 560 nm en espectrofotómetro UV-visible (Shimadzu, modelo UV-1700), y teniendo en cuenta el valor de D.O obtenido se tomaron 20 mL de la solución original y se mezclaron con igual volumen de agua destilada lo que resultó en una reducción a la mitad de su concentración inicial. El proceso se repitió en serie cuatro veces obteniéndose una solución final con una concentración 1/16 veces menor que la solución original. A dichas diluciones se le midió posteriormente la densidad óptica por triplicado.

Posteriormente, los tubos *Eppendorf* de 1,5 mL fueron lavados con agua destilada y puestos a secar 24 h en estufa a 100 ºC hasta peso constante y se determinó su peso seco inicial mediante balanza analítica (Electronic Balance, modelo FA1204).

Luego de secados los tubos, se pipeteó 1 mL de cada dilución a los *Eppendorf*, por triplicado. Haciendo un total de 15 muestras. Los mismos fueron puestos a secar aproximadamente 48 h en la estufa a 105 ºC hasta peso constante y se determinó su peso seco final mediante balanza analítica.

La cantidad de biomasa, expresada como peso seco, se determinó según (1).

$$Biomasa\ \left({}^{g}/_{L}\right) = \frac{P_f - P_i}{v_s} \qquad (1)$$

Donde:

$P_f$ - Peso seco final (g)

$P_i$ - Peso seco inicial (g)

$V_s$- Volumen de suspensión (L)

Posteriormente, se correlacionaron los valores obtenidos de biomasa con las determinaciones de D.O reales con el fin de hallar la regresión lineal correspondiente.

**Cinética y cuantificación de crecimiento**

Para determinar la curva de crecimiento de *Spirulina* en los diferentes medios de cultivo se tomaron muestras periódicas cada día durante 10 días aproximadamente a la misma hora, se determinó su densidad óptica y se determinó la biomasa utilizando la curva de calibración. Esto permitió la estimación de parámetros de interés como la velocidad específica de crecimiento (μ), el tiempo de duplicación (Td) y el índice de crecimiento (IC).

*Velocidad específica de crecimiento (μ):* Los datos del crecimiento celular fueron graficados en la forma de logaritmo natural vs tiempo. Esto permitió la obtención de una línea recta sobre la fase de crecimiento exponencial. El valor de la pendiente de esta parte lineal de la curva corresponde al valor de μ, cuyas unidades están definidas como tiempo$^{-1}$.

*Tiempo de duplicación (Td):* otro parámetro importante a conocer en un proceso discontinuo es el tiempo de duplicación de la biomasa, que se define como el tiempo que tarda una población celular en duplicar su número durante el crecimiento exponencial. El mismo fue calculado a partir de (2).

$$Td = \frac{\ln(2)}{\mu} \qquad (2)$$

*Índice de crecimiento (IC):* expresa la cantidad de veces que la biomasa inicial (inóculo) se ha duplicado a lo largo de un período de cultivo. El índice de crecimiento fue calculado según (3):

$$IC = \frac{CB_2 - CB_1}{CB_1} \qquad (3)$$

Donde:

$CB_2$ - Concentración de biomasa final (g/L)

$CB_1$ - Concentración de biomasa inicial (g/L)

**Influencia de la concentración de bicarbonato de sodio y urea sobre la biomasa final**

La producción de *Spirulina (Arthrospira platensis)* se ha centrado tradicionalmente en el cultivo autotrófico, que requiere la adición de nutrientes esenciales para los procesos metabólicos y la producción de biomasa. En ese sentido se planificó un diseño experimental factorial del tipo $3^2$ de manera que se logró evaluar de manera exploratoria la influencia de diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio y de urea sobre el crecimiento de *Spirulina* tomando como base el medio Spirel. Se estableció un nivel bajo,

nivel medio y un nivel alto para cada variable, siendo todas variables continuas, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Descripción de las variables independientes estudiadas en el diseño experimental multifactorial

| Variables Independientes | Niveles | |
|---|---|---|
| $C(NaHCO_3)$ | 12,0 g/L | -1 |
| | 14,0 g/L | 0 |
| | 16,8 g/L | 1 |
| C(Urea) | 0,1 g/L | -1 |
| | 0,3 g/L | 0 |
| | 0,5 g /L | 1 |

**Análisis estadístico**

Para la determinación de las curvas de crecimiento y los parámetros cinéticos de cada experimento realizado se utilizó el programa *Microsoft Office Excel Professional Plus 2019* (versión 16.0.11601.20144).

La existencia de diferencias significativas entre la biomasa final obtenida en cada experimento se determinó a partir de un análisis de la varianza (ANOVA). Posteriormente se realizó el test de rangos múltiples para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras y establecer así grupos homogéneos. Para ambos procedimientos el nivel de confianza aplicado fue del 95,0 %. El diseño de experimento se realizó con una réplica. Dichos análisis se realizaron mediante el programa estadístico *Statgraphics Centurion XV.II* (versión 15.02.0014).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Determinación de biomasa: Curva densidad óptica versus peso seco**

A partir de los resultados obtenidos se realizó la curva de calibración Fig.1 que permitió cuantificar la cantidad de biomasa expresada en gramos de peso seco por litro de medio de cultivo (g PS/L) en función de la medición de la densidad óptica (D.O) a una λ=560 nm. La Ecuación (4) representa la correlación lineal obtenida junto con su valor de $R^2$.

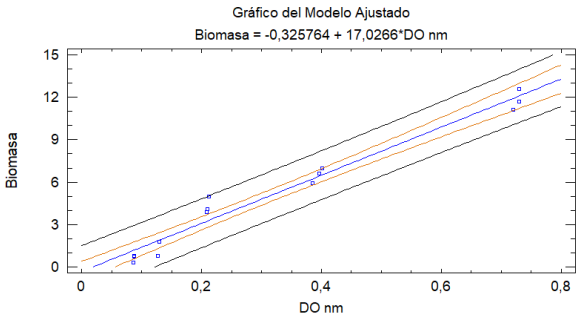



Figura 1: Curva de calibración de biomasa (g PS/L) vs Absorbancia 560 nm

$$Biomasa\ \left(\frac{g\ P.S}{L}\right) = 17{,}03 * D.O - 0{,}33 \qquad R^2=0{,}9686 \qquad (4)$$

Al observar los puntos en la gráfica, se puede apreciar que estos ajustan a una recta, siendo el Coeficiente de Correlación igual a 0,98. El estadístico $R^2$ indica que el modelo ajustado explica 96,86 % de la variabilidad de la biomasa. Puesto que el valor-P (0,2736) de Durbin Watson es mayor que 0,05 no hay indicación de una posible autocorrelación serial de los residuos. El modelo puede ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95,0 %.

**Influencia de diferentes medios de cultivo sobre el crecimiento de Spirulina (Arthrospira platensis)**

En la Fig.2 se puede apreciar el crecimiento de *Spirulina* para los distintos medios de cultivo evaluados (*Spirel, OFERR, Shlösser y BG11*), graficando logaritmo natural de la concentración de biomasa en g PS/L versus el tiempo en días. Se observó crecimiento en todas las condiciones ensayadas. En el medio de cultivo *Spirel* se apreció un crecimiento de tipo exponencial durante todos los días, esto se debe a que este medio de cultivo es precisamente en el que se conserva la cepa por lo que la fase adaptativa no se manifiesta. Tomando como referencia el medio *Spirel*, en el medio de cultivo OFERR la concentración de la fuente de carbono ($NaHCO_3$) disminuye en 52,2 % y se incrementa la concentración de urea al doble. En este medio de cultivo la fase de adaptación fue de dos días y a partir de este periodo se aprecia un crecimiento exponencial. Comparado con el medio *Spirel*, el medio de cultivo *Shlösser* presenta como fuente de carbono el carbonato de sodio (4,03 g/L) y el bicarbonato de sodio (13,61 g/L) que en su conjunto aportan la misma cantidad a la del medio *Spirel.* Por su parte la fuente de nitrógeno es el nitrato de sodio, con un aporte superior en 90 % a lo que aporta la urea. En el medio de cultivo *Shlösser* se observó hasta el cuarto día la fase de adaptación donde el cultivo de *Spirulina* se acopla a las condiciones establecidas, a partir del cuarto día se aprecia un crecimiento exponencial. Por su parte el medio de cultivo BG11 presenta como fuente de carbono el carbonato de sodio $NaCO_3$ (0,01 g/L) con una disminución significativa en comparación con el medio de cultivo *Spirel*; como fuente de nitrógeno cuenta con el nitrato de sodio ($NaNO_3$) el cual aporta un 81 % superior a lo que aporta la urea. El medio de cultivo *BG11*, es el medio de cultivo con las concentraciones más bajas de nutrientes, esta causa provocó que se prolongara la fase adaptativa durante 6 días, a partir del sexto día se aprecia crecimiento.

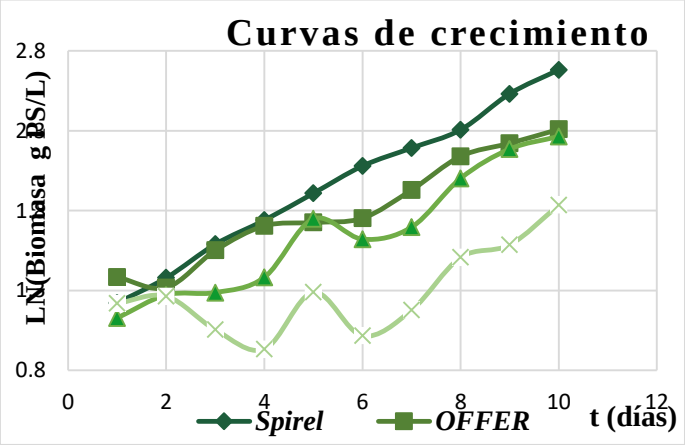



Figura 2: Curvas de crecimiento de *Spirulina (Arthrospira platensis)* bajo la influencia de diferentes medios de cultivo

A los 10 días de cultivo la mayor concentración se observó en el medio de cultivo *Spirel*, la biomasa final para el medio de cultivo OFERR y *Shlösser* son valores cercanos, presentado el medio *Shlösser* una mayor velocidad específica de crecimiento y a su vez un menor tiempo de duplicación. El mayor índice de crecimiento se reportó en el medio de cultivo *Spirel.* Por su parte el medio de cultivo BG11, aunque su velocidad de crecimiento fue mayor reportó el valor de biomasa final más desfavorable; esto puede deberse a la disminución significativa en la concentración de los nutrientes y a que la fase adaptativa se prolongó más. En la Tabla 3 se detallan los parámetros cinéticos de crecimiento para las distintas condiciones.

Tabla 3: Parámetros de crecimiento de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los distintos medios de cultivo.

| **Medios de cultivo** | **Velocidad específica de crecimiento μ (días$^{-1}$)** | **Tiempo de duplicación Td (días)** | **Índice de crecimiento** | **Biomasa final (g/L)** |
|---|---|---|---|---|
| *Spirel* | 0,16 | 4,35 | 3,3 | 14,58 |
| *OFERR* | 0,12 | 5,90 | 1,52 | 10,06 |
| *Shlösser* | 0,14 | 4,98 | 2,11 | 9,62 |
| *BG11* | 0,19 | 3,3 | 0,87 | 6,33 |

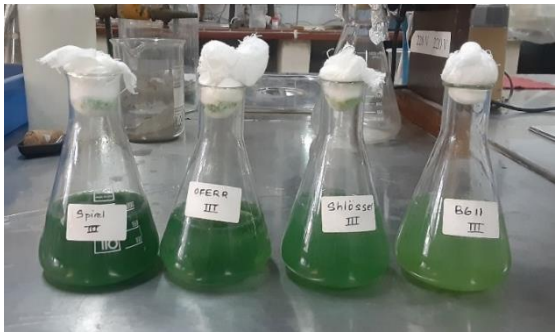



Figura 3: Crecimiento de *Spirulina (Arthrospira platensis*) en los diferentes medios de cultivo

En la Fig. 3 se observa la coloración final alcanzada en cada experimento, siendo el medio *Spirel* el de mayor biomasa, el medio *Shlösser* y OFERR muy similares y el medio de cultivo BG11 de menor concentración de biomasa, por su parte este medio también presenta una coloración más verde amarillenta que puede deberse a que presenta un déficit de nutrientes. Al observarse al microscopio no se observan cambios morfológicos significativos predomina una población en espiral de buen tamaño y buena pigmentación. No se observaron contaminantes, solo presencia de materia orgánica producto de la degradación.

El análisis estadístico de estos resultados muestra en la Tabla 4 el análisis de varianza de los mismos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de biomasa entre un tipo de medio y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó las pruebas de múltiples rangos. Método: 95,0 porcentaje LSD, los resultados se muestran en la Tabla 5

Tabla 4: ANOVA para biomasa por tipo de medio

| **Fuente** | **Suma de Cuadrados** | **Gl** | **Cuadrado Medio** | **Razón-F** | **Valor-P** |
|---|---|---|---|---|---|
| Entre grupos | 85,7886 | 3 | 28,5962 | 9,66666E31 | 0,0000 |
| Intra grupos | 0,0 | 8 | 0,0 | | |
| Total (Corr.) | 85,7886 | 11 | | | |

Tabla 5: Resultados de las pruebas de múltiples rangos para biomasa por tipo de medio

| **Tipo de medio** | **Casos** | **Media** | **Grupos Homogéneos** |
|---|---|---|---|
| *BG11* | 3 | 6,7689 | X |
| *OFFER* | 3 | 9,48709 | X |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Shlösser* | 3 | 10,7746 | X |
| *Spirel* | 3 | 14,2041 | X |

| **Contraste** | **Sig.** | **Diferencia** | **+/- Límites** |
|---|---|---|---|
| *BG11 – OFFER* | * | -2,71819 | 0,0 |
| *BG11 – Shlösser* | * | -4,00575 | 0,0 |
| *BG11 – Spirel* | * | -7,43516 | 0,0 |
| *OFFER – Shlösser* | * | -1,28756 | 0,0 |
| *OFFER – Spirel* | * | -4,71697 | 0,0 |
| *Shlösser – Spirel* | * | -3,42941 | 0,0 |

.

Los resultados obtenidos muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los medios con un nivel del 95,0% de confianza, siendo el medio Spirel el que obtuvo mayor biomasa final (14,58).

**Influencia de la concentración de bicarbonato de sodio y urea sobre la biomasa final**

Con el objetivo de determinar la influencia de la concentración de bicarbonato de sodio y urea sobre la biomasa final en el medio Spirel se realizó el plan experimental $3^2$ con una réplica, mostrado en la Tabla 2. Los resultados del mismo se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados del diseño de experimento multifactorial

| **C($NaHCO_3$) g/L** | **C(Urea) g/L** | **Biomasa g/L** | |
|---|---|---|---|
| 16,8 | 0,3 | 7,49 | 7,43 |
| 16,8 | 0,5 | 1,53 | 2,46 |
| 16,8 | 0,1 | 13,26 | 13,39 |
| 12,0 | 0,3 | 13,29 | 13,10 |
| 14,0 | 0,3 | 7,47 | 7,39 |
| 12,0 | 0,1 | 15,42 | 15,39 |
| 14,0 | 0,1 | 11,28 | 11,33 |
| 14,0 | 0,5 | 1,58 | 1,62 |
| 12,0 | 0,5 | 2,47 | 2,52 |

El análisis estadístico de estos resultados permitió obtener el gráfico de Pareto que se muestra en la Fig. 4. En el cual se observó que las dos variables estudiadas, concentración de bicarbonato de sodio (A) y concentración de urea (B), así como sus interacciones cuadráticas resultaron significativas. Mientras que, el efecto de la interacción de la concentración de bicarbonato de sodio y de urea resultó ser no significativa. El efecto negativo sobre las variables estudiadas indica que los mayores valores de biomasa se obtienen cuando se trabaja con los niveles bajos de ambas variables.

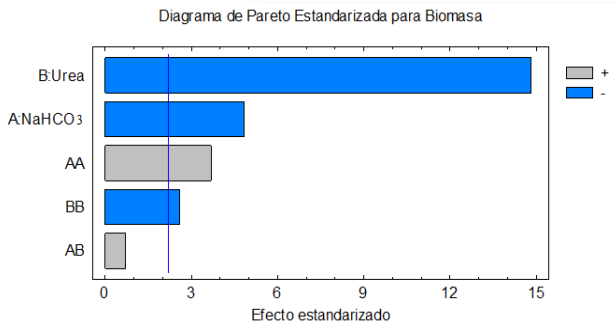



Figura 4: Diagrama Pareto para el análisis de la significancia estadística de los factores evaluados en la producción de biomasa de *Arthrospira platensis*

La ecuación general del modelo en la que se tienen en cuenta los factores significativos se muestra a continuación:

$$Biomasa = 110{,}893 - 13{,}1148 * C(NaHCO_3) - 2{,}80833 * C(Urea) + 0{,}435119 * C(NaHCO_3)^2 - 42{,}4167 * C(Urea)^2 \quad (5)$$

Siendo el estadístico $R^2$= 95,63 %, indicando que el modelo ajustado explica 95,63 % de la variabilidad de la biomasa. Puesto que el valor-P (0,2198) es mayor que 0,05 no hay indicación de una posible autocorrelación serial de los residuos. El modelo puede ser adecuado para los datos observados.

En la Fig. 5 se muestran los resultados de la superficie de respuesta obtenida para la producción de biomasa de *Spirulina* teniendo en cuenta los factores que tienen una incidencia significativa, con un 95 % de confianza.

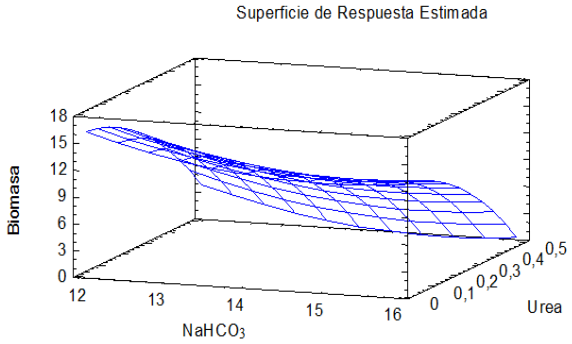



Figura 5: Superficie de respuesta estimada para la producción de biomasa de *Arthrospira platensis*

Teniendo la estimación del modelo matemático, se puede determinar que combinación de factores puede mejorar el rendimiento de la respuesta. Mediante la opción de Optimización en el procedimiento Analizar Diseño se calcula automáticamente la configuración óptima de los factores experimentales. Arrojando que la máxima biomasa alcanzada es de 15,75 g/L que corresponde a una concentración de bicarbonato de sodio de 12 g/L y una concentración de urea de 0,1 g/L.

## 4. CONCLUSIONES

De los medios estudiados el medio Spirel resultó ser el más favorable para el cultivo de *Spirulina Platensis*, obteniendo una mayor producción de biomasa (14,58 g/L) y un mayor índice de crecimiento (3,30). El diseño experimental arrojó que la máxima biomasa alcanzada es de 15,75 g/L que corresponde a una concentración de bicarbonato de sodio de 12 g/L y una concentración de urea de 0,1 g/L.

**REFERENCIAS**

1. ROMERO, L., et al., "Producción de pigmentos procedentes de Arthrospira máxima cultivada en fotobiorreactores". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2017. **19**: p. 108-117 DOI: https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.59671.
2. GALARZA, K.O. and CALERO W.M., "Aplicaciones de la espirulina - planta marina: revisión panorámica". *Salud, Ciencia y Tecnología*, 2022. **2** DOI: https://doi.org/10.56294/saludcyt2022174.
3. RODRÍGUEZ, J.H. and GONZÁLEZ N.O., "Spirulina platensis en el tratamiento de la obesidad y de algunas de sus consecuencias". *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 2021. **37**.
4. SONI, R.A., SUDHAKAR K., and RANA R.S., "Spirulina – From growth to nutritional product: A review". Trends in Food Science & Technology, 2017. **69**, 157-171 DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010.
5. SONI, R.A., SUDHAKAR K., and RANA R.S., "Comparative study on the growth performance of Spirulina platensis on modifying culture media". Energy Reports, 2019. **5**: p. 327-336 DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.02.009.
6. ALFADHLY, N.K.Z., et al., "Trends and Technological Advancements in the Possible Food Applications of Spirulina and Their Health Benefits: A Review". Molecules, 2022. **27**: p. 5584 DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27175584.
7. RAHIM, A., et al., "Chemical characterization and nutritional value of Spirulina platensis cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco)". South African Journal of Botany, 2021. 141: p. 235-242 DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.006.
8. NARANJO-LUNA KP. "Efectos de tres fuentes nitrogenadas sobre el crecimiento, productividad y composición bioquímica de la cianobacteria *Arthrospira sp". Gu*ayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2019.

**sobre los autores**

- Denia González León. Conceptualización, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Química. Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Auxiliar.
- Yadira Gutiérrez Barroso. Empresa de Producción y Comercialización de Productos Naturales (GENIX-LABIOFAM), Unidad de Desarrollo e Innovación. Master en Ingeniería de los procesos biotecnológicos.
- Jenny del Valle Martínez. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Química. Ingeniera Química
- Meyvis González López. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Química. Ingeniera Química

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPACTO DE LA EXTENSIÓN DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE NIMOTUZUMAB

## XXI CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**Rosalía Martínez Ramos[1,2], Jorge F. Chardí Torres[1,2], Jennifer Quesada Rodríguez[1,2], Roberto R. Núñez[1,2], María Caridad Duartes Castro[1,2]**

[1] Centro de Inmunología Molecular, CIM, Esquina 15 y 216, CP 11600, La Habana, Cuba. e-mail: michellenromart@gmail.com, chardyguitarchem@gmail.com, jenniferq@cim.sld.cu, robertor@cim.sld.cu, mariac@cim.sld.cu.
[2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, Calle 114 No. 11901, entre 119 y 129, La Habana, Cuba.

**RESUMEN**

En el Centro de Inmunología Molecular (CIM), en la planta de anticuerpos terapéuticos (AntYter) se produce el anticuerpo monoclonal humanizado nimotuzumab (hR3) mediante el cultivo de la línea celular NS0. El proceso productivo de dicho anticuerpo consta de cuatro etapas: cultivo y expansión celular, fermentación, purificación y formulación y llenado. En el presente trabajo se estudió el impacto de la extensión de dos corridas en la etapa de fermentación, por encima de los 120 días establecidos para las células desde el momento de su descongelación; a partir de analizar los parámetros cinéticos velocidad específica de crecimiento de la biomasa (μ) y velocidad específica de formación del producto extracelular ($q_p$); además se analiza el impacto económico de la extensión. Se determinó que, a pesar de existir diferencias estadísticas significativas en los parámetros cinéticos en la segunda corrida evaluada y la disminución de la productividad del proceso de fermentación posterior a los 120 días, resulta más factible la extensión de la corrida que el inicio de una nueva.

**PALABRAS CLAVES:** Centro de Inmunología Molecular, anticuerpo monoclonal humanizado, nimotuzumab, fermentación, parámetros cinéticos.

# IMPACT OF EXTENSION OF FERMENTATION TIME ON THE NIMOTUZUMAB PRODUCTION PROCESS

## XXI SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE

**ABSTRACT**

At the Center of Molecular Immunology (CIM), the therapeutic antibody plant (AntYter) produces the humanized monoclonal antibody nimotuzumab (hR3) is produced by culturing the NS0 cell line. The production process of this antibody consists of four steps: cell culture and expansion, fermentation, purification, and formulation and filling. In this project, the impact of the extension of two runs in the fermentation stage was studied, beyond the 120 days established for cells from the moment of thawing, by analyzing the kinetic parameters specific growth rate of the biomass (μ) and specific rate of extracellular product formation (qp); the economic impact of extension is also analyzed. It was determined that, despite the existence of significant statistical differences in the kinetic parameters in the second run evaluated and the decrease in the productivity of fermentation process after 120 days, it is more feasible to extend the run than to start a new one.

**KEY WORDS:** Center for Molecular Immunology, humanized monoclonal antibody, fermentation, kinetic parameters.

## INTRODUCCIÓN

La fuente más importante de nuevos medicamentos en la industria farmacéutica actual procede de la biotecnología. En los últimos treinta años los medicamentos biotecnológicos han tenido un papel creciente en el tratamiento de diversas enfermedades, ofreciendo numerosas ventajas respecto a los tratamientos realizados con medicamentos obtenidos por síntesis química, entre las que se destacan, un excelente perfil de seguridad y eficacia [1].

Los anticuerpos monoclonales (AcMs) son la fusión de una línea de células de mieloma murino (sensible a ciertos fármacos) con células de bazo de un animal inmunizado; sus descubridores lograron seleccionar solo las células híbridas (debido a la fusión de un clon de linfocitos B y una única célula madre) y clones con especificidad conocida. Por primera vez fue posible disponer de cantidades sin límites de anticuerpos con especificidades precisas. La posibilidad de crear anticuerpos monoclonales que se unan específicamente a cualquier molécula con carácter antigénico es inmensamente útil en distintas ramas, como la medicina, biología molecular y bioquímica [2].

El Centro de Inmunología Molecular (CIM) es una institución biotecnológica cubana a ciclo cerrado (investigación-desarrollo-producción-comercialización) que está dedicada a desarrollar inmunoterapias innovadoras para el tratamiento de cáncer y otras enfermedades. Entre sus instalaciones se encuentra la unidad productiva AntYter, dedicada a la producción de anticuerpos monoclonales.

El nimotuzumab es un anticuerpo monoclonal humanizado, cuyo efecto antitumoral ha sido demostrado, actúa contra el receptor celular de membrana para el factor de crecimiento epidérmico humano [3]. Tiene una gran demanda, debido a su uso para el tratamiento de cáncer de cabeza y cuello en etapas avanzadas. Su proceso de producción comprende cuatro etapas fundamentales: cultivo y expansión celular, fermentación, purificación y formulación y llenado del Ingrediente Farmacéutico Activo (IFA).

La descripción de proceso del nimotuzumab plantea que el tiempo máximo de las células en cultivo desde el momento de su descongelación es 120 días, siendo este un parámetro de operación clave, por lo que de exceder los límites establecidos pudiera afectar el desempeño del proceso, pero no los atributos críticos de calidad del producto. En los últimos años, debido a la falta de insumos para garantizar una nueva corrida a escala comercial y la necesidad de cumplir el plan de producción, en algunas corridas se ha decidido extender la fermentación, a pesar de superar los 120 días de las células en cultivo, por lo que es necesario evaluar el impacto de la misma.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### Línea celular y medio de cultivo

La línea celular empleada es la NS0/H7, un mieloma murino transfectado para la expresión del anticuerpo monoclonal humanizado que reconoce al receptor del factor de crecimiento epidérmico EGFR. El cultivo empleado proviene del banco de trabajo del área de expansión celular, el cual contiene células adaptadas a crecer en medios de cultivo libres de suero. Para las corridas estudiadas se utilizó la formulación de medio de cultivo F3, suplementado con 2 g de NaHCO3/L y 1 g de Pluronic F68/L [4].

### Fermentación a escala comercial en modo continuo con perfusión

La caracterización de la fermentación de las diferentes corridas se realizó en el biorreactor de producción (2000 L) tipo tanque agitado, el cual opera en modo continuo con retención de biomasa. Dicho biorreactor cuando se inocula presenta una concentración inicial de células vivas superior a $2{,}00 \cdot 10^5$ cél/mL. Las condiciones para el cultivo celular son velocidad de agitación de 18 a 100 $min^{-1}$; temperatura de 37 ± 1 ºC; concentración de oxígeno disuelto de 20 a 100 % de saturación; pH de 6,50 a 7,20; presión de trabajo de 20 kPa; concentración inicial de células vivas para comenzar el cultivo continuo superior a $8{,}00 \cdot 10^5$ cél/mL y velocidad de dilución en cultivo continuo de 0,25 a 2,00 $d^{-1}$. La viabilidad celular debe ser superior al 85% [5].

Se estudiaron dos corridas de los últimos años: 2022 y 2023, nombradas corrida 1 y 2. Dichas corridas tuvieron un tiempo de las células en cultivo de 125 y 146 días respectivamente.

**Determinación de los parámetros cinéticos**

Todas las ecuaciones fueron obtenidas partiendo de la expresión general de conservación de la masa, como se muestra en (1).

$$\begin{pmatrix} masa\ que\ se \\ acumula\ en \\ el\ sistema \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} masa\ que \\ entra\ a\ través \\ del\ sistema \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} masa\ que \\ sale\ del \\ sistema \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} masa\ que \\ se\ produce \\ en\ el\ sistema \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} masa\ que \\ se\ consume \\ en\ el\ sistema \end{pmatrix} \quad (1)$$

El sistema definido abarcó el biorreactor de escala industrial y el roto filtro (con la corriente de recirculación $F_R$), definiendo como corrientes de interés la de alimentación $F$, la de cosecha $F_C$ y la de purga $F_P$, como se indica en la Fig. 1.

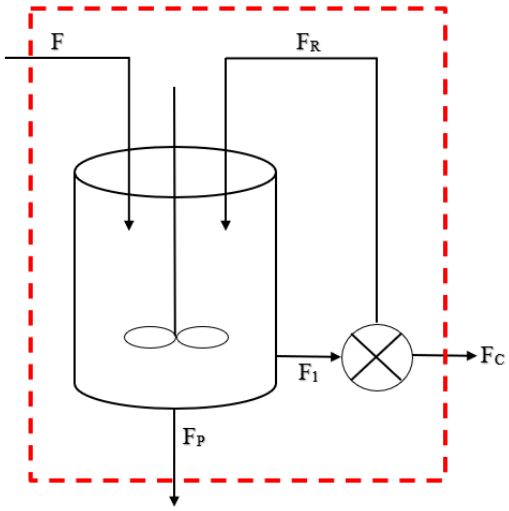



Figura 1: Sistema definido para la determinación de los parámetros cinéticos. Frontera en línea discontinua roja.

**Velocidad específica de crecimiento celular**

La velocidad específica de crecimiento celular $\mu$ se determinó en las corridas 1 y 2 a partir de la solución del balance de masa para la biomasa en modo continuo con recirculación de células y corriente de purga y en el estado pseudoestacionario, para comparar las velocidades específicas de crecimiento antes y después de los 120 días.

De (1) se obtiene una ecuación que queda expresada en función de la concentración de células vivas $X_V$ (cél/mL), el volumen del reactor $V$ (L), el factor de pase $\alpha$ y los flujos de cosecha y purga (L/d).

Se consideró que la masa que se consume es cero puesto que la viabilidad en el intervalo de tiempo estudiado se mantiene por encima del 90 %. Al sustituir los términos en la ecuación, aplicar variables separables y dividir la ecuación por el volumen se obtiene (2) donde aparecen los términos de velocidad de dilución de la cosecha y la purga $D_C$ y $D_P$ ($d^{-1}$) respectivamente. Se aplicó un método integral gráfico que permite estimar las velocidades específicas de crecimiento celular para cada corrida de producción estudiada.

$$X_V + \int (\alpha \cdot D_C \cdot D_P) \cdot X_V \cdot dt = \int \mu \cdot X_V \cdot dt \quad (2)$$

Si al graficar los términos $X_V + \int(\alpha \cdot D) \cdot dt$ contra $\int X_V \cdot dt$, se obtiene una línea recta, la velocidad específica de crecimiento celular es constante en este intervalo de tiempo y será el valor de la pendiente de dicha recta. *D* representa la velocidad de dilución total y está definida por (3) mostrada a continuación.

$$D = D_C + D_P \quad (3)$$

**Velocidad específica de formación del producto**

La velocidad específica de formación de producto de interés $q_p$ se determinó en las corridas de producción mencionadas, igualmente en el modo continuo con recirculación de células y corriente de purga y en el estado pseudoestacionario, para comparar las velocidades específicas de producción antes y después de los 120 días.

De (1) se obtiene (4) donde *P* es la concentración de producto (µg/mL).

$$P + \int P \cdot D \cdot dt = \int q_p \cdot X_V \cdot dt \quad (4)$$

En este método se asume que la velocidad específica de formación de producto es constante en el tiempo y se grafica el término $P + \int P \cdot D \cdot dt$ contra $\int X_V \cdot dt$. Si el resultado obtenido es una línea recta, indica que la suposición hecha es correcta, y por tanto la velocidad específica de formación de producto tiene un único valor en el tiempo y es igual a la pendiente de dicha recta.

Los cálculos, gráficos y ajustes necesarios se realizaron con el programa *OriginPro 2021*.

**Procesamiento estadístico**

El procesamiento estadístico de los resultados se realizó utilizando el programa *OriginPro 2021*. Se desarrolló la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para medianas, para las comparaciones realizadas entre las velocidades específicas de crecimiento celular y de formación de producto al alcanzarse el estado pseudoestacionario hasta los 120 días y posterior a los 120 días, en una misma corrida. Se tuvo en cuenta que, para todo valor-p mayor que el nivel de significancia ($\alpha$), entre las medianas no existen diferencias significativas.

Se realizó el análisis estadístico con los valores puntuales de las velocidades específicas de crecimiento de la biomasa y de formación del producto extracelular, ya que proporciona una medida de la posición relativa de cada valor dentro de su grupo y no intervalos iniciales y finales, como lo es en el análisis gráfico.

## 2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Fig. 2, a continuación, se muestran las concentraciones de células vivas y la viabilidad para las corridas 1 y 2.

En la Fig. 2 se observa una primera etapa de adaptación del cultivo (2-3 días aproximadamente), después de inoculadas las células en el biorreactor, a continuación, una fase de crecimiento exponencial hasta los días 20 y 12 correspondientes a las corridas 1 y 2 respectivamente, donde se comienza a ver el estado pseudoestacionario. En este estado, las concentraciones celulares alcanzadas oscilan entre 1,4 y 1,7 $10^7$ cél/mL, lo cual corresponde con las concentraciones típicas alcanzadas, alrededor de los 1,5 $10^7$ cél/mL, que pudieran ser superiores en función del medio de cultivo utilizado. La viabilidad celular se mantiene en valores estables y por encima del 90 %.

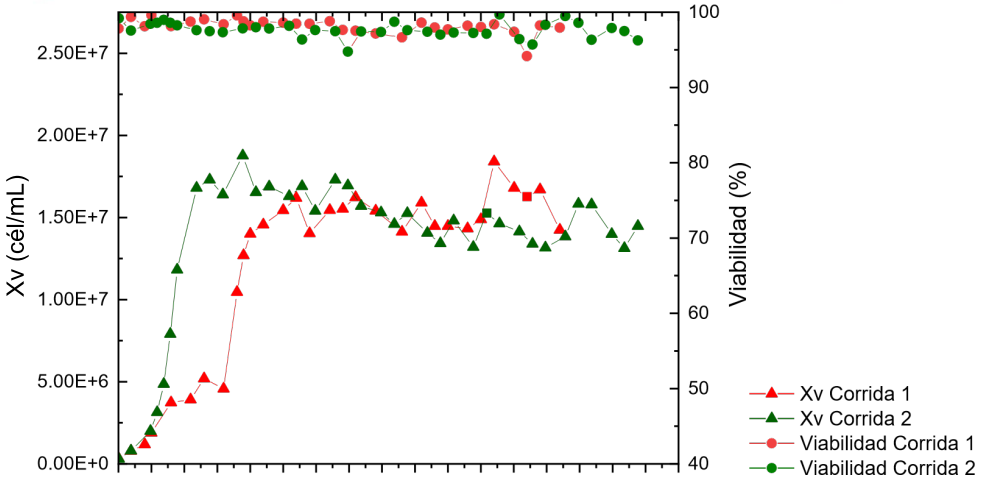



Figura 2: Comportamiento de las concentraciones de células vivas y la viabilidad para las corridas 1 y 2.

En las Fig. 3 (a y b) se graficaron los términos $X_V + \int(\alpha \cdot D) \cdot dt$ contra $\int X_V \cdot dt$ para determinar la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, en el estado pseudoestacionario, en las corridas 1 y 2 respectivamente.

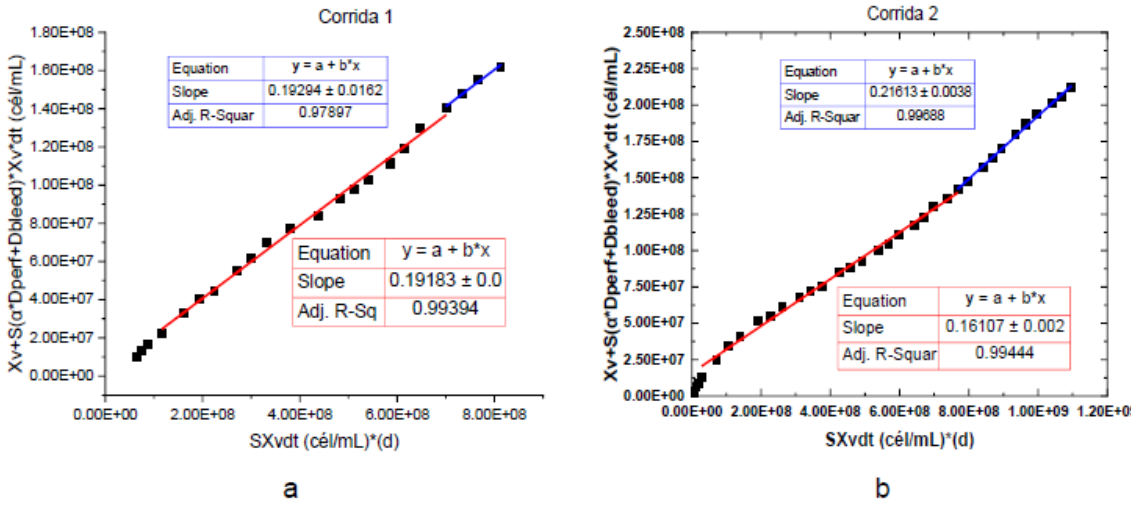



Figura 3: Balance de masa para la biomasa en el estado pseudoestacionario: a- corrida 1; b- corrida 2.

La Fig. 4 (a y b), muestra la velocidad específica de formación del producto de interés respecto a la integral de células vivas para cada corrida.

En una primera etapa, no hay una producción apreciable de la proteína de interés, lo cual puede estar asociado a las bajas concentraciones celulares, posteriormente se observa un crecimiento pronunciado de dicha velocidad específica que se corresponde con un aumento de la velocidad específica de crecimiento y la concentración celular, de acuerdo a lo planteado por Torres, 2019 [6]. Además, se observa una ligera disminución en la velocidad específica de producción después de que el cultivo celular sobrepasa los 120 días.

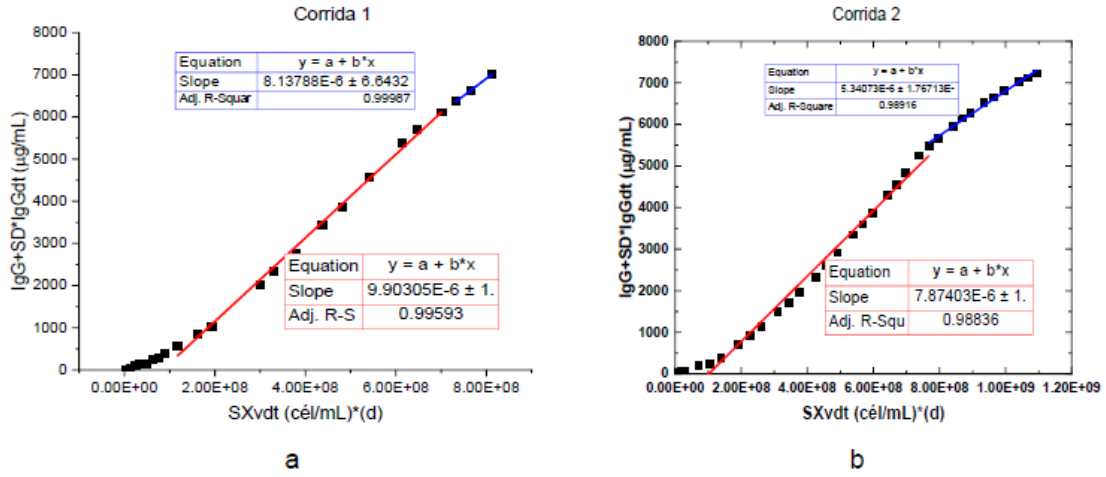



Figura 4: Balance de masa para el producto en el estado pseudoestacionario: a- corrida 1; b- corrida 2.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los parámetros cinéticos en ambas corridas.

Tabla 1: Parámetros cinéticos de las corridas 1 y 2.

| Corrida | $\mu$ ($d^{-1}$) | $q_p$ ($10^{-6}$ µg/cél/d) |
|---|---|---|
| 1 | 0,192 | 9,90 |
| 1* | 0,193 | 8,14 |
| 2 | 0,161 | 7,87 |
| 2* | 0,216 | 5,34 |

***tiempo superior a los 120 días en cultivo**

De acuerdo al análisis estadístico de Kruskal-Wallis de los parámetros cinéticos de cada corrida, se obtuvo que en la corrida 1 no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las velocidades específicas de crecimiento de la biomasa y formación del producto antes y después de los 120 días. Sin embargo, en la corrida 2 sí existen diferencias.

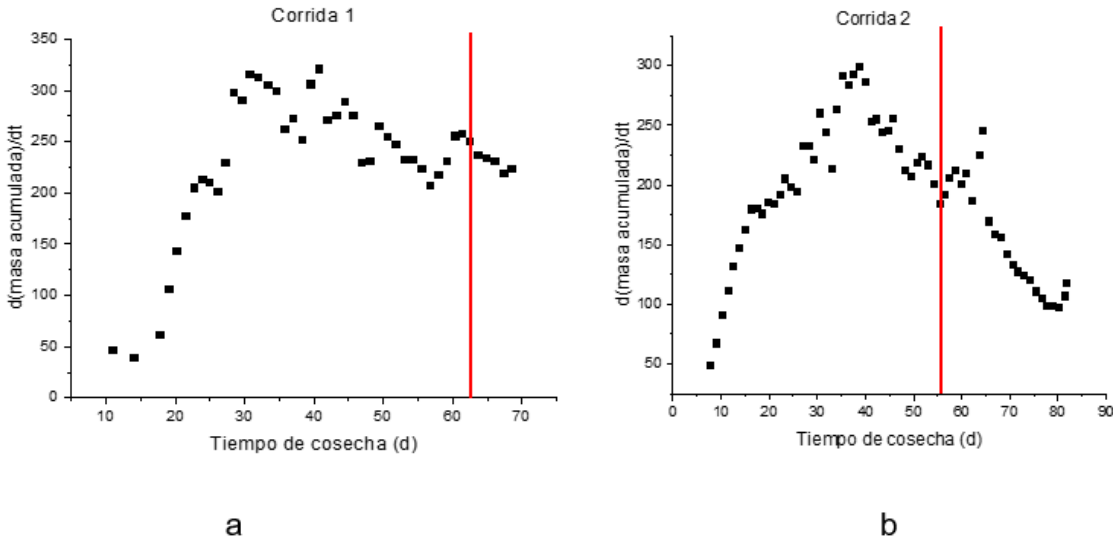
Como se observa en la Tabla 1, la velocidad específica de crecimiento aumenta mientras que la de producción disminuye, lo cual puede deberse a que en esta etapa el consumo de nutrientes está destinado mayormente al crecimiento y/o mantenimiento, en lugar de la producción del producto de interés [7]. A pesar de la reducción de la velocidad específica de formación del producto apreciada, esta se mantiene en intervalos aceptables, referenciados en [8].

Los análisis de los parámetros cinéticos se complementan con los resultados de control de la calidad, puesto a que los lotes de IFA asociados a las corridas 1 y 2 fueron liberados, sin ninguna desviación de las especificaciones de calidad. Además, se realizaron ensayos adicionales, como el mapeo peptídico y la glicosilación, demostrando que la identidad del producto de interés no se ve afectada a pesar de la extensión del tiempo de las células en cultivo.

## 3. ANÁLISI ECONÓMICO

El análisis económico del impacto de la extensión de la fermentación se llevó a cabo mediante el estudio de la productividad del proceso de fermentación y del costo de producción y los ingresos por concepto de venta.

Las productividades alcanzadas en ambas corridas se pueden observar en la Fig. 5 (a y b).




a b

Figura 5: Productividad obtenida en las cosechas: a- corrida 1; b- corrida 2 (La línea de color rojo representa el día 120 de edad de las células en el cultivo).

Del análisis de la acumulación de producto extracelular cosechado fue posible evaluar la productividad en cada una de las corridas durante el tiempo establecido. En el caso de la corrida 1, aunque solo fue extendida por cinco días después de los 120 establecidos, mantiene la tendencia manifestada en el estado pseudoestacionario. En la corrida 2, extendida por más tiempo sí es posible observar un descenso prolongado hasta valores cercanos a los 100 g/d. En este caso, la disminución tan drástica en la productividad también puede estar dada por el estrés del cultivo asociado al daño mecánico que le aporta el sistema de retención celular, esta vez de forma más prolongada, pues la corrida tiene una duración superior a los 80 días [7].

Se observa además que en los primeros 20 días de corrida en ambos casos, la productividad va aumentando de 50 a 150 g/d progresivamente, puesto que las cosechas al inicio tienen menor concentración del producto de interés y se demoran más tiempo en llenarse, al trabajarse a velocidades de dilución bajas. También las primeras cosechas comienzan a obtenerse a partir de los 10 días de corrida aproximadamente, que es cuando inicia el cultivo en perfusión.

Se decidió realizar el análisis económico con la corrida 2, pues esta tiene una extensión de 26 días por encima del tiempo establecido, comparado con la corrida 1, cuyo tiempo de extensión fue solo cinco días. Luego, en la corrida 2 se observará de manera más concisa el impacto económico al decidir extender el tiempo de las células en el medio de cultivo.

Se determinó el costo de producción por gramo de producto y los ingresos por concepto de venta, datos obtenidos de la ficha de costo correspondiente al año 2023 y se compararon las ganancias obtenidas en los primeros 26 días y en los últimos 26 días de corrida. Se obtuvo una masa de IFA de 2,81 kg en los primeros 26 días y de 4,73 kg en los últimos días de corrida.

En la Fig. 6 se muestran los costos, ingresos por venta y ganancias en estos dos momentos de la corrida.

En la Fig. 6 se aprecia que los ingresos por venta de nimotuzumab son mayores en los últimos días de corrida que al inicio de esta. Las ganancias resultantes ascienden a 12 931 646,15 CUP en los primeros 26 días y 21 763 755,11 CUP al final de la corrida, dando una diferencia de alrededor de los nueve millones de CUP, lo que representa el 40,60 % de las ganancias obtenidas al final de la corrida..

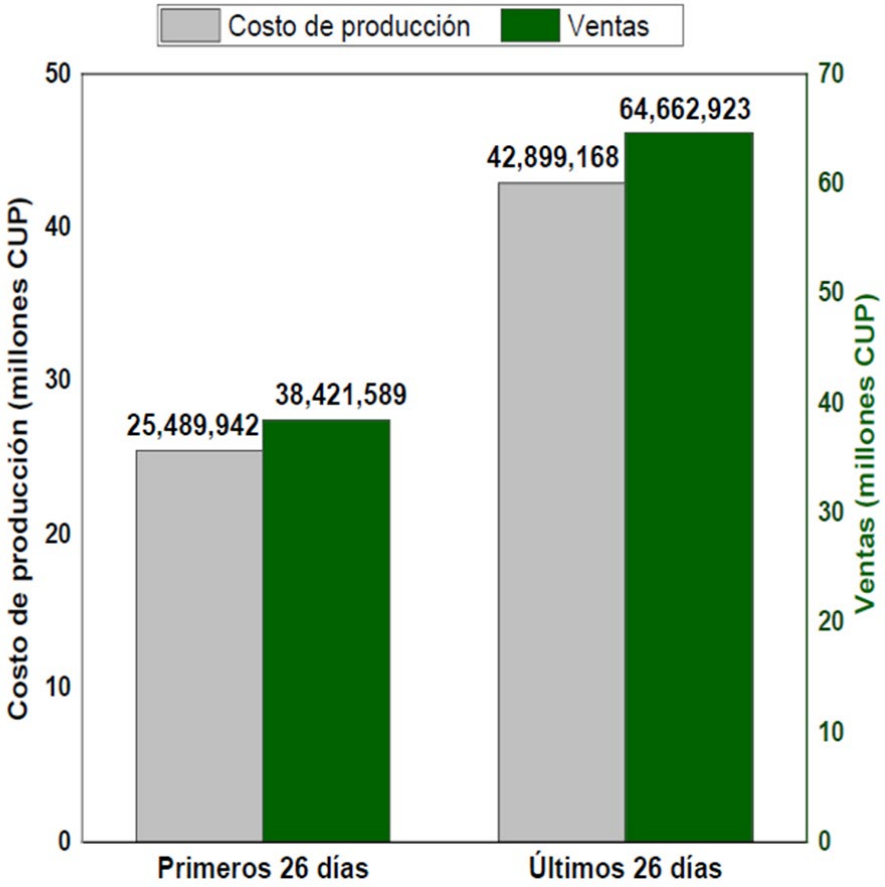



Figura 6: Costos de producción y e ingresos por ventas en la corrida 2.

Entonces, se puede concluir que resulta más factible la extensión de la corrida de fermentación por encima de los 120 días de las células en cultivo, que el inicio de una nueva corrida.

## 4. CONCLUSIONES

Los parámetros cinéticos determinados en la corrida 1 no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores antes y después de los 120 días, sin embargo, en la corrida 2 sí se observaron diferencias estadísticamente significativas. Se determinó que, a pesar de la disminución de la productividad, en la corrida 2, los ingresos por concepto de venta son superiores en los 26 días de extensión de corrida respecto a los días iniciales, con una diferencia cercana a los 9 millones de pesos. El análisis económico y de los parámetros cinéticos demuestran que es factible la extensión del tiempo de las células en cultivo por encima de los 120 días.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a todo el personal del CIM que participaron de un modo u otro en la realización de este trabajo, en especial a la Msc. Jennifer Quesada y al Msc. Roberto R. Núñez por su impecable asistencia. Al claustro de profesores de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana por su dedicación en la educación superior a lo largo de los años.

**REFERENCIAS**

1. WARD, O. *Biotecnología de la Fermentación*. España: Editorial Acribia, S. A, 2018. 299 pp. ISBN 978-959-261-281-5.
2. RODRIGUEZ, S. "Evaluación de la combinación de medios de cultivo F1/F3 en el proceso de producción de Nimotuzumab". Tesis para optar por el título de Ingeniero químico, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Ciudad de La Habana, 2019.
3. CASTILHO, L, et al. "Animal cell technology: from biopharmaceuticals to gene therapy". *Garland Science,* 2021.
4. CONCEPCIÓN MARÍN PA, DUARTES CASTRO MC. "Desempeño de la línea celular NS0/H7 en la combinación de los medios de cultivo PFHCIM-F1 y PFHCIM-F3". Centro de Inmunología Molecular, 2019.
5. BELTRÁN VARGAS NE, GONZÁLEZ DE LA ROSA CH. "Técnicas de cultivos celulares e ingeniería de tejidos", p.199. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, México, D, 2016.
6. TORRES PÉREZ DE ALEJO G. "Influencia de las variables de operación velocidad de dilución y velocidad específica de perfusión sobre la cinética y viabilidad de la línea celular NS0". Tesis para optar por el título de Ingeniero químico, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Ciudad de La Habana, 2019.
7. NÚÑEZ ORTIZ Roberto R. "Modelación cinética de la afectación del crecimiento en tres líneas celulares en modo perfusión". Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de La Habana, 2022.
8. DUARTES CASTRO María C. "Descripción del proceso productivo del ingrediente farmacéutico activo de nimotuzumab". Centro de Inmunología Molecular, TR: A1DPROC-0001. La Habana, 2023.

**Sobre los autores**

Rosalía Martínez Ramos, Estudiante de cuarto año de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Asistente Técnico Docente de Física.

Jorge Félix Chardí Torres, Estudiante de cuarto año de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Asistente Técnico Docente de Física.

Jennifer de la Caridad Quesada Rodríguez, Máster en Procesos Biotecnológicos, Especialista III en Investigación, Innovación y Desarrollo, Profesor Instructor.

Roberto Rafael Núñez Ortiz, Máster en Procesos Biotecnológicos, Especialista III en Investigación, Innovación y Desarrollo, Profesor Instructor.

María Caridad Duartes Castro, Máster en Procesos Biotecnológicos, Tecnólogo de II Nivel, Profesor Instructor.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SEPARACIÓN - PURIFICACIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DEL CALDO FERMENTATIVO

**Yarisleydis Nicot Rochet[1]; Osney Pérez Ones[2]; Ania Cabrera Diaz[3], Deny Oliva Merencio[3], Stefan Kohler[4], Ileana Pereda Reyes[3]**

[1] Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 e/n Rotronda y Ciclovia, Marianao, La Habana.
[2] Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE),
[3] Centro de Estudio de Tecnologías y Energeticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE),
[4] Institute of Agriculture and Urbans Ecological Projects affiliate to Berlin Humbolt University (IASP). Berlin. Germany.

[1]yarisleni@cujae.edu.cu

## RESUMEN

El ácido láctico (LA) producido por fermentación a partir de materias primas renovables, ha cobrado especial interés como precursor para la producción de plásticos biodegradables. Esta alternativa, ambientalmente amigable, permite cerrar el ciclo del carbono y reducir la dependencia que produce el contraproducente consumo de plásticos sintéticos derivados de recursos fósiles no renovables. Para sintetizar biopolímeros termoestables y con propiedades de biocompatibilidad, durabilidad y resistencia, se requiere la producción de enantiómeros ópticamente puros, cuya obtención por ruta biológica se ve limitada por la composición compleja del caldo de fermentativo resultante, donde persisten impurezas y una gran cantidad de agua que promueve la formación de azeótropos que influyen en la calidad del producto final. Los procesos de separación y purificación son imprescindibles, constituyen entre el 30 y el 50 % de los costos de operación y representan el mayor desafío en la producción industrial de ácido láctico estequiométricamente puro para una posterior polimerización exitosa. En el presente trabajo se discuten y describen, brevemente las técnicas actuales reportadas para la separación y purificación de ácido láctico, enfocándose en la precipitación, destilación, extracción por solventes, intercambio iónico y separación con membranas, las que se describen brevemente y se exponen las principales ventajas y los inconvenientes que limitan la su implementación a escala industrial, además de mostrar las potencialidades de la integración de estas tecnologías y la optimización de sus procesos integrados.

**PALABRAS CLAVES:** ácido láctico, separación, purificación.

## ABSTRACT

Lactic acid (LA), produced by fermentation from renewable raw materials, has gained special interest as a precursor for the production of biodegradable plastics. This environmentally friendly alternative makes it possible to close the carbon cycle and reduce the dependence produced by the counterproductive consumption of synthetic plastics derived from non-renewable fossil resources. To synthesize thermostable biopolymers with biocompatibility, durability and resistance properties,

the production of optically pure enantiomers is required, whose obtaining by biological route is limited by the complex composition of the resulting fermentative broth, where impurities and a large amount of water persist that promotes the formation of azeotropes that influence the quality of the final product. Separation and purification processes are essential, constituting 30-50% of operating costs and representing the greatest challenge in the industrial production of stoichiometrically pure lactic acid for subsequent successful polymerization. In this work, the current techniques reported for the separation and purification of lactic acid are briefly discussed and described, focusing on precipitation, solvent extraction and membrane separation, which are briefly described and the main advantages and disadvantages that limit their implementation on an industrial scale are exposed, and the potentialities of the integration of these technologies and the optimization of their integrated processes are shown

**KEY WORDS:** lactic acid, separation techniques, purification

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros procedentes de la industria petroquímica es contraproducente, puesto que, si bien aporta grandes beneficios a la sociedad, también representa un deterioro medioambiental considerable. La ruta de síntesis química para obtener estos plásticos, utiliza principalmente materias primas no renovables como recursos fósiles para producir LA, que son finitos, sufren fluctuación de precios, provocan contaminación ambiental y tienen alto costo de producción. La preocupación por el impacto ambiental de los residuos plásticos es cada vez mayor y los métodos de eliminación son limitados, así como los recursos petrolíferos para producirlos.

Ante el creciente interés por desarrollar polímeros biodegradables como alternativa a los plásticos convencionales no degradables de origen fósil, se ha prestado gran atención al ácido láctico (LA) producido a partir de recursos renovables como principal precursor del ácido poliláctico (PLA), debido a la alta compatibilidad medioambiental de sus productos derivados.

Este versátil producto químico, se considera una de las plataformas químicas utilizadas también en la industria alimentaria, agrícola, cosmética, farmacéutica y química.
La ruta de fermentación biológica utiliza carbohidratos como sustratos para producir ácido láctico mediante fermentación microbiana. Los isómeros del ácido láctico (D o L láctico) pueden bioproducirse a partir de recursos renovables dependiendo del tipo de microorganismo y sus aplicaciones están condicionadas por los microorganismos utilizados [1], aunque también depende de la inmovilización o recirculación de los microrganismos, el control de pH en condiciones ligeramente ácidas (5,5 a 6,5), la temperatura entre 5 ºC y 45 ºC, la fuente de carbono, la fuente de nitrógeno, el método de fermentación empleado y la formación de los subproductos [2]. No es tan fácil conseguir la formación enantiómeros ópticamente puros del LA y muchas veces incluso se produce una mezcla racémica, además, el caldo de fermentación tiene una baja concentración debido a la inhibición del producto en el proceso biológico por la creciente acidez del medio.

Independientemente de la ruta de conversión del LA, la etapa de purificación sigue siendo necesaria para reducir las pérdidas de ácido láctico y aumentar la pureza sabiendo que para aplicaciones comerciales requieren soluciones de concentraciones que van de 20 % a 80 % (grado técnico, mientras para uso en alimentos (soluciones grado alimentario), productos farmacéuticos y elaboración de ácido poliláctico, las concentraciones requeridas van de 80 % a 90 % en soluciones altamente puras [3].

El caldo posfermentativo tiene una composición compleja y contiene enantiómeros de ácido L- y D-láctico mezclados con otros compuestos, que incluyen un gran número de bacterias, proteínas, carbohidratos residuales, compuestos fenólicos, otros ácidos orgánicos y sales inorgánicas debido al uso de reactivos alcalinos como control del pH [4], [5] y [6]. La presencia de impurezas y de agua, persiste en el caldo de fermentación y puede afectar a la calidad de la lactida y la producción de PLA de calidad y termoestable, además de encarecer el proceso de separación y purificación. La lactida es el diéster cíclico del ácido láctico, es una sustancia intermedia en la producción de ácido poliláctico y es la parte más costosa del esquema de síntesis [7] y [8].

Por lo tanto, el proceso de separación, purificación y concentración en la producción industrial de ácido láctico por fermentación, representa uno de los cuellos de botella más críticos y tiende a ser el más costoso (30-50 % de los costes de operación del proceso), lo que ha conducido a investigaciones donde, la selección de las operaciones unitarias, se considera uno de los mayores retos, con la pretensión de conseguir una tecnología altamente eficiente, poco contaminante y económicamente viable [9, 10].

Hasta ahora, se han realizado numerosos estudios relativos a la purificación del ácido láctico mediante el uso de varias técnicas, como la precipitación, el intercambio iónico, la extracción con solventes, varios sistemas de destilación y la separación por membranas. La mayoría de estas técnicas de separación, presentan algunas desventajas específicas como el elevado costo de equipamiento, escasa eficiencia de extracción, toxicidad de los reactivos, carácter antieconómico, gran consumo de energía, elevada complejidad del proceso, enorme generación de aguas residuales y subproductos y la imposibilidad de recuperación en el tratamiento posterior.

El presente trabajo abarca la revisión de técnicas de separación/extracción de LA con sus méritos y demérito, los avances recientes y las perspectivas futuras de la integración de tecnologías.

## 2. DESARROLLO

El proceso de recuperación y purificación de LA, de forma tradicional, se basa en la neutralización y la precipitación. Esta tecnología es la primera que se ha estudiado y aplicado en plantas industriales e implica la eliminación de células, la neutralización, la acidificación, la filtración rotativa, la eliminación del color, el intercambio iónico y la evaporación. La neutralización es la operación clave en la que se utiliza $Ca(OH)_2$ o $CaCO_3$ para obtener lactato cálcico bruto, que se purifica por filtración para eliminar las células y el carbono tratado y se hidroliza mediante $H_2SO_4$ concentrado, produciendo ácido láctico (solución acuosa) y $CaSO_4$ insoluble (yeso), eliminado, posteriormente, por filtración. A continuación, el ácido láctico diluido se purifica secuencialmente mediante procesos de carbón activado, evaporación y cristalización.

Los principales inconvenientes van dirigidos al alto costo debido a los reactivos empleados y al hecho de que requiere varios pasos y a problemas medioambientales por la enorme generación de aguas residuales y residuos sólidos ($CaSO_4$) [11]. La cristalización del lactato cálcico no es fácil de controlar teniendo en cuenta el diminuto grano cristalino, que puede causar el fenómeno

de solidificación y traer problemas a la posterior purificación. Para evitar estas dificultades, se ha estudiado el trabajo con diferentes agentes de neutralización. Algunos de ellos [12] refieren, que cuando se utiliza $NH_4OH$ y NaOH como agentes de neutralización, los sustratos no pueden ser completamente convertidos. La adición de metanol durante la desacidificación de lactato de amonio con ácido sulfúrico fue también estudiada [13], para disminuir la solubilidad de sulfato de amonio producido, facilitar la separación y promover la esterificación de LA cuando el lactato de metilo obtenido pueda ser fácilmente destilado.

El proceso de intercambio iónico para la recuperación selectiva de ácido láctico a partir del caldo de fermentación ha recibiendo especial atención en los últimos años. Consta de tres etapas: adsorción del ion lactato, elución y conversión del lactato en LA. La primera columna del intercambiador de cationes está destinada a acidificar el caldo de fermentación, con el objetivo de convertir el lactato de sodio (adición de hidróxido de sodio al proceso de fermentación) en ácido láctico, ya que los iones de sodio se intercambian con los iones de hidrógeno de la resina catiónica fuerte. El caldo acidificado que contiene ácido láctico no disociado pasa a través de una resina de intercambio aniónico para separar la molécula de ácido láctico del caldo de fermentación, se opera el proceso de elución de la resina recuperada empaquetada en la columna, produciendo finalmente ácido láctico [14].

En este sentido se ha estudiado como alternativa, la adición de una resina de intercambio aniónico débil directamente al caldo de fermentación [15], para mantener simultáneamente el pH, sin la adición de álcali como regulador del pH durante el proceso de fermentación, así como tampoco se requiere la acidificación del caldo de fermentación antes de la adsorción. En este caso, el ion lactato se adsorbe en la resina durante la fermentación del ácido láctico, neutralizando el pH del caldo de fermentación y eliminando la inhibición del producto final durante todo el proceso, a lo que sigue la elución para recuperar el lactato unido a la resina y extracción líquido-líquido para recuperar y purificar parcialmente el ácido láctico (en caldo y eluido). La recuperación de lactato fue de hasta el 70 % del lactato total producido.

El intercambio iónico reduce el riesgo de inhibición del producto y no se produce ningún precipitado (yeso) en el método extractivo y requiere equipamiento sencillo y de bajo costo, pero suele aplicarse con una baja concentración de sal [16]. Algunas limitaciones están asociadas al gran volumen de residuales líquidos, uso masivo de ácido y base en el proceso de elución, lo que encarece el proceso, corta vida útil del adsorbente, escasa capacidad y selectividad de la resina de intercambio[17] [18], y pasos adicionales de filtración y regeneración de la resina de intercambio iónico.

Para la separación y purificación de mezclas, la extracción con solvente es una de las más utilizadas, en especial la extracción líquido- líquido. Se basa en la diferencia de solubilidad del soluto en dos fases líquidas inmiscibles. En esta tecnología, el LA (soluto) se extrae del fermentador (mezcla líquida) utilizando un disolvente orgánico, cuya selección depende de parámetros como selectividad, estabilidad química, corrosividad, toxicidad y viscosidad [6].

La extracción convencional líquido-líquido generalmente utiliza éter dietílico, decanol, octanol, cloroformo, hexano y aminas terciarias como disolventes de extracción. El LA tiene una fuerte hidrofilia, y la eficiencia de extracción del LA con solventes orgánicos convencionales es muy baja; por lo tanto, es necesario extraer el LA con disolventes complejos o con otras tecnologías [19].

La extracción reactiva de LA es una operación limpia, sencilla y barata que se ha establecido como proceso de recuperación eficaz y no es más que un reactor multifuncional donde la reacción y la extracción ocurren en una sola unidad [20]. Las reacciones tienen lugar entre los extractantes y las moléculas de soluto que se van a extraer, utilizando una combinación de varios portadores/extractantes, disolventes orgánicos y diluyentes que pueden ser diluyentes activos o inertes. En este método, el mecanismo entre el extractante y el LA es la reacción de neutralización ácido-base de Lewis y el coeficiente de distribución de las impurezas es bajo mientras el del LA es alto, con una tasa de recuperación cercana al 70 % [6, 16, 21].

En un estudio comparativo de los efectos de varias mezclas de extractantes en la eficiencia de extracción de LA en solución diluida, se ha encontraron que la eficiencia de extracción de LA podría mejorarse notablemente mediante la adición de extractantes que contienen fósforo/amina, tales como óxido de tri-n-octilfosfina y dioctilamina (DOA), en comparación con el solvente puro, con una eficiencia de extracción de hasta 98,26 % [22]. Otras investigaciones [23] utilizan el sistema de extracción de trioctilamina (TOA)/octanol para recuperar LA de la hemicelulosa derivada del tallo de maíz e introdujeron el paso de extracción de sal para eliminar todos los azúcares residuales y la mayoría de las sales. La eficiencia de extracción del LA es del 83 % y el coeficiente de distribución es de 4,88 en condiciones óptimas de extracción.

Hasta la fecha, solo se utilizan disolventes orgánicos poco respetuosos con el medio ambiente, cuya toxicidad para los microorganismos es un importante inconveniente, ya que estos pueden dañar las membranas celulares y provocar la ruptura de las células y la fuga de metabolitos [24]. Su toxicidad puede reducirse utilizando extractantes en combinación con disolventes naturales.

El uso de disolventes ecológicos ha cobrado gran interés, principalmente por su baja permeabilidad relativa y la incapacidad de donar un enlace de hidrógeno, así como la facilidad de preparación, baja volatilidad, alta selectividad, bajo coste y biocompatibilidad. Aunque son beneficiosos desde el punto de vista de la toxicidad de los microorganismos en el caldo de fermentación, estos disolventes verdes logran muy baja eficiencia de extracción [16, 25]

Para la recuperación de LA y otros ácidos carboxílicos, se utiliza ampliamente la extracción por salinización, que se basa en el diferente coeficiente de partición de los productos químicos entre dos fases que tienen principalmente $H_2O$, sal, como reactivo de salinización y disolvente orgánico como extractante [26], empleando, con frecuencia, etanol, metanol, acetona, acetato de etilo y sulfato y fosfato. Las sales se utilizan para aumentar el coeficiente de distribución de LA entre el extractante y la fase acuosa. La eficiencia de extracción de LA se puede obtener en el intervalo de 80 - 90 % [27], para obtener un rendimiento de extracción del 80 % utilizando etanol/$K_2HPO_4$.

La membrana líquida de emulsión (ELM) es un método de separación por extracción, de velocidad controlada, que presenta una película líquida (generalmente hecha de fase orgánica) entre las dos fases líquidas inmiscibles a través de la cual se produce la transferencia selectiva de masa de moléculas de soluto de baja concentración mediante procesos de permeado [16]. La química de extracción de ELM es muy similar al proceso de extracción con disolvente, pero el mecanismo de transporte está controlado principalmente por factores cinéticos en lugar de factores de equilibrio en la transferencia de masa [28].

Durante, el mecanismo de extracción, los iones de soluto se transportan desde fase acuosa externa, a través de la fase orgánica de ELM, y pasan a la solución de extracción, de forma que, tanto la extracción como el enriquecimiento se logran simultáneamente.

ELM se ha considerado notablemente debido al gran área interfacial, robustez, eficiencia para la extracción de moléculas de soluto de baja concentración, transferencia de masa en desequilibrio y extracción en un solo paso, alta selectividad, bajo consumo de energía y de productos químicos, mayor flujo de permeado y ventajas económicas [16]. No obstante, presenta la limitación del uso de disolventes orgánicos derivados del petróleo, que son caros, tóxicos, volátiles y perjudiciales para el medio ambiente, por lo que se impone la búsqueda de disolventes más ecológicos (aceites vegetales y líquidos iónicos) durante la formulación y preparación de ELM [29] y [30], en función de lo cual, se ha examinado y evaluado la viabilidad de los aceites vegetales como disolvente orgánico en los métodos de separación basados en ELM [13, 14, 29] [31]. Sin embargo, en ambos sistemas, se imponen, como desafío, la mejora de la estabilidad dinámica de las composiciones de la membrana durante su aplicación, lo que requiere el estudio detallado para encontrar las composiciones y condiciones de funcionamiento óptimas, aspecto crítico, no solo para la maximización de las eficiencias de extracción y reextracción, sino también para la rentabilidad de las aplicaciones del ELM [32].

La técnica de extracción con disolventes ofrece numerosas ventajas, como rentabilidad, alta selectividad, alto rendimiento del producto, reducción del tamaño del equipo, eficiencia potencialmente alta, eficiencia energética con respecto a otros métodos convencionales, naturaleza económica y fácil eliminación del producto. También tiene varias desventajas como, requerimientos de disolventes orgánicos en grandes cantidades lo que supone un sobrecosto para el proceso, uso de extractantes y diluyentes que provocan una alta toxicidad, que limita su aplicación industrial y gran área de intercambio requerida para una separación eficiente, lo que resulta en un equipo de alto costo. Así que el reto debe ser la selección de agente disolvente de extracción con coeficiente de distribución favorable y extractante de baja toxicidad y alta extractabilidad.

El método de destilación es un procedimiento práctico de separación de una mezcla en función de las variaciones de volatilidad de las sustancias, y puede aplicarse antes o después de la separación del ácido láctico. La destilación convencional realizada a temperatura y presión normales es inadecuada para la recuperación del ácido láctico del caldo de fermentación, debido a que el ácido forma ésteres internos de alto punto de ebullición [33]. En condiciones de vacío, se requiere de una purificación inicial parcial del ácido láctico, lo que implica costos elevados en equipos; además este procedimiento no es efectivo en la remoción de impurezas. La destilación fraccional en condiciones de operación en altos vacíos y bajas temperaturas, es demasiado costosa para el desarrollo en operaciones comerciales. La destilación reactiva y extractiva, puede ser una alternativa a estos inconvenientes, puesto que produce ácido láctico de mayor pureza con mayor eficiencia [34].

La destilación reactiva (DR) es un proceso químico en el que la reacción química y el proceso de destilación se llevan a cabo en la misma unidad. En estos procesos, el ácido láctico reacciona con alcoholes produciendo éster de lactato, que se hidroliza para producir ácido láctico y alcohol de gran pureza [35]. La reacción química y la transferencia de masa vapor-líquido-sólido se producen simultáneamente, lo que mejora el rendimiento del producto y reduce la inversión en equipos y los costos de funcionamiento. El mérito fundamental de esta tecnología consiste en la alta concentración del producto y el elevado rendimiento del proceso (cerca del 95 %), cuando toda el agua evaporada se condensa y se elimina del sistema de destilación pero el elevado consumo de energía sigue siendo el principal problema que dificulta su desarrollo [36].

La destilación reactiva se ha estudiado en sistemas continuos y discontinuos, empleando diferentes catalizadores y reactantes para determinar el efecto de variables operativas como la carga del catalizador, la relación molar de reactivos (ácido láctico/reactante), la concentración de la alimentación, el tipo de alcoholes (metanol, etanol, n-butanol, 2-propanol), temperatura parcial del condensador, la velocidad de ebullición donde el rendimiento de ácido láctico recuperado alcanza valores entre 85 – 95 % [37], [38], [39] y [40].

Una variante reportada dentro de esta tecnología es la destilación reactiva autocatalítica en contracorriente [41], que no es más que el proceso continuo de esterificación e hidrólisis utilizando un reactor de tanque agitado continuo (CSTR), que permite la operación en columnas a temperaturas más altas, favoreciendo la velocidad cinética y en la que el propio LA actúa como catalizador. Se ha demostrado que este proceso a escala piloto consigue aproximadamente el 80 % de conversión del LA crudo con pureza del LA producido superior al 99 %, la concentración, sin embargo, fue muy baja (15-20 %) [41]. En el mismo proceso, donde la reacción de esterificación ocurre entre el ácido láctico y el metanol, pero esta vez en presencia de una resina de intercambio iónico como catalizador para formar lactato de metilo y agua [16], se obtiene ácido láctico concentrado de 42,3 % en peso.

Recientemente, se ha empleado la optimización estocástica para la purificación sostenible del ácido láctico con destilación reactiva [42] , utilizando como funciones objetivo algunas métricas asociadas al concepto de sostenibilidad (índices económicos, medioambientales y de seguridad inherente. El mejor esquema, basado en un marco de sostenibilidad, dio lugar a un proceso modificado, que incluye destilación reactiva y columna de pared divisoria, en la que la sección de esterificación e hidrólisis se disponían en una unidad de operación, entre las que se colocaba una pared divisoria.

Entre las ventajas de la DR se incluyen el bajo coste del equipo de esterificación, la mejor conversión de los reactivos y selectividad de los productos, las pequeñas cantidades de catalizador requeridas y la integración del calor para una reacción exotérmica [14]. Sin embargo, se han reportado varias dificultades en la realización de la destilación reactiva [35], por ejemplo, existen restricciones de volatilidad, ya que deben mantenerse altas concentraciones de reactivos y bajas concentraciones de productos en la zona de reacción; si el tiempo de residencia de la reacción es largo, se necesitará una columna de gran tamaño y grandes retenciones de bandeja, y puede resultar más económico utilizar una disposición de reactor-separador diseñar estos procesos para caudales muy grandes puede ser problemático, debido a los inconvenientes de distribución de líquidos en columnas de DR empaquetadas y generalmente, no se conocen las condiciones óptimas de temperatura y presión para la destilación [19, 35].

La destilación molecular o destilación de corto alcance, es una tecnología emergente de separación líquido-líquido, para la purificación de moléculas que son inestables térmicamente como el ácido láctico. Esta alternativa se basa en la diferencia del camino libre medio molecular que opera en condiciones de alto vacío, menor temperatura (las moléculas evaporadas pueden llegar fácilmente al condensador) y tiempos de reacción más cortos que pueden reducir la descomposición del LA, para obtener una alta pureza y rendimiento y puede evitar subproductos como los dímeros [35] y [19]. Se ha estudiado la destilación molecular seguida de precipitación de calcio y extracción con disolventes para la separación y purificación de LA en caldo de fermentación [43] y se han determinado las condiciones óptimas del proceso mediante metodología de superficie de respuesta (RSM), donde se alcanzan pureza de 92,39 % con un rendimiento del 74,09 % operando a temperatura óptima de 367,1 K y una presión de 24,5 Pa.

Otros autores investigaron la influencia de factores como la variación de flujo, agitación, temperatura en varios equipos y logran obtener ácido láctico de más del 89 % de pureza, con concentración de hasta 18 veces superior a la concentración inicial de ácido láctico en la materia prima, en un sistema híbrido de evaporación que operó a 1000 Pa, en un solo paso [44]. Unos años más tarde, los mismos reportan la introducción de una etapa de extracción con disolvente en el proceso de destilación molecular para analizar la influencia de la etapa de extracción en el rendimiento de la destilación de corto alcance donde se obtiene LA de 91,6 % pureza y el 61,73 % rendimiento del proceso [43].

La destilación molecular presenta una elevada pureza óptica del producto que puede llegar hasta el 95 %, el rendimiento de LA alrededor del 70 % y su funcionamiento es relativamente sencillo. Sin embargo, suele ser adecuada solamente para la producción de LA a pequeña escala debido a su elevada inversión y a los altos requisitos de vacío [35].

La aplicación de la tecnología de separación por membranas en la purificación de LA incluye principalmente dos partes: la eliminación de células, proteínas y partículas de tipo coloidal o micelar de la fermentación y la interceptación de orgánicos moleculares pequeños en el LA crudo. La primera incluye principalmente la microfiltración (MF) y la ultrafiltración (UF) con con membrana porosa, para la separación de partículas con diámetros entre 0,1 µm y 10 µm en el caso de MF y de moléculas con pesos entre 1000 Da y 10000 Da con la UF, cuya membrana separa, fundamentalmente, en función del peso de las moléculas y no por el tamaño de sus poros. La segunda parte suele emplear, la nanofiltración (NF) que retiene moléculas entre 200 Da a 1000 Da, con un tamaño de poro entre 1,5 nm y 2,5 nm y requiere presiones de 3 bar y 20 bar, la ósmosis inversa (OR) y a veces se combina con la electrodiálisis (ED) y el proceso de pervaporación (VE), que parecen ser relativamente benignos para el medio ambiente, no producen sales como residuo, es un proceso de continuidad y de fácil ampliación en comparación con los procesos tradicionales [45]. Las tecnologías de separación por membrana también pueden combinarse con los procesos de separación tradicionales para mejorar aún más la eficiencia global de la separación.

En el caso de la electrodiálisis (ED), es una nueva tecnología de separación desarrollada a partir del intercambio iónico y la tecnología de membranas. Este método proporciona un tratamiento rápido, la obtención de ácido láctico concentrado, un proceso naturalmente viable y la eliminación eficaz de las moléculas no iónicas. Antes de iniciar el proceso de electrodiálisis, el caldo de fermentación requiere pretratamientos (como la ultrafiltración que, impulsada por presión o por gradientes de concentración, conduce a una separación a través de una membrana semipermeable) para eliminar las células y los iones metálicos multivalentes (como Ca, Mg, Zn, etc.) y para la decoloración. Los pretratamientos pueden ayudar a prevenir la deposición de bacterias en la superficie de la membrana, lo que causa más daños a las membranas de electrodiálisis [16, 46]. La electrodiálisis tiene las ventajas de alta pureza y menor contaminación ambiental, depende de la membrana de intercambio iónico con capacidad selectiva y la fuerza impulsora de la corriente eléctrica, pero la formación de incrustaciones en la superficie de la membrana de intercambio iónico sigue siendo un problema importante.

La integración de una membrana de nanofiltración (NF) en una pila de ED convencional se comparó con una pila de ED clásica con una membrana de intercambio aniónico en condiciones de corriente estándar [46], se estudiaron cuatro procesos de separación (MF-UF, NF IEX y evaporación asistida por vacío (VE)) y se eliminaron casi por completo los solutos celulares,

orgánicos como la glucosa, los iones inorgánicos monovalentes residuales y, por último, se recuperó ácido láctico puro (mayor que 99,5 %) mediante VE [47].

En otro estudio, se produjo ácido láctico (LA) utilizando tres sustratos de fermentación a escala piloto [48] para estudiar la aplicación de MF y NF. Los resultados mostraron que la microfiltración podía separar eficientemente la biomasa celular y las partículas de alto peso molecular sin grandes pérdidas de ácido láctico. Se lograron altos rechazos de azúcares, proteínas e iones metálicos después de la nanofiltración (azúcares no convertidos del 100% y del 63% para los otros dos medios), lo que condujo a una mejora de más del 10% de la pureza del ácido láctico en los sustratos alternativos. El flujo medio se vio muy afectado por la naturaleza del medio, así como por la concentración final de LA y azúcares. La membrana retuvo más del 50% de los iones y proteínas presentes en todos los medios y más del 60% del fósforo. Los resultados indican potencialmente que la filtración podría emplearse industrialmente como paso primario de separación del ácido láctico incluso a partir de caldos de fermentación complejos.

Los métodos reportados para la separación y purificación de LA a partir de caldo de fermentación aún presentan inconvenientes que impiden su implementación a escala industrial para la recuperación de un producto de alta pureza con fines comerciales. Aunque el proceso de separación por membrana todavía no puede reemplazar completamente las técnicas de separación tradicionales como la destilación y la extracción por solventes, para la purificación de LA, en muchos casos, cuando el método de separación tradicional no es eficiente y económico, la tecnología de separación por membrana tiene ventajas obvias para el procesamiento de mezclas de isómeros, compuestos con propiedades químicas similares por lo que debe ser vista como una potencial solución.

## 3. CONCLUSIONES

Disimiles son los mecanismos reportados para la separación y purificación de ácido láctico a partir de caldo de fermentación obtenido por vía biológica, entre los que se encuentran precipitación, destilación, extracción con solventes, adsorción y procesos de separación con membranas, destacando, este último, como una de los más promisorios, como tecnología potencialmente eficiente, poco contaminante y económicamente viable.

En la actualidad, las investigaciones deben centrarse en la integración de estas tecnologías y en la optimización del proceso integrado existente para recuperar y separar el ácido láctico del caldo de fermentación. Por lo que continua siendo un reto, desarrollar una metodología que pueda producir y recuperar eficientemente ácido láctico ópticamente puro, de alto rendimiento y al mínimo costo de operación, que cumpla con los requerimientos de calidad de productos con fines comerciales.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer al Proyecto BioKreiS, siendo este trabajo una de las tareas de investigación del mismo, y también forma parte del doctorado de la autora.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Li, C., et al., *Recent advances in the separation and purification of lactic acid from fermentation broth.* Process Biochemistry, 2021. **104**: p. 142-151.

2. Zuluaga, F., *Algunas aplicaciones del ácido poli-L-láctico.* Academia Colombiana de Ciencias, 2013. **37**(142).
3. Vijayakumar, J., R. Aravindan, and T. Viruthagiri, *Recent trends in the production, purification and application of lactic acid.* Chemical, biochemical engineer, 2008. **22**(2): p. 245–264.
4. Oliveira, J., et al., *Polymers based on PLA from synthesis using D,L-lactic acid (or racemic lactide) and some biomedical applications: a short review.* Polymers (Basel). 2022. **14**(12).
5. Ghaffar, T., et al., *Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification.* Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2014.
6. Meng, K., et al., *Recent advances on purification of lactic acid.* The chemical record y of Japan & Wiley-VCH GmbH, 2020. **20**: p. 1-22.
7. Campozano, I. and M. Riera, *Polylactic acid: a review of production methods and their applications.* Publicaciones en Ciencias y Tecnología, 2022. **16**(1): p. 42-53.
8. Castro, E., et al., *Poly(lactic acid)—Mass production, processing industrial applications, and end of life.* Advanced Drug Delivery Reviews, 2016.
9. Alves De Oliveira, R., et al., *Current advances in separation and purification of second-generation lactic acid.* Separation & Purification Reviews, 2019.
10. Antczak, J., M. Szczygiełda, and K. Prochaska, *Nanofiltration separation of succinic acid from post-fermentation broth: Impact of process conditions and fouling analysis.* Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2019. **77**: p. 253-271.
11. Meng, K., et al., *Recent advances on purification of lactic acid.* The chemical record, 2020. **20**: p. 1-22.
12. Nakano, S., C. Ugwu, and Y. Tokiwa, *Efficient production of d-(−)-lactic acid from broken rice by Lactobacillus delbrueckii using Ca(OH)2 as a neutralizing agent.* Bioresource Technology, 2012. **104**: p. 791-794.
13. Kwak, H., et al., *Recovery of alkyl lactate from ammonium lactate by an advanced precipitation process.* Separation and Purification Technology, 2012: p. 25-32.
14. Solehah, A., et al., *Lactic acid separation and recovery from fermentation broth by ion-exchange resin: A review.* Bioresour. Bioprocess, 2021. **8**(31).
15. Boonmee, M., et al., *Improved lac tic acid production by in situ removal of lactic acid during fermentation and a proposed scheme for its recovery.* Arab J Sci Eng, 2016. **41**(6): p. 2067–2075.
16. Kumar, A., A. Thakur, and P. Singh Panesar, *Lactic acid and its separation and purification techniques: a review.* Rev Environ Sci Biotechnol, 2019.
17. Kang, S.H. and Y.K. Chang, *Removal of organic acid salts from simulated fermentation broth containing succinate by nanofiltration.* Journal of Membrane Science, 2005. **246**(1): p. 49-57.
18. Chen, K., et al., *Ion exchange separation for recovery of monosaccharides, organic acids and phenolic compounds from hydrolysates of lignocellulosic biomass.* Separation & Purification Technology, 2017. **172**: p. 100–106.
19. Chenglong, L., et al., *Recent advances in the separation and purification of lactic acid from fermentation broth* Process Biochemistry 2021. **104**: p. 142–151.
20. Wasewar, K., *Reactive extraction: an intensifying approach for carboxylic acid separation.* International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2012. **3**(4).
21. Komesu, A., M. Maciel, and R. Filho, *Separation and Purification Technologies for Lactic Acid – A Brief Review.* BioResources, 2017. **12**: p. 6885-6901.
22. Hasan, U., H. Erdem, and I. lrbas, ,, *Recovery of lactic acid from dilute aqueous solutions using a binary mixture of tri-n -octylphosphine oxide (TOPO) or dioctylamine (DOA) with different solvents.* J. Chem. Eng, 2018. **63**: p. 4801–4806.
23. Lan, K., et al., *Recovery of lactic acid from corn stover hemicellulose derived liquor.* ACS Omega, 2019. **4**: p. 10571–10579,.

24. Kumar, A. and A. Thakur, *Parametric optimization of green synergistic reactive extraction (GSRE) of lactic acid using trioctylamine, aliquat336, and butan-2-ol in sunflower oil by response surface methodology (RSM).* Chem Eng Commun, 2019 **206**: p. 1072–1086.
25. De, B., K. Wasewar, and V. Dhongde, *Extractive separation of protocatechuic acid using natural non-toxic solvents and conventional solvents.* Chem Data Collect 2018. **15–16**: p. 244–253.
26. Dai, J., Y. Sun, and Z. Xiu, *Separation of bio-based chemicals from fermentation broths by salting-out extraction.* . Eng Life Sci 2014. **14**: p. 108–117.
27. Aydogan, O., E. Bayraktar, and U. Mehmetoglu, *Aqueous two-phase extraction of lactic acid: Optimization by response surface methodology.* Sep Sci Technol, 2011. **46**(7): p. 1164–1171.
28. Othman, N., et al., *Simultaneous extraction and enrichment of reactive dye using green emulsion liquid membrane system.* Environ Technol, 2019
29. Kumar, A., A. Thakur, and P. Singh Panesar, *Lactic acid extraction using environmentally benign Green emulsion ionic liquid membrane.* Journal of Cleaner Production, 2018. **181**: p. 574-583.
30. Xiao, L., et al., *Poly(Lactic Acid)-based biomaterials: synthesis, modification and applications* 2014.
31. Jusoh, N. and N. Othman, *Stability of water-in-oil emulsion in liquid membrane prospect. Malay.* J Fundam Appl Sci, (2016). **12**: p. 114–116.
32. Mendil, J., et al., *Review of emulsion liquid membrane for heavy metals recovery from wastewater/water: Stability, efficiency, and optimization.* Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 2024. **196**.
33. Smith, B., R. MacBean, and G. Cox, *Separation of lactic acid from lactose fermentation liquors by reverse osmosis.* Dairy Technol, 1939. **32**: p. 23-36.
34. Cardona, C., L. López, and L. López, *Separación de ácido láctico por destilación reactiva.* Universidad EAFIT. 2004. **40**(135): p. 40-53.
35. Komesu, A., et al., *Purification of lactic acid produced by fermentation : focus on non-traditional distillation processes.* Purif. Rev., 2017. **46**: p. 241–254.
36. Komesu, A., et al., *Lactic acid purification by reactive distillation system using design of experiments.* Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2015. **95**: p. 26-30.
37. Kumar, R., et al., *Recovery of lactic acid by batch reactive distillation.*. . J. Chem. Technol. Biotechnol, 2006. **81**: p. 1141–1150.
38. Lunelli, B., et al., *Ethyl lactate production using reactive dis tillation: J. Biotechnol.* . Experimental and simulation, 2010. **150**: p. 569.
39. Asthana, N., et al., *A continuous reactive separation process for ethyl lactate formation.* Org. Process Res. Dev, 2005. **9**: p. 599–607.
40. Rao, V.V.B., et al., *Recovery of lactic acid by reactive distillation.* J. Appl. Sci., 2014. **14**(12): p. 1289–1293.
41. Kamble, S., et al., *Autocatalytic countercurrent reactive distillation.* Ind. Eng. Chem Res. , 2011. **51**: p. 1506–1514.
42. González, C., et al., *Innovative reactive distillation process for the sustainable purification of lactic acid.* Industrial & Engineering Chemistry Research, 2022. **61**.
43. Yu, J., et al., *Optimizing and scale-up strategy of molecular distillation for the purification of lactic acid from fermentation broth.* Separation Science and Technology, 2015. **50**: p. 2518-2524.
44. Komesu, A., et al., *Evaluation of lactic acid purification from fermentation broth by hybrid short path evaporation using factorial experimental design.* Separacion Purificacion Technologia, 2014. **136**.
45. Kumar, R., B. Basak, and B.-H. Jeon, *Sustainable production and purification of succinic acid: A review of membrane-integrated green approach.* Journal of Cleaner Production, 2020. **277**.

46. Beaulieu, M., et al., *How overlimiting current condition influences lactic acid recovery and demineralization by electrodialysis with nanofiltration membrane: comparison with conventional electrodialysis.* Membranes, 2020. **10**.
47. Lee, H.D., et al., *Separation and purification of lactic acid from fermentation broth using membrane-integrated separation processes.* Industrial & Engineering Chemistry Research, 2017. **56**: p. 8301-8310.
48. Alexandri, M., R. Schneider, and J. Venus, *Membrane technologies for lactic acid separation from fermentation broths derived from renewable resources.* Membranes. MPDI, 2018. **8**(94).

**sobre los autores**

Yarisleydis Nicot Rochet, Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Profesor Asistente, Master en Ciencias.
Osney Pérez Ones, Vicerrector de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría Profesor auxiliar, Doctor en Ciencias.
Ania Cabrera Diaz, Vicedecana de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Profesor Auxiliar, Doctor en Ciencias.
Deny Oliva Merencio, Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Profesor, Doctor en Ciencias.
Stefan Kohler, Director Institute of Agriculture and Urbans Ecological Projects affiliate to Berlin Humbolt University (IASP). Berlin. Germany, PhD.
Ileana Pereda Reyes, Jefa del Laboratorio de Innovación, Dirección de Ciencia y Técnica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Profesor Titular, Doctor en Ciencias.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPIEDADES FOTOPROTECTORAS DE LA MORINGA OLEIFERA

# MORINGA OLEIFERA PHOTO PROTECTIVE PROPERTIES

**Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas[1]. Cándida Magali Ferrer Serrano[2]**
**Facultad de Ingeniería Química[1], Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables[2].**
**Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, La Habana, Cuba**
**beatriz@quimica.cujae.edu.cu**

**RESUMEN**

Los rayos solares tienen características terapéuticas para la piel, pero su exposición en exceso es perjudicial para la salud además, los riesgos debido al deterioro de la capa de ozono, provocan efectos cancerígenos y envejecimiento prematuro. Se ha generalizado el uso de materias primas de origen natural en la elaboración de productos cosméticos. Una de las plantas empleada es la Moringa *oleifera* Lam. El objetivo de este trabajo es determinar el efecto fotoprotector in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera.*

Para ello se obtuvo el extracto hidroalcohólico de hojas mediante el método de maceración con etanol al 70%(m/v) y el aceite por el método de prensado de las semillas. :

El extracto hidroalcohólico de hojas presentó: color verde oscuro, olor sui generis, aspecto líquido, densidad relativa 0,9922g/mL, pH 5,96; índice de refracción 1,355; el aceite, color amarillo claro, olor agradable y aspecto líquido oleoso, densidad 0,8240 g/mL, pH 6,16; índice de refracción 1,464 e índice de acidez 6,07 mg KOH/g aceite. El factor de protección solar in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de Moringa oleífera L. fue de 27,40 ± 0,04.
.
**PALABRAS CLAVE**: fotoprotección, hojas, Moringa, semillas. .

**ABSTRACT**

Sunrays have therapeutic characteristics for the skin, but excessive exposure is harmful to health. In addition, the risks due to the deterioration of the ozone layer cause carcinogenic effects and premature aging. The use of raw materials of natural origin s has become widespread. One of the plants used is Moringa *oleifera* Lam. The objective of this work is determine in vitro solar photoprotective effect of the combination of the hydroalcoholic extract of leaves and the vegetable oil of seeds of Moringa *oleifera*

The hydroalcoholic leaf extract was obtained by the maceration method with 70% ethanol (m/v) and the oil by the seed pressing method.

The hydroalcoholic extract of leaves presented the results: dark green color, sui generis odor, liquid appearance, relative density 0.9922g/mL, pH 5.96; refractive index 1.355; the oil, light yellow color, pleasant odor and oily liquid appearance, density 0.8240 g/mL, pH 6.16; refractive index 1.464 and acidity index 6.07 mg KOH/g oil. The in vitro sun protection factor of the combination of the hydroalcoholic extract of leaves and the vegetable oil of Moringa oleifera L. was 27.40 ± 0.04.
.
**KEY WORDS:** photoprotection, leaves, Moringa, seeds**.**

## INTRODUCCION

La piel es la frontera que separa el cuerpo del resto de las cosas. Su elevada enervación la convierte es un órgano sensorial en el que se reflejan los sentimientos, las emociones y el estado de salud, ocupa un lugar

importante en la homeostasis del agua, la regulación de la temperatura corporal y la síntesis de vitamina D. El envejecimiento se define como acúmulo de daños moleculares con el tiempo producidos por las especies reactivas de oxígeno ERO (iones, radicales libres y peróxidos). El envejecimiento de la piel «se ve» y tiene como consecuencia una importancia social, que no tiene el envejecimiento de cualquier órgano interno.

Existe un envejecimiento natural o también llamado cronológico, se da con el paso del tiempo y es producto del propio estrés oxidativo celular del organismo. El envejecimiento acelerado está provocado por diversos factores ambientales (radiación UV, campos electromagnéticos, productos químicos, climatología). En ambos casos se producen las ERO que dañan los telómeros de ADN (ácido desoxirribonucleico), enzimas y membranas celulares. [1]

Los rayos solares tienen importantes características terapéuticas para la piel, aumentando la producción de vitamina D y la absorción de calcio, pero su exposición en exceso es sumamente perjudicial para la salud, y los riesgos ahora son más altos debido al deterioro de la capa de ozono en los últimos años, provocando efectos cancerígenos y envejecimiento prematuro gracias a la fototoxicidad.

Desde hace algún tiempo se sabe que las dosis altas de radiación UV producen radicales libres en la piel, que influyen negativamente en la generación de tejidos conectivos y, por consiguiente, la renovación de las fibras de elastina y colágeno se altera, ocasionando la aparición de surcos y arrugas en la piel. [2], [3]

Para la implementación de productos que pueden ser usados en formulaciones para protección solar, se llegó a una clasificación de 26 filtros permitidos, subdivididos en dos grupos.[1], [3]. Los filtros inorgánicos o físicos, que poseen una propiedad fundamental de impermeabilizar, funcionando como pantallas reflectoras. Para esto se han venido usando los óxidos metálicos. Los filtros orgánicos o químicos, que son capaces de absorber la radiación UV; generalmente se componen de uno o varios anillos bencénicos, conjugados con dobles enlaces y/o grupos carbonilo.

En los últimos años ha disminuido el uso de materias primas de origen químico para la elaboración de productos cosméticos y se ha generalizado el uso de materias primas de origen natural por contar con menores efectos secundarios en la piel de las personas.

Una de las plantas que posee estas propiedades es la Moringa oleifera L. La Moringa oleifera L. tiene estructuras fitoquímicas de interés medicinal: como glucosinolatos, isotiocianatos, flavonoides, antocianinas, proantocianidinas y cinamatos; varios de estos compuestos se consideran nutracéuticos y con propiedades fotoprotectoras; por ejemplo, el 4-(4'-O-acetil-α-Lramnopiranosiloxi)- isotiocianato de bencilo, el 4-(α-Lramnopiranosiloxi)-isotiocianato de bencilo, el isotiocianato de bencilo y el 4-(α-Lramnopiranosiloxi)-glucosinolato de bencilo presentan actividad anticancerígena, hipotensiva y antibacteriana. [4]

El alto contenido de vitaminas, minerales y otros fitoquímicos de la moringa, como vainillina, ácidos grasos omega, carotenoides, ascorbatos, tocoferoles, β-sitosterol, ácido octacosanoico, moringina, moringinina y fitoestrógenos también es un factor importante en los efectos terapéuticos de Moringa oleífera L. Estudios fotoquímicos de Moringa oleifera L. revelaron la presencia de importantes polifenoles, tales como glucósidos de quercetina, rutina, glucósidos kaempferol y ácidos clorogénicos.
La composición del aceite de moringa (<1% en ácidos grasos poliinsaturados), lo convierte en una base para cosméticos, jabones y perfumes, dado que absorbe el mal olor y es apropiado para atrapar fragancias florales. Se considera como uno de los aceites ideales en la elaboración de cosméticos..[5 ].

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto fotoprotector de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera*, para ello se determinaron las características organolépticas y los análisis fisicoquímico de hojas y semillas de Moringa oleífera identificando el factor de protección solar in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera*

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Obtención de extractos y caracterización*

Para la obtención del extracto hidroalcohólico de las hojas de Moringa se realizó la elección de etanol como disolvente lo que se justifica por la composición fitoquímica de las hojas, que contienen principalmente sustancias hidrosolubles como compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C y minerales; y estos compuestos pueden ser extraídos en soluciones polares hidroalcohólicas.

Una vez realizada la selección de las hojas, se procedió a lavar las mismas mediante un flujo continuo de agua potable hoja por hoja, se dejaron secar a temperatura ambiente y a la sombra por un tiempo de 7 días para eliminar la humedad, posteriormente se muelen las hojas, con el fin de aumentar la superficie de contacto al momento de interaccionar con el disolvente, y así optimizar la extracción de los metabolitos secundarios.

Para la extracción de polifenoles, se empleó como método la extracción por maceración, utilizando como disolvente etanol al 70% (m/v), se utilizó una proporción de trabajo 1:35 a 50ºC, teniendo como referencia investigaciones anteriores. La maceración se realizó en un frasco ámbar a temperatura ambiente durante siete días agitándolo dos veces al día, luego se filtró a vacío y se evaporó el disolvente en estufa a 40°C. El producto de la evaporación se trasvasó a viales los cuales fueron pesados. La extracción se realizó por triplicado,[6 ].

La concentración de polifenoles de los extractos obtenidos se determinó utilizando el reactivo Folin - Ciocalteu según el método modificado [3]. Una alícuota de un mL de muestra se puso en el tubo de ensayo, con 2.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y dos mL de carbonato de sodio al 7.5% (m/v), se deja en la oscuridad durante 20 minutos a temperatura ambiente, desarrollando una coloración azul intensa. Se efectúa la lectura de absorbancia a una longitud de onda máxima de 765 nm.

De forma similar se prepara la curva de calibración de ácido gálico y los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g m.seca). Los extractos obtenidos se filtraron utilizando papel de filtro cuantitativo número 202. Los mismos se envasaron en frascos de 10 mL de capacidad para luego ser almacenados en refrigeración para la posterior medición de absorbancia. El proceso de maceración se realiza por triplicado a temperatura ambiente durante siete días y se determinan las características organolépticas y físico-químicas del extracto hidroalcohólico.

### *Obtención de aceite y caracterización*

Las semillas se preparan para la extracción mecánica, separando primero las cáscaras de los cotiledones en una descascaradora modelo Agro 01 de fabricación nacional. Se someten 500 kg de semillas de Moringa oleífera a un prensado en frío, utilizando una prensa hidráulica extractora marca SIGEC modelo HOP-20/200 con una presión de 20 MPa y una carga de 30 kg siendo estos los máximos valores a los que la prensa trabaja, ya que si se exceden estos parámetros podrían ocurrir graves roturas. Por tanto, estos valores se mantienen constantes durante todo el proceso. Se cargan seis paños con cinco kg cada uno con las semillas y se realiza la prensada durante 30 minutos. Terminado el proceso de prensado el aceite pasa a través de un filtro prensa modelo 2FIN 20-20 eliminando partículas que quedan disueltos en el mismo, para posteriormente ser almacenado en un tanque de acero inoxidable de 50 L hasta el momento de ser envasado.

### *Determinaciones espectroscópicas de los extractos y aceite de Moringa*

Se determina por RMN-H el ácido graso mayoritario en la muestra de aceite. Para ello se toman 100mg de cada muestra se disuelven en 500 microlitros de cloroformo deuterado. Las determinaciones de la resonancia, magnética nuclear- de hidrógeno se realizan a 400 MHz en un espectrofotómetro BRUKER.

Se determina por UV-Vis en un espectrofotómetro de doble rayo VIS-723G los valores de absorbancia a las diferentes longitudes de onda para conocer la capacidad de absorción del aceite y del extracto de hojas. Además de obtiene la curva de calibración para dar el cumplimiento de la Ley de Lambert-Beer.

El FPS in vitro se determinó siguiendo el método espectrofotométrico que establece un modelo matemático que correlaciona el FPS con la absorbancia de la muestra entre 290 y 320 nanómetros, es decir en la región UV-B[7[
Una vez medidas las absorbancias a las diferentes longitudes de onda, el FPS in vitro se calcula con la ecuación siguiente:

$$FPS\ espectrofotométrico\ =\ FC.\sum (EE\ (\lambda).I\ (\lambda).A\ (\lambda)) \quad (1)$$

Dónde: FC = factor de la corrección (igual a 10).
EE (λ) = efecto de la radiación a una longitud de onda λ (reportado en tablas) también llamado efecto eritematos
I (λ) = espectro de intensidad solar.
A (λ)= valores de absorbancia a la longitud de onda λ

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Obtención y caracterización del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite de semillas*

Las características organolépticas del extracto hidroalcohólico de hojas de Moringa *oleífera* presentó los siguientes resultados: color verde oscuro, olor herbal característico y aspecto líquido, y en el análisis fisicoquímico: densidad relativa a 25°C (g/cm$^3$) fue de 0,9922, pH de 5,96; índice de refracción de 1,355.
Los resultados de la extracción y cuantificación de los polifenoles totales expresados como ácido gálico en el extracto hidroalcohólico mostraron un 21.01±0.38 % de extracción y 20.67±0.86 (mg EAG/g m.seca).

El aceite de las semillas de Moringa *oleífera* resultó ser de color amarillo, con olor y apariencia característico de este aceite. El porcentaje de extracción promedio de tres determinaciones empleando la prensa hidráulica fue de 23 ± 2%.

Los resultados del análisis fisicoquímico del aceite fueron: Índice de refracción 1,464 ± 0,02, Índice de saponificación (mg de KOH/g) 161,02 ± 2,0, Índice de peróxido (mmol eq $O_2$ / kg aceite) 1,8 ± 0,2, Índice de yodo 68,68 ± 0,10.

Se determinaron los contenidos de ácidos grasos AG (%), cuantificados como ésteres metílicos de los ácidos grasos.

**Tabla 1.** Contenido de ácidos grasos en el aceite de Moringa *oleífera*

| Ácidos | Resultados (%) |
|---|---|
| Mirístico (C14:0) | 0,16 |
| Palmítico (C16:0) | 5,89 |
| Palmitoleico(C16:1) | 1,16 |
| Esteárico (C18:0) | 5,30 |
| Oleico (C18:6) | 67,93 |
| Linoleico (C18:2) | 0,62 |
| Linolénico (C18:3) | 0,19 |
| Araquídico (C20:0) | 2,51 |
| Eisosenoico (C20:1) | 2,04 |
| Behénico (C22:0) | 2,67 |

| | |
|---|---|
| Lignocérico (C24:0) | 0,40 |
| Total | 88.88 |

De estos resultados se corroboró que el componente fundamental en este aceite es el ácido graso oleico. Además, se observan otros ácidos grasos que contribuyen de manera importante a su composición, siendo estos los ácidos: palmítico, esteárico, behénico, araquídico, palmitoleico y el eisosenoico.

***Determinaciones espectroscópicas de los extractos y aceite de Moringa***

Se realiza una gráfica de absorbancia relacionada con longitudes de onda encontrándose máximos de absorbancia en las regiones de 200-250nm, de 300-360nm y 400nm, lo que demuestra la presencia de grupos cromóforos y auxocromos en la estructura del extracto que se deben fundamentalmente a la presencia de polifenoles

Con el extracto hidroalcohólico obtenido se prepararon disoluciones al 5% y al 10% (v/v). Se realizaron las lecturas de absorbancia para las diferentes disoluciones encontrándose que los valores mayores se obtenían en los extractos hidroalcohólicos al 10% a valores de 310 nm, por lo que se selecciona este valor para determinar los FPS *in vitro* promedio que se contemplarán en el diseño de experimentos

| | extracto 10% | | promedio ABS | nm |
|---|---|---|---|---|
| 0,83 | 0,957 | 0,947 | 0,911 | 290 |
| 1,037 | 1,152 | 1,152 | 1,114 | 295 |
| 1,154 | 1,155 | 1,155 | 1,155 | 300 |
| 1,238 | 1,211 | 1,213 | 1,221 | 305 |
| 1,313 | 1,272 | 1,275 | 1,287 | 310 |
| 1,318 | 1,272 | 1,276 | 1,289 | 315 |
| 1,184 | 1,143 | 1,147 | 1,158 | 320 |

| | extracto 5% | | promedio ABS | |
|---|---|---|---|---|
| 0,603 | 0,611 | 0,551 | 0,588 | 290 |
| 0,854 | 0,858 | 0,8 | 0,837 | 295 |
| 1,042 | 1,051 | 1,001 | 1,031 | 300 |
| 1,141 | 1,153 | 1,104 | 1,133 | 305 |
| 1,206 | 1,221 | 1,172 | 1,200 | 310 |
| 1,196 | 1,211 | 1,163 | 1,190 | 315 |
| 1,033 | 1,048 | 1,043 | 1,041 | 320 |

| | aceite | | promedio ABS | |
|---|---|---|---|---|
| 0,097 | 0,096 | 0,095 | 0,096 | 290 |
| 0,544 | 0,539 | 0,539 | 0,541 | 295 |
| 0,845 | 0,893 | 0,902 | 0,880 | 300 |
| 1,093 | 1,03 | 1,032 | 1,052 | 305 |
| 1,312 | 1,309 | 1,301 | 1,307 | 310 |
| 0,603 | 0,606 | 0,61 | 0,606 | 315 |
| 0,138 | 0,134 | 0,134 | 0,135 | 320 |

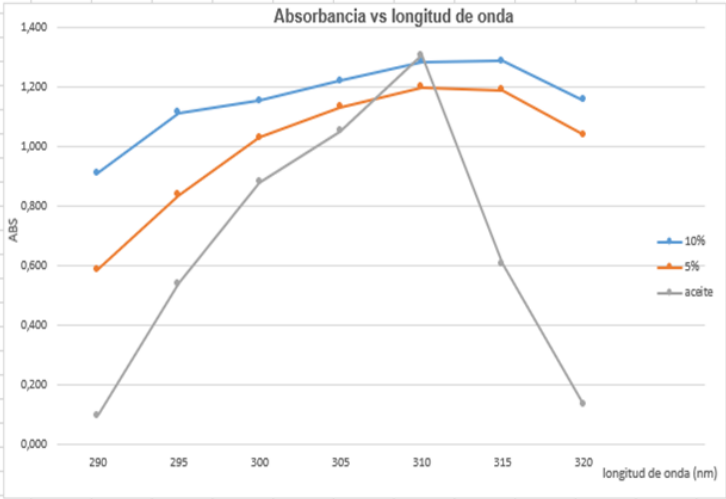



**Figura 1.** Lecturas de absorbancia del extracto y aceite de Moringa para cada longitud de onda.

.Al aceite resultante se le realizó un análisis de RMN-H en cloroformo deuterado, evidenciándose la presencia de los grupos metilenos de la cadena hidrocarbonada a los valores de 1,4 ppm aproximadamente, la presencia de los H insaturados del doble enlace del ácido oleico a los valores de 4,2-4,4 ppm.

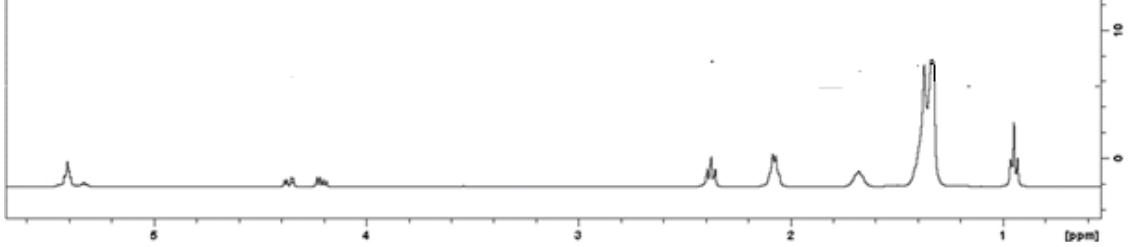


**Figura 2**. Espectro RMN-H del aceite de Moringa *oleifera*

Se trabajó con el programa estadístico *Statgraphics Centurion*. Se propuso un diseño experimental multinivel factorial $3^2$. Los factores considerados fueron extracto hidroalcohólico al 10% y aceite, los niveles de estudios son 2, 5 y 8 mL, donde en todos los casos la variable dependiente es el Factor de protección solar. Para cada corrida experimental se realizaron tres réplicas, resultando un total de 27 experimentos. Una vez definidos los factores en el programa se obtiene la matriz ortogonal, mostrada en la tabla 2.

**Tabla 2**. FPS de la mezcla de extracto hidroalcohólico de hojas al 10% con aceite al mejor valor de longitud de onda (por triplicado)

| **Lecturas a 310 nm** | **10%-aceite (2:2)** | **10%-aceite (2:5)** | **10%-aceite (2:8)** | **10%-aceite (5:2)** | **10%-aceite (5:5)** | **10%-aceite (5:8)** | **10%-aceite (8:2)** | **10%-aceite (8:5)** | **10%-aceite (8:8)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FPS** | 26,10<br>26,05<br>26,08 | 26,20<br>26,16<br>26,18 | 26.27<br>26,28<br>26,25 | 26,53<br>26,56<br>26,55 | 26,61<br>26,63<br>26,75 | 26,85<br>26,88<br>26,87 | 27,14<br>27,10<br>27,08 | 27,20<br>27,18<br>27,23 | 27,40<br>27,36<br>27,38 |

Diagrama de Pareto

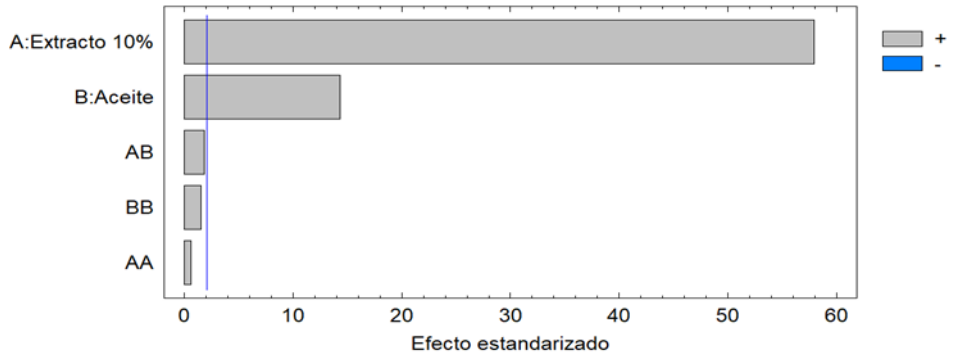



**Figura. 3**. Diagrama de Pareto Estandarizada para FPS

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados. La línea de referencia indica cuáles efectos son estadísticamente significativos, cumpliendo el factor A y el factor B con esta y la anterior característica. Se observa que dichos efectos son positivos, por tanto, la variable respuesta tiene una relación directamente proporcional con estos, siendo el extracto al 10% el que mayor influencia tiene sobre el FPS.

Análisis de varianza

| **Fuente** | **Suma de Cuadrados** | **Gl** | **Cuadrado Medio** | **Razón-F** | **Valor-P** |
|---|---|---|---|---|---|
| A: Extracto 10% | 5,01389 | 1 | 5,01389 | 2906,60 | 0,000 |
| B: Aceite | 0,306806 | 1 | 0,306806 | 177,86 | 0,0000 |
| bloques | 0,00162222 | 2 | 0,000811111 | 0,47 | 0,310 |
| Error total | 0.03795 | 22 | 0,001725 | | |
| Total (corr.) | 5,36027 | 26 | | | |

**Tabla 3**. Análisis de Varianza para FPS

R-cuadrada = 99,292 %
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,233 %

Error estándar del est. = 0,0415331
Error absoluto medio = 0,0308642
Estadístico Durbin-Watson = 2,0374 (P = 0,3802)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0428114
La ecuación del modelo ajustado es:
FPS = 25,6017 + 0,175926*Extracto 10% +0,0435185*Aceite (2)

Todos los coeficientes son positivos, entonces un aumento de los factores A y B hace que aumente el FPS. Los resultados indican una asociación sinérgica entre el extracto hidroalcohólico y el aceite. Los valores de FPS en la formulación con 8 mL de cada ingrediente son 27,40 ± 0,04, esto sugiere que de acuerdo con la nueva clasificación de FPS de la COLIPA, se encontraría en la clasificación de nivel alto de fotoprotección.

Según plantea Dunaway existen una gran variedad de biomoléculas con acción fotoprotectora en la naturaleza. Entre las moléculas más comunes se encuentran los flavonoides que tienen absorción significativa en la región ultravioleta A y B, debido a su estructura química. [8]

## CONCLUSIONES

1. Tanto el extracto hidroalcohólico de hojas como el aceite de semillas muestran propiedades fotoprotectoras. por poseer en su composición compuestos con actividad biológica, dentro de los que resaltan sustancias antioxidantes, como compuestos fenólicos, vitaminas y ácidos grasos como el oleico, behénico, araquídico, imprescindibles para la protección de las células vivas del daño oxidativo en el ADN asociado con el envejecimiento, el cáncer y las enfermedades degenerativas.

2. El resultado de emplear la combinación de extracto hidroalcohólico de hojas de Moringa oleífera y el aceite correspondiente brinda una alternativa para ser utilizado en formulaciones cosméticas

## REFERENCIAS

.

1. BALLESTEROS HOB. Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM; 2010 [cited junio 2021]. Available from: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta.

2. BONET, R. & GARROTE, A. Protección solar. Nuevos activos. Offarm, Vol. 30, No. 3, 2011, pp. 51-58.https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-proteccion-solar-nuevos-activos-X0212047X11205105

3. ARAUJO TS, SOUZA SO. Protetores solares e os efeitos da radiação ultravioleta. Scientia Plena. Vol. 4, No. 11, 2008; pp.1-7., www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/721

4. ZUMALACÁRREGUI B., FERRER C. Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de Moringa oleifera ecotipo Plain, Rev. Cubana Quím., Vol. 34, No. 2, 2022, pp. 227-241. http://revistas.uo.edu.cu/

5. FERRER SERRANO C, ZUMALACÁRREGUI DE CÁRDENAS B, Mazorra Mestre M. Caracterización Físico-Química del aceite de semillas de moringa oleífera. Revista Centro Azúcar, Vol. 47, No. 4, 2020, pp. 1-11, http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php

6. GONZÁLEZ MINERO F. BRAVO DÍAZ L. Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. Ars Pharm., Vol. 58, No. 1, 2017, pp. 5-12, http://dx.doi.org/10.4321/S2340-98942017000100001

7 European Cosmetics Association. COLIPA Guidelines. Guidelines for evaluating sun product water resistance. October 2004, https://www.cosmeticseurope.

8 DUNAWAY S., ODIn R., ZHOU L., Ji L., ZHANG Y., KADEKARO A.L. Natural Antioxidants: Multiple Mechanisms to Protect Skin From Solar Radiation. Frontiers in Pharmacology, No. 9, 2018, pp. 1-14, https://www.scirp.org,https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00392 Volume 9 - 2018 | https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00392.

.

**Sobre los autores**

Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas Licenciada en Química (1975), Especialista en Corrosión y Protección (1980), Doctor en Ciencias Químicas (1992). Es Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Química Profesor Emérito de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

Cándida Ferrer Serrano. Licenciada en Química (1972), Master en Ciencias Químicas (2018). Es Profesora Auxiliar del , Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. Facultad de Ingeniería Mecánica.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PRODUCCIÓN DE BIOHIDRÓGENO MEDIANTE LA FERMENTACIÓN OSCURA DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA

**Luis Osvel Milián Zamora[1], Montserrat Pérez García[2], Rosario Solera del Río[3], Susana Rodríguez Muñoz[4]**

[1,4] Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [2,3] Departamento Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, campus Puerto Real-CASEM. 11510, Puerto Real-Cádiz, España.

e-mail: [1]luisosvelm@gmail.com, [2] montserrat.perez@uca.es, [3]rosario.solera@uca.es, [4]susana@química.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La industria cervecera está experimentando un crecimiento significativo debido a la implementación de diversas cerveceras artesanales en España, con gran auge en la provincia de Cádiz. Los fabricantes de esta bebida se enfrentan a una gran presión regulatoria para tratar las aguas residuales y el bagazo generados antes de descargarlos al entorno. Una alternativa prometedora que permite el tratamiento de la totalidad de los residuos generados por esta industria y la obtención de biohidrógeno y productos de valor añadido es la fermentación oscura. La implementación de esta tecnología aún se encuentra en fase de investigación y desarrollo por lo que no se conocen las mejores condiciones de operación del proceso. Se realizó un estudio de laboratorio para determinar la mayor producción de hidrógeno empleando vertidos y bagazo de la cervecera Heineken Sevilla S.A. Se desarrollaron tres ensayos de Potencial Bioquímico de Hidrógeno en reactores de operación discontinua. En esta experimentación se evaluaron condiciones termofílicas e hipertermofílicas de temperatura, utilizando tanto bagazo con pretratamiento termoquímico como sin pretratamiento. Durante el ensayo se realizó un seguimiento diario del volumen y composición del biogás generado por las muestras analizadas. Además, las muestras se caracterizaron mediante técnicas analíticas recogidas en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Los resultados indicaron que la fermentación oscura de agua residual y bagazo sin pretratamiento en operación termofílica favorece la producción de hidrógeno.

**PALABRAS CLAVES:** Fermentación oscura, bagazo, agua residual, ensayo de potencial bioquímico de hidrógeno, industria cervecera.

# BIOHYDROGEN PRODUCTION THROUGH DARK FERMENTATION OF BREWERY INDUSTRY WASTE

## ABSTRACT

The brewing industry is undergoing a significant growth due to the implementation of various artisanal breweries in Spain, particularly in the province of Cádiz. The suppliers of these beverages are facing considerable regulatory pressure to treat wastewater and brewery spent grain before being released into the environment. In light of these challenges, a promising alternative that allows the complete treatment of the waste generated by the brewing industry, as well as the collection of biohydrogen and valued-added products, is dark fermentation. The deployment of this technology is currently in the research and development stage; consequently, the best operating conditions of the process are not yet known. To address this knowledge gap, a laboratory study was conducted in order to determine the optimal hydrogen production using industrial effluent and brewery spent grain supplied by Heineken Sevilla S.A. Three biochemical hydrogen potential assays were conducted in batch-operated reactors. In this experimentation thermophilic and hyper thermophilic temperature conditions were evaluated, using both thermochemical pretreated brewery spent grain and without thermochemical pretreatment. During the experimental phase, daily monitoring was conducted of the volume and composition of the biogas generated by the analysed samples. Additionally, the samples were characterized using analytical techniques outlined in the

Standard Methods for the Examination of Potable Water and Wastewater. The results indicate that dark fermentation of wastewater and non-thermophilic operation pretreatment of brewery spent grain enhances the hydrogen production.

**KEY WORDS:** Dark fermentation, brewery spent grain, wastewater, biochemical hydrogen potential assay, brewing industry.

.

## 1. INTRODUCCIÓN

El esfuerzo continuo de las naciones por aumentar el desarrollo económico ha fomentado la modernización y la urbanización de la sociedad, estimulando la extracción y el uso de carbón, gas y petróleo. Sin embargo, el consumo de reservas fósiles ha contribuido significativamente al deterioro del clima. Antes de 2020, la Comisión Europea adoptó varias estrategias para lograr el desarrollo sostenible en la Unión Europea. En el centro de estas estrategias se encuentra la economía circular, enfoque económico y ambiental que contribuye a la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo. En contraste con el modelo lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar", la economía circular promueve la reducción del consumo de recursos (materias primas, envases), la reutilización de recursos que podrían transformarse en otro tipo de productos, y el reciclaje de materiales y componentes al final de su vida útil. Los investigadores han estado concentrando sus esfuerzos recientemente en el desarrollo de bioenergía y productos de valor añadido a partir de un recurso renovable rentable derivado de biorresiduos industriales y agrícolas [1].

Numerosas industrias del sector agroalimentario generan cantidades relativamente elevadas de residuos y subproductos que afectan significativamente a la degradación del medio ambiente, el cambio climático y la desigualdad económica. La industria que lleva a cabo la fabricación de cervezas, enmarcada dentro de las industrias agroalimentarias, es uno de los sectores con más auge y que se remonta a principios del siglo XX. La alta productividad industrial de las cerveceras provoca un gran volumen de efluentes, siendo necesario llevar a cabo el destino adecuado para reducir el impacto en el medio ambiente y mantener el ciclo sostenible del proceso productivo. La industria de producción de cerveza es una de las actividades industriales con mayor consumo y uso de agua. Produce altas cantidades de agua residual (BWW) al año en todo el mundo y genera grandes cantidades de bagazo (BSG) [2].

La digestión anaerobia (DA) es un proceso natural que ocurre en el suelo, el mar y los lagos y hoy en día se usa comúnmente, especialmente en la industria de los combustibles. La eficiencia del proceso de digestión anaeróbica depende de los microorganismos y de su metabolismo en los desechos orgánicos utilizados. Este proceso completo consta de cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, cada una de las cuales depende de los microorganismos presentes, como bacterias y arqueas [3].

La fermentación oscura forma parte de la DA y en esta, los microorganismos descomponen los compuestos orgánicos complejos en productos más simples como ácidos orgánicos, etanol, $CO_2$ e hidrógeno. La etapa de la DA en la que se produce mayor volumen de hidrógeno es la acidogénica pero para que el hidrógeno no sea consumido por los microorganismos metanogénicos, se debe establecer condiciones de fermentación que inhiban el último paso secuencial de la digestión anaerobia. El hidrógeno es un producto intermedio del proceso de digestión anaeróbica y se produce espontáneamente, pero no se acumula en condiciones normales [4]. La fermentación oscura parece más prometedora en términos de rendimiento y viabilidad en comparación con los procesos alternativos de biohidrógeno.

Para lograr que se produzca la fermentación oscura en ausencia de la etapa final de la digestión anaerobia se deben garantizar parámetros de operación adecuados, entre los que destacan la temperatura y el pH.

La aplicación de microorganismos termófilos moderados (55-60 °C) e hipertermofílicos (65-90 °C) es una alternativa prometedora para mejorar la tasa de producción de $H_2$ y el rendimiento. La fermentación oscura termófila es más favorable en comparación con la fermentación oscura mesófila, por tanto, se produce mayor cantidad de $H_2$. Se podría alcanzar una producción con una elevada tasa y rendimiento. El

metabolismo bajo condiciones termófilas experimenta una menor inhibición debido a la presión parcial de hidrógeno ($P_{H2}$). Los productores termófilos de $H_2$ exhiben una mayor tolerancia a la $P_{H2}$, aunque esto varía según los tipos de azúcares presentes en el sustrato y los metabolitos solubles. No obstante, el rango ideal de temperatura no está completamente establecido, ya que varía considerablemente según las propiedades de los sustratos y el inóculo empleados [5].

El pH es uno de los parámetros más importantes que debe ser ajustado para que ocurra fermentación oscura. Los microorganismos que llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica durante la fermentación oscura tienen actividad óptima con un pH a 5,5, mientras que los microorganismos metanogénicos optimizan su trabajo con un pH de 7,5-8,5 [6].

Las pruebas de potencial de biohidrógeno (BHP) son herramientas muy prácticas que permiten determinar la tasa de generación de hidrógeno para diferentes sustratos bajo diferentes condiciones de operación. Estas pruebas son esenciales para evaluar la adecuación de los sustratos para la producción de biohidrógeno [5]. En un ensayo BHP previo, se determinó que las mejores condiciones operativas para la producción de biogás consistían en una mezcla de 87,5% de agua residual y 12,5% de bagazo. La relación sustrato-inóculo utilizada fue de 1:1. No obstante, se concluyó que, para optimizar la producción de hidrógeno a partir de estos residuos, sería necesario ajustar la temperatura de operación o aplicar un pretratamiento al bagazo [7].

Existen diversos tipos de pretratamientos para la materia lignocelulósica, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Un pretratamiento termoquímico con ácido sulfúrico es particularmente eficaz para la producción de ácidos grasos volátiles. Además, la aplicación de este método supone menores costos en comparación con otros tipos de pretratamientos, lo que lo convierte en una opción económica y eficiente [8].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para estimar el potencial de producción de hidrógeno de los residuos de cervecera se realizó un ensayo tipo batch de potencial bioquímico de hidrógeno (BHP) en el laboratorio de Tratamiento Biológico de Residuos de la facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la Universidad de Cádiz ubicada en el edificio CASEM-Puerto Real.

Las variables que se analizaron durante el estudio fueron la temperatura en rango termofílico e hipertermofílico y la aplicación de un pretratamiento termoquímico al bagazo. La proporción de las mezclas de los sustratos empleada fue: BWW: 87,5 %; BSG: 12,5 % y la relación sustrato: inóculo fue 50:50. Estas relaciones están referenciadas en trabajos previos desarrollados en el grupo de investigación Tecnologías del Medio Ambiente en el que se enmarca este trabajo [7].

### Técnicas analíticas

Los sustratos y el inóculo empleado para el ensayo BHP procedieron de Heineken Sevilla y se caracterizaron mediante técnicas analíticas para la evaluación de los parámetros que forman parte de los protocolos normalizados recogidos en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA; AWWA; WPCF; 1989). A continuación, se explican brevemente las técnicas analíticas empleadas:

pH

La medición del pH se realizó siguiendo el método estandarizado APHA-AWWA-WPFC 4500B, empleando un medidor de pH SensION+ PH1. Para lograr una medición correcta del pH de cada muestra analizada, se agitó manualmente cada una y así obtener alto grado de homogeneidad. Simultáneamente se sumergió directamente el electrodo del pHmetro en las muestras agitadas hasta obtener un valor estable de pH por el equipo. El pHmetro se calibró diariamente empleando soluciones patrón de pH 4, 7 y 9 con un electrodo de vidrio, un sistema de referencia de Ag/AgCl estandarizado y una sonda de compensación automática de temperatura, logrando una precisión de dos cifras decimales.

Demanda Química de Oxígeno Total y Soluble ($DQO_T$ y $DQO_S$)

La demanda química de oxígeno (DQO) indica la cantidad de oxígeno, expresada en miligramos, necesaria para oxidar químicamente los contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en un litro de agua. Este valor es fundamental, ya que permite medir la carga de contaminantes en el agua, evaluar la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales y determinar el impacto ambiental de los efluentes.

La $DQO_T$ y $DQO_S$ se hallaron mediante la técnica de espectrofotometría siguiendo el método colorimétrico estandarizado 5200C de la APHA - AWWA - WPFC. Antes de la realización de esta técnica analítica, se efectuó una dilución 1:50 de cada muestra. Las diluciones se efectuaron en un matraz aforado de 250 mL, empleando agua destilada como disolvente. Las diluciones se realizaron por duplicado y se colocaron en dos tubos falcon cónicos de 50 mL; para la $DQO_T$ y $DQO_S$ respectivamente.

De la dilución destinada para la $DQO_T$ se extraen 2,5 mL mediante una pipeta y se colocan en tubos de digestión (3 tubos por muestra). Luego, Se añaden 1,5 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y 3,5 mL de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) a cada muestra. Posteriormente, se introducen en el termorreactor a 150 °C durante 2 horas (Figura 2). A continuación, se retiran los tubos del termorreactor y se dejan enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Para finalizar la técnica, los tubos se colocan en un fotómetro multiparamétrico compacto HANNA HI-83399 y se mide la absorbancia a 575 nm.

Para determinar la $DQO_S$ se sigue el mismo procedimiento que para la $DQO_T$ con la diferencia de que las muestras diluidas en los tubos falcon, se centrifugan antes de ser colocadas en los tubos de digestión. De ellas se extrae solamente el sobrenadante para continuar con la técnica analítica y finalmente obtener la absorbancia de las muestras.

Además de los tubos destinados para la $DQO_T$ y $DQO_S$, se preparó un tubo de digestión con agua destilada y las soluciones de ácido sulfúrico y dicromato de potasio. Este, sirvió de blanco por lo que fue la primera muestra colocada en el espectrofotómetro y marcada como cero.
La DQO tanto total como soluble de determinó por la ecuación siguiente (Ec. 1):

$$DQO\ \left(\frac{g}{L}\right) = \frac{abs(575\ nm) \cdot 3578{,}3 \cdot 50}{1000} \qquad (1)$$

Donde el valor de absorbancia es el promedio de las tres muestras de igual dilución analizadas. El valor de 3 578,3 representa el calibrado y 50 es la dilución que se realizó en cada caso.

Nitrógeno total (N)

El nitrógeno, siendo un nutriente esencial consumido por los microorganismos para llevar a cabo la digestión anaerobia, desempeña un papel crucial en este proceso. Para asegurar una adecuada evaluación de la concentración de nitrógeno y su disponibilidad para los microorganismos, se utilizó la técnica analítica basada en el método colorimétrico del ácido cromotrópico.

El procedimiento comenzó con la realización de diluciones 1:50 con agua destilada y su posterior centrifugación durante 10 minutos, obteniendo muestras idénticas a las empleadas para la DQOs. Se empleó para esta técnica la Centrífuga Ortoalresa Unicen 21. Para el análisis, se colocó un vial de digestión de nitrógeno total HI 93767B - B de alto rango para cada muestra diluida y uno que se empleó como blanco. Se añadió un sobre de persulfato de potasio (PERSULFATO/N) en cada vial, junto con 0,5 mL de cada muestra y 0,5 mL de agua destilada en el vial en blanco. Se agitó hasta disolver el contenido granular y se colocaron los viales en un termorreactor a 105 °C durante 30 minutos. Luego, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se añadió un sobre de metabisulfito de sodio (BISULFITO/N) a cada vial, agitando hasta disolver completamente y se procesaron en el termorreactor durante 3 minutos. Después, se añadió un sobre de reactivo de nitrógeno total HI 93767 - 0 a cada vial, se agitó y se procesó por 2 minutos más.

Posteriormente se colocaron tantos viales de digestión de nitrógeno total de alto rango HI 93766V-0HR como muestras había, se añadieron 2 mL del blanco y las muestras del procedimiento anterior, y se agitaron con cuidado debido al calor generado. Se programó el temporizador por 5 minutos, se introdujo

el vial en blanco en el instrumento y se pulsó cero, luego se midió cada vial con las mezclas. El instrumento proporcionó resultados en mg/L de nitrógeno (N), amoníaco ($NH_3$) y nitrato ($NO_3^-$), detectando todas las formas orgánicas e inorgánicas presentes en las muestras.

Sólidos totales (ST) y volátiles (SV)

Los sólidos totales representan la suma de las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles contenidas en una muestra, mientras que los sólidos volátiles representan la fracción orgánica de los sólidos totales. La fracción inerte es conocida como sólidos fijos totales (SFT).

El contenido de ST y SV de las muestras se determinaron mediante el método 2540G de la APHA-AWWA-WPFC. Los medios materiales empleados en este método son crisoles de porcelana, balanza autocalibrante OHASUS Explorer de 0,0001 g de precisión, horno de secado INDELAB y horno de mufla CARBOLITE ELF 14 con precisión de 5 °C. Los crisoles se secaron en un horno a 105 ˚C antes de su uso.

Para la determinación del contenido de sólidos totales de cada muestra, se pesó el crisol previamente secado, se anotó el peso del mismo y se taró la balanza. A continuación, se vertieron 10-15 g de la muestra y se anotó el peso reportado en la balanza. Las muestras fueron colocadas en el horno a 103-105 ˚C durante 24 horas y enfriadas posteriormente a temperatura ambiente. Luego, se pesaron los crisoles y se anotaron los valores obtenidos. Los sólidos totales se calcularon con la ecuación siguiente (Ec. 2):

$$ST\left(\frac{g}{L}\right) = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ seca - peso\ del\ crisol}{peso\ de\ la\ muestra} \cdot 1000 \qquad (2)$$

Las muestras secas, resultantes del procedimiento de sólidos totales, se colocaron en la mufla a 550 °C durante dos horas. Luego, se extrajeron los crisoles y se atemperaron para su posterior pesaje. Se empleó la ecuación 3 para determinar el contenido de sólidos volátiles de las muestras analizadas.

$$SV\left(\frac{g}{L}\right) = ST\left(\frac{g}{L}\right) - \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ calcinada - peso\ del\ crisol}{peso\ de\ la\ muestra} \cdot 1000 \qquad (3)$$

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica contenida en las mezclas fue determinada por la ecuación siguiente (Ec. 4):

$$\mathrm{MO}(\%) = \frac{SV}{ST} \cdot 100 \qquad (4)$$

Se consideró que el porcentaje de carbono representó el 58 % de la materia orgánica por lo que se empleó la ecuación 5 para su estimación.

$$C(\%) = 0{,}58 \cdot MO(\%) \qquad (5)$$

Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Con el nitrógeno total y el carbono obtenidos experimentalmente se determinó la relación C/N de las muestras estudiadas mediante la ecuación siguiente (Ec. 6):

$$C/N = \frac{C(\%)}{N(\%)} \qquad (6)$$

Ácidos grasos volátiles (AGV)

La determinación de los ácidos grasos volátiles contenidos en las muestras se empleó el método estandarizado APHA-AWWA-WPFC.

El procedimiento comienza por la extracción de 20 mL de las muestras mediante una pipeta y su colocación en tubos Falcon de 100 mL. A continuación, se añaden a estos tubos 20 mL de agua destilada, lo que provoca una dilución 1:1 de las muestras. Luego, las soluciones obtenidas se centrifugan a 4200 rpm y 2590 RCF durante 10 minutos. Del sobrenadante de las muestras se extraen 20 mL y se sitúan en

otro tubo Falcon de 100 mL para volver a centrifugarlas bajo los mismos parámetros de operación. Posteriormente se introdujeron 0,5 mL de los sobrenadantes obtenidos de la centrífuga en tubos Eppendorf de 1,5 mL, haciéndolos pasar por filtros Millipore. De las muestras filtradas se extrajeron 0,5 mL para colocarlas en viales de laboratorio. A cada vial se le añadió además 0,4 mL de ácido ortofosfórico diluido y 0,1 mL de fenol de concentración conocida (500-600 mg/L).

Las muestras preparadas se colocaron en un cromatógrafo Shimadzu GC-2010 con inyector AOC-20i, muestreador automático AOC-20s y detector FID. Este equipo posee una columna capilar Nukol de 30 metros, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor que separa los componentes de las muestras según su fuerza ácida. Emplea hidrógeno como gas portador y nitrógeno el gas de fondo, además de una corriente de aire sintético.

El cromatógrafo brinda las concentraciones de ácidos grasos volátiles contenidos en las muestras analizadas, expresadas en mg/L. Los AGV que detecta el equipo son acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico, valérico, isocapróico, caproico y heptanóico. Esta técnica se realizó por duplicado por lo que los resultados obtenidos se promediaron para las muestras de igual naturaleza y, además, se multiplicaron por 4, dado que las diluciones realizadas fueron 1:4. Los resultados se presentaron con las concentraciones de cada compuesto y la acidez total, correspondiente a la suma de todos los equivalentes de ácido acético por litro.

Alcalinidad

La alcalinidad es un parámetro que representa la capacidad de un sistema para neutralizar los ácidos débiles por lo que puede asociarse con los niveles de pH.

Para su determinación se emplea un método colorimétrico ¨ verde de bromocresol ¨. Este procedimiento comienza con la dilución 1:50 de las muestras y su posterior centrifugación. Luego, se introducen 10 mL de la muestra centrifugada en una cubeta de vidrio aforada, se coloca en el espectrofotómetro y se marca la calibración cero. Después se añade 1 mL del reactivo indicador de alcalinidad HI775S a la cubeta y se agita cinco veces. La técnica culmina con la medición de la muestra obtenida en el fotómetro, reintroduciéndola en el instrumento. Tras la lectura, el dispositivo muestra los resultados de alcalinidad en mg/L de carbonato de calcio ($CaCO_3$).

**Experimentación**

Antes de la realización del ensayo BHP se realizó un diseño de experimentos factorial completo que permitió ensayar las interacciones entre las variables de interés y su influencia sobre la producción de hidrógeno con el menor número de corridas experimentales posible.

El inóculo utilizado en el ensayo provino de un digestor anaerobio mesofílico que operaba en condiciones estables en el momento de su toma de muestras y se adaptó a las temperaturas del ensayo durante cinco días para activar los microorganismos. Los experimentos se realizaron en botellas de 250 mL, con 120 mL de mezclas de sustratos e inóculo y 130 mL de espacio para biogás. Se prepararon también dos mezclas de inóculo con agua destilada como control. En total, se utilizaron 16 botellas: 3 réplicas para las mezclas de interés y 2 para los controles. La cantidad de sustrato e inóculo por botella se calculó mediante técnicas de balances de masa. Los resultados de los balances de materiales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Proporciones de las mezclas para el ensayo BHP.

| Nomenclatura | Mezcla | Inóculo | N.º de Botellas |
|---|---|---|---|
| **T+B** | 52,5 mL BWW + 7,5 mL BSG | 60 mL inóculo termofílico | 3 |
| **T+BP** | 52,5 mL BWW + 7,5 mL BSG pretratado | 60 mL inóculo termofílico | 3 |
| **H+B** | 52,5 mL BWW + 7,5 mL BSG | 60 mL inóculo | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | hipertermofílico | |
| **H+BP** | 52,5 mL BWW + 7,5 mL BSG pretratado | 60 mL inóculo hipertermofílico | 3 |
| **C-T** | 60 mL agua destilada | 60 mL inóculo termofílico | 2 |
| **C-H** | 60 mL agua destilada | 60 mL inóculo hipertermofílico | 2 |

Después de preparar las mezclas, se ajustó el pH de cada una al rango de 5-5,5 utilizando HCl y NaOH. Las botellas se sellaron y se purgaron con $N_2$ durante un minuto cada una para crear condiciones anaeróbicas. Luego, se colocaron en incubadoras para mantener los regímenes termofílicos e hipertermofílicos respectivamente, con una agitación constante de 50 rpm. Se realizó una medición diaria de la composición y la presión del biogás generado para evitar la acumulación excesiva de gases. Después de cada medición se despresurizó cada botella. El ensayo se consideró finalizado cuando la producción diaria de hidrógeno fue inferior al 1% del total acumulado hasta el día anterior.

El pretratamiento realizado al bagazo consistió una hidrólisis ácida diluida térmicamente durante 20 minutos a 120 ˚C en una autoclave con una concentración de 7% de BSG y 1,5 % de $H_2SO_4$.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de hidrógeno

La figura 1 muestra la producción acumulada de hidrógeno de las mezclas preparadas durante el tiempo que duró el ensayo BHP.

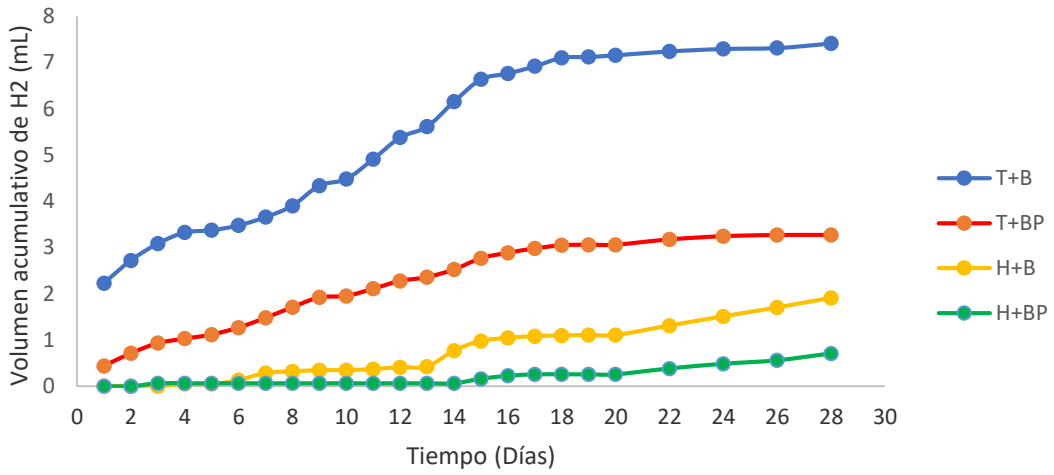



Figura 1: Producción acumulada de hidrógeno de las muestras ensayadas.

En base a los resultados obtenidos, es importante destacar que las muestras que se encontraron en rango termofílico comenzaron la producción con inmediatez mientras que las que se encontraban en rango hipertermofílico sufrieron retraso de 5 a 15 días para comenzar con la producción de hidrógeno. Este retraso se puede atribuir a la naturaleza del inóculo, pues este provenía de un reactor mesofílico y las

temperaturas de operación en hipertermofílico distan mucho de este rango de operación. Es por ello que hubiese supuesto beneficioso para el experimento, un mayor tiempo de adaptación del inóculo.

En cuanto a la producción acumulada de hidrógeno se puede observar un volumen mucho mayor por parte de las muestras en rango termofílico por lo que el incremento de la temperatura disminuye considerablemente la producción de hidrógeno para estos residuos. Por otra parte, también se manifiesta una tendencia de producción menor en las muestras que utilizaron el bagazo pretratado como fuente de alimentación de los microorganismos que intervinieron en el proceso.

La muestra con mayor volumen acumulado durante el ensayo BHP fue la que utilizó el bagazo sin pretratamiento termoquímico en rango termofílico, alcanzando un volumen de 7,10 mL de $H_2$ a los 18 días de evolución del ensayo. Su máxima producción en un día la experimentó el primer día con un volumen de 2,23 mL lo que indica que los sustratos empleados en esta muestra son consumidos rápidamente por los microorganismos.

Las botellas permanecieron en las incubadoras por un período de 28 días. El factor determinante que indicó la finalización del ensayo tuvo lugar cuando la producción diaria de biogás fue inferior al 1% del total acumulado hasta el día anterior. Este criterio de parada se cumplió en las muestras en rango termofílico ya que las muestras en hipertermofílico, a pesar de incrementar su producción durante los últimos días del ensayo, produjeron volúmenes notablemente inferiores. Además, se observó tendencia a la linealidad durante los últimos 10 días del ensayo para estas muestras.

Al finalizar el ensayo BHP, la producción total acumulada promedio de hidrógeno fue 7,41 mL para la muestra T+B, 3,27 mL para T+BP, 1,91 mL para H+B y 0,70 mL para H+BP. El aumento de la temperatura provocó una disminución notable en la producción de hidrógeno de las mezclas. Además, la cantidad de biogás fue afectada por el pretratamiento termoquímico del bagazo.

El efecto del pretratamiento y el rango hipertermofílico de temperaturas simultáneo provoca una producción de hidrógeno inferior al control termofílico, el cual tuvo una producción de hidrógeno acumulada de 1,41 mL aproximadamente. En cambio, el control termofílico tuvo la menor producción del ensayo BHP y la producción de hidrógeno de las mezclas a las mismas temperaturas produjeron las mayores cantidades del producto de interés. La comparación del volumen de hidrógeno acumulado de las muestras respecto a los controles termofílico e hipertermofílico se muestra en las figuras 13 y 14, respectivamente.

**Análisis estadístico**

Se realizaron cuatro pruebas para evaluar el modelo de regresión lineal obtenido en el Statgraphics, todas excluyentes, lo que significa que deben cumplirse todas para considerar el modelo satisfactorio.

El coeficiente de determinación ($R^2$) obtenido fue del 78,92%, indicando una buena capacidad del modelo para representar la variabilidad en los datos.

En el análisis de varianza del modelo, la suma de las sumas de cuadrados de todos los factores del modelo fue similar a la suma total, lo que sugiere que el modelo puede representar los datos. Además, los valores-p de los factores del modelo fueron menores que 0,05, indicando su significancia (tabla 2). Esto se confirmó con el diagrama de Pareto obtenido (figura 2).

Tabla 2: Análisis de varianza.

| Parámetro | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Valor P |
|---|---|---|---|
| **A: Pretratamiento** | 21,66 | 21,66 | 0,0104 |
| **B: Temperatura** | 48,63 | 48,63 | 0,0009 |
| **Error total** | 18,77 | | |
| **Total (corr.)** | 89,06 | | |

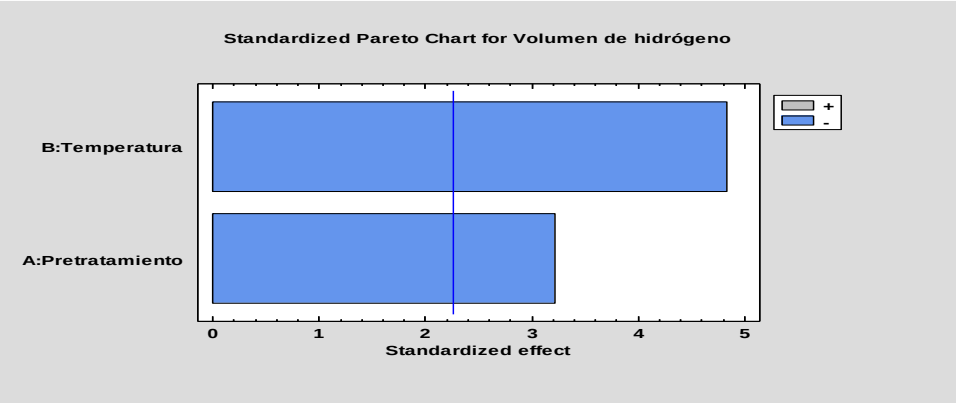



Figura 2: Diagrama de Pareto.

El análisis del estadístico de Durbin-Watson (tabla 2) y el gráfico de residuos sugirieron que no hay correlación serial en los residuos y que el modelo de regresión lineal es apropiado para los datos (Figura 3).

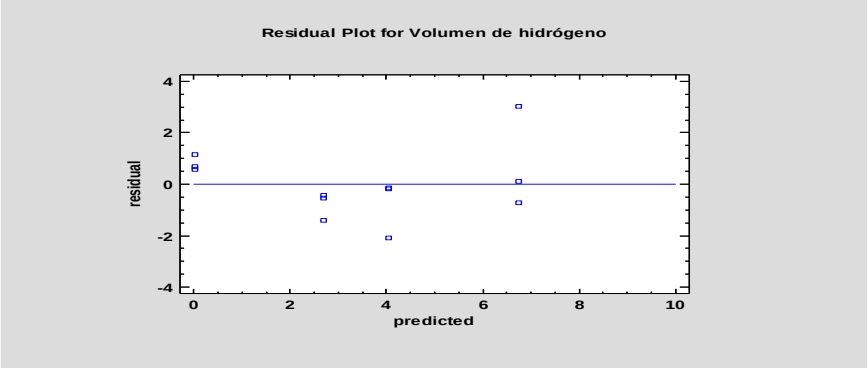


Figura 3: Gráfico de residuos.

Este modelo obtenido por el Statgraphics resultó representativo e indicó que tanto el pretratamiento termoquímico como la operación en rango hipertermofílico tienen una influencia negativa sobre el volumen de hidrógeno producido.

**Evolución de la muestra seleccionada**

Basándose en los resultados obtenidos, se seleccionaron como condiciones óptimas de operación una temperatura de 55 ºC y el uso de bagazo sin pretratamiento termoquímico. Este apartado detalla la evolución de la muestra seleccionada durante el ensayo, la cual constituyó la base para el diseño del reactor anaerobio.

La tabla 3 muestra los resultados de la caracterización que se realizó a la muestra de interés antes de comenzar el ensayo BHP y al finalizar el mismo. Se midieron los mismos parámetros físico-químicos que se utilizaron en la caracterización inicial de los residuos.

Tabla 3: Caracterización inicial y final de la muestra en el ensayo BHP.

| Parámetros | Inicial | Final |
|---|---|---|
| **pH** | 7,67 | 5,17 |
| **DQO t (g/L)** | 45,68 ± 0,56 | 44,00 ± 0,04 |
| **DQO s (g/L)** | 42,89 ± 0,45 | 43,52 ± 0,01 |
| **N (g/L)** | 1,60 ± 0,02 | 1,00 ± 0,02 |
| **ST (g/L)** | 39,80 ± 0,6 | 37,89 ± 0,13 |
| **SV (g/L)** | 33,82 ± 6,00 | 29,24 ± 1,30 |
| **MO (%)** | 84,97 ± 3,00 | 77,17 ± 0,95 |
| **C/N** | 30,80 | 44,76 |
| **AGV (g eq. A. acético/L)** | 0,25 ± 0,01 | 7,08 ± 0,05 |
| **Alcalinidad (g/L)** | 12,25 | 8,20 |

El pH de la muestra no se encontró dentro del rango óptimo para la realización del ensayo BHP, por lo que fue ajustado antes del comienzo del mismo. La elevada alcalinidad la alcalinidad de los residuos llevó a un aumento general del pH del medio por lo que fue necesario realizar un ajuste adicional al décimo día mediante la adición de ácido clorhídrico para estabilizarlo tras la detección de metano.

Los sólidos totales y volátiles disminuyeron levemente con el avance del experimento. Un comportamiento similar se reflejó en la DQOT. En cambio, la DQOS aumentó indicando la transformación efectiva de la materia orgánica. La relación C/N aumentó en las muestras finales hasta 44,76 sin provocar inestabilidad en el ensayo.

La producción total de AGV, proveniente de la suma de las concentraciones de los ácidos grasos volátiles en equivalente al ácido acético, aumentó considerablemente durante el ensayo, como era de esperar. En la figura 4 se evidencia la evolución de las concentraciones de los ácidos grasos medidos mediante la cromatografía.

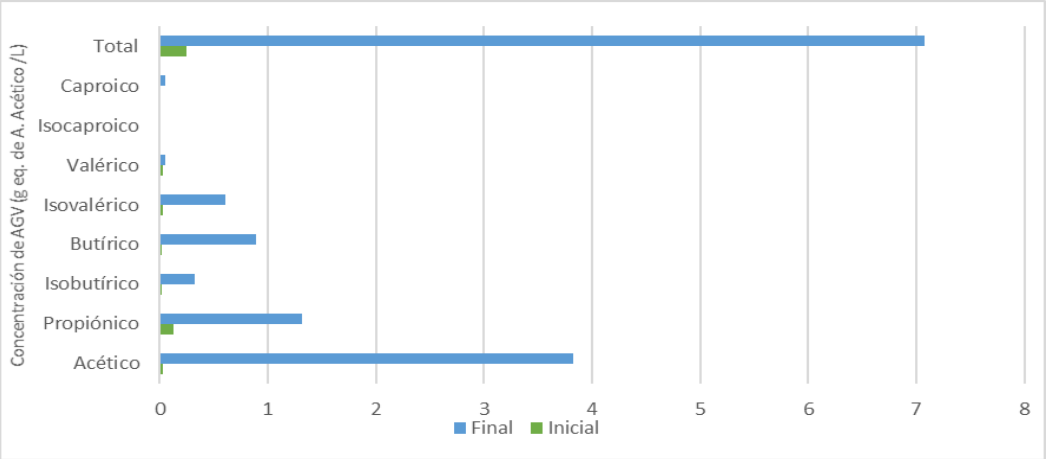



Figura 4: Producción de ácidos grasos volátiles.

En la tabla 4 se muestran los rendimientos de eliminación para la muestra seleccionada durante el ensayo.

Tabla 4: Rendimientos de depuración.

| **Rendimientos** | |
|---|---|
| **Eliminación de ST (%)** | 4,80 |
| **Eliminación de SV (%)** | 13,54 |
| **Eliminación de DQOt (%)** | 3,68 |
| **Eliminación de DQOs (%)** | -1,47 |
| **Hidrolisis (%)** | 95,27 |

Se observaron rendimientos de eliminación positivos de sólidos totales y volátiles, indicando una disminución en la concentración de sólidos a lo largo del ensayo. Esto sugiere una evolución favorable del proceso de hidrólisis y acidogénesis. El rendimiento de depuración de $DQO_T$ resultó positivo y el de $DQO_S$ negativo, comportamiento típico de la fermentación oscura, donde la materia orgánica no se consume significativamente. Además, el rendimiento de hidrólisis resultó positivo, presentando una elevada eficiencia. En general, se aprecian buenos rendimientos bajo estas condiciones de operación, demostrando una eficiencia significativa en el proceso de transformación de compuestos orgánicos en ácidos grasos volátiles y subproductos de la fermentación oscura.

## 4. CONCLUSIONES

1. Para completar el estudio se debe realizar una experimentación en reactores discontinuos utilizando el efluente obtenido en un proceso de digestión anaerobia en condiciones mesofílicas.
2. Se recomienda el estudio de otros pretratamientos para el bagazo para mejorar la producción de hidrógeno.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Cátedra Fundación CEPSA, la cual propició el proyecto de investigación: "Producción de hidrógeno verde, biometano y biofertilizante a través de residuos de la industria cervecera en el marco de la economía circular" en el que se enmarca el estudio realizado. Además, se agradece al Programa de Intercambio y Movilidad Académica (PIMA) de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) y la Universidad de Cádiz por fomentar la asociación entre Cuba y España para la realización de esta investigación.

## 6. REFERENCIAS

1. Abdelghaffar, F. (2021). Biosorption of anionic dye using nanocomposite derived from chitosan and silver Nanoparticles synthesized via cellulosic banana peel bio-waste. Environmental Technology & Innovation, 24, 101852. Disponible en Web: https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101852.
2. Wolcott, S., Endreny, T. A., & Newman, L. A. (2022). Green walls as a novel wastewater treatment option for craft breweries. Ecological Engineering, 184, 106783. Disponible en Web: https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2022.106783.
3. Laçın, K., Çaloğlu, B., & Binay, B. (2023). Anaerobic digestion methods for the production of fuels. En *Bioenergy Engineering* (pp. 201-235). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98363-1.00004-1
4. Stamatelatou, K., Antonopoulou, G., & Michailides, P. (2014). Biomethane and biohydrogen production via anaerobic digestion/fermentation. En Advances in Biorefineries (pp. 476-524). Elsevier. Disponible en Web: https://doi.org/10.1533/9780857097385.2.476.
5. Sillero, L., Solera, R., & Perez, M. (2023). Effect of temperature on biohydrogen and biomethane production using a biochemical potential test with different mixtures of sewage sludge, vinasse and poultry manure. Journal of Cleaner Production, 382, 135237. Disponible en Web: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135237.
6. Sillero, L., Sganzerla, W. G., Forster-Carneiro, T., Solera, R., & Perez, M. (2022). A bibliometric analysis of the hydrogen production from dark fermentation. International Journal of Hydrogen Energy, 47(64), 27397-27420. Disponible en Web: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.083.
7. Capra, Agnese. "Bio-hydrogen and bio-methane potentials of brewery wastewater with brewer's spent grain in batchsequential thermophilic-mesophilic two-stage anaerobic co-digestion". Dierector: Montserrat Pérez. Trabajo de fin de grado, Universidad de Cádiz, Cádiz, 2024.
8. Camargo, F. P., Rabelo, C. A. B. S., Duarte, I. C. S., Silva, E. L., & Varesche, M. B. A. (2023). Biogas from lignocellulosic feedstock: A review on the main pretreatments, inocula and operational variables involved in anaerobic reactor efficiency. En International Journal of Hydrogen Energy (Vol. 48, Número 54, pp. 20613-20632). Elsevier Ltd. Disponible en Web: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.073.

**Sobre los autores**

Luis Osvel Milián Zamora, Profesor adiestrado, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Ingeniero Químico.

Montserrat Pérez García, Profesor catedrático Universidad, Director del Departamento Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, campus Puerto Real-CASEM. Doctor en Ciencias, Investigador titular.

Rosario Solera del Río, Profesor catedrático Universidad, Secretario del Departamento Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, campus Puerto Real-CASEM. Doctor en Ciencias, Investigador titular.

Susana Rodríguez Muñoz, Profesor Auxiliar, Vicedecana de investigaciones y posgrados, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Doctor en Ciencias Técnicas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APLICACION DEL SPECKLE DINÁMICO PARA EL ESTUDIO DE PROCESOS BIOFÍSICOQUÍMICOS EN HOJAS DE PLANTAS

**Juan José Llovera González[1†] Carlos Pupo Palma [2] Sergei Iványovich Lishik [3]**

[1,2]Instituto de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, (CUJAE), Calle 114 No.11901, Marianao CP 19390, La Habana Cuba
[3] Center of LED and Optoelectronic Technologies on the National Academy of Sciences of Belarus, 220090, Minsk, Logoisky trakt, 20, Belarus

[1†]e mail: llovera@icb.cujae.edu.cu [2] e mail: carlosp@icb.cujae.edu.cu [3]e mail**:** sergey.lishik@gmail.com

**RESUMEN**

El fenómeno del speckle o moteado óptico ha sido aplicado recurrentemente para el estudio de procesos biofísicoquímicos en diferentes medios biológicos [2], [3], [4], [5]. El autor ha aplicado esta técnica de ensayo no destructivo para el estudio de procesos de transmisión de impulsos nerviosos en axones [6] y para el estudio del esparcimiento de sustancias tensioactivas en superficies acuosas [7],[8]. En el presente trabajo se muestra una experiencia preliminar de su aplicación para el estudio de procesos biofisicoquímicos en plantas vivas y en proceso de envejecimiento o deterioro a través del análisis de patrones de speckle de sus hojas. Se muestra el sistema experimental utilizado, y el procesamiento de imágenes de los patrones de speckle obtenidos. La técnica tiene potencialidades para explorar otros procesos biofísicoquímicos con diferentes aplicaciones.

**PALABRAS CLAVES:** patrones de speckle, ensayos ópticos no destructivos, procesos fisicoquímicos en medios biológicos, agrobiotecnología.

† autor para correspondencia

## APPLICATION OF DYNAMIC SPECKLE FOR THE STUDY OF BIOPHYSICAL-CHEMICAL PROCESSES IN PLANT LEAVES

**ABSTRACT**

The optical speckle phenomenon for the study of biophysical-chemical processes in different biological media was implemented [2], [3], [4], [5]. The author has applied this non-destructive testing technique to the study of nerve impulse transmission processes in axons [6] and to the study of the spreading of surfactants on aqueous surfaces [7],[8]. This work shows a preliminary experience of its application to the study of biophysical-chemical processes in living plants and in the process of aging or deterioration through the analysis of speckle patterns of their leaves. The experimental system used as well as the image processing of the speckle patterns obtained are shown. The technique has potential to explore other biophysical-chemical processes with different applications.

**KEY WORDS:** speckle patterns, non-destructive optical testing, physicochemical processes in biological media, agrobiotechnology.

† Corresponding author

## 1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno óptico conocido como moteado o speckle ha sido estudiado y aplicado por diversos investigadores desde su descubrimiento. Una explicación simple y bien analizada de este fenómeno se puede encontrar en la obra de Goodman que es autor obligado en este tema [1].

Han sido muchas y muy variadas las aplicaciones que se ha dado a este interesante fenómeno de interferencia de la luz con alto grado de coherencia como lo es la de la radiación laser y aún se continúa investigando como se puede apreciar en diversas publicaciones [2], [3], [4], [5].

Interesantes aplicaciones se pueden apreciar en el estudio del proceso de transmisión del potencial de acción a través de un axón gigante [6] y del esparcimiento del tensioactivo pulmonar que gracias a su componente de dipalmitoilfosfatidilcolina (DPPC) posibilita reducir la tensión superficial en el líquido alveolar [7], [8].

El estudio de patrones de speckle dinámico en la superficie de las hojas de las plantas puede también aportar información acerca de los procesos de nutrición y de enfermedades que en las mismas se pueden producir.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

Para obtener el patrón de speckle se empleó un vidrio delgado de textura superficial finamente rugosa sobre el cual se hace incidir un haz de laser de He-Ne modelo JGQ-250 de fabricación china de longitud de onda 632,8 nm y 2 mW de potencia después de ser expandido por un objetivo de laboratorio de amplificación 20 X como se muestra en el esquema y montaje experimental correspondiente. Ocasionalmente se pueden agregar dos filtros polarizadores según el tipo de estudio a realizar (figura 1).

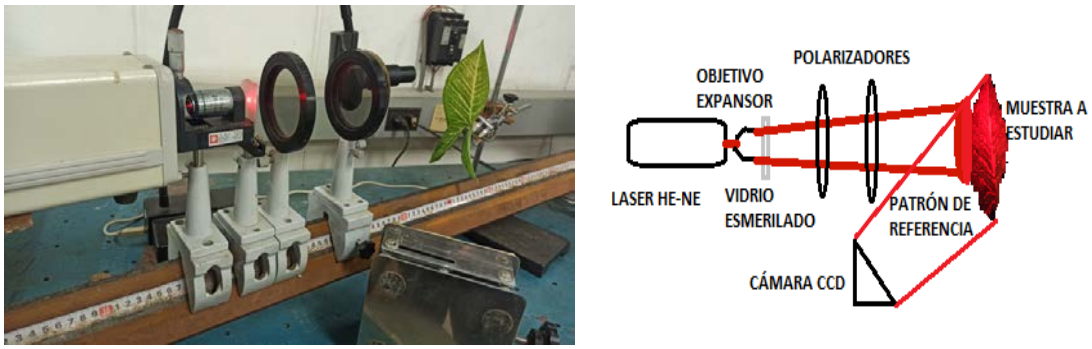



**Fig. 1** Montaje y diseño experimental para obtención de patrones de speckle en el laboratorio de metrología física aplicada en la Cujae.

El método de trabajo consistió en tomar una imagen del patrón de speckle que llega directamente a la hoja objeto de estudio con el laboratorio totalmente oscuro y grabar un video de 10 segundos de dicho patrón que servirá como referencia. El sistema debe estar libre de vibraciones incluyendo la cámara de filmación el patrón para que el patrón sea muy estable y no muestre prácticamente fluctuaciones locales de intensidad de la luz.

Una vez logrado el patrón se ubica la hoja de la planta objeto de estudio de modo que quede fija y sea iluminada totalmente la región óptica de interés (ROI) por el patrón de speckle de modo que las modificaciones imperceptibles en el limbo de la hoja, debidas a los procesos biofisicoquímicos que en la misma ocurren producto de la vitalidad y nutrición de la planta, puedan ser reveladas por cambios en el patrón. Una vez sustraído el patrón de referencia queda solamente la información correspondiente a estos procesos. Se filmó entonces un video de 30 segundos de la imagen de la hoja dada por el patrón resultante, siempre con el laboratorio en total oscuridad.

Todas las imágenes y videos se filmaron con un teléfono celular Redmi Note 8 Pro que dispone de una cámara cuádruple de 64 MP 1/1,7 pulgadas con lente de apertura f/1,9 equivalente a 26 mm, PDAF . Ultra gran angular: sensor de 8 MP con lente de apertura f/2,2 equivalente a 13 mm y cámara macro de 2 MP. Sensor de profundidad de 2 MP. Los videos se grabaron con resolución 1080P (Full HD) a 30 fps.

## 3. PROCESAMIENTO DE LA DATA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran las imágenes correspondientes al patrón de referencia y a la hoja en estudio iluminada por dicho patrón de speckle (figuras 2 y 3)



Fig. 2 Patrón de speckle de referencia



Fig. 3 Imagen de un fotograma del video de la hoja

En el fotograma de la hoja se pueden apreciar la nervadura en su superficie así como la textura de la imagen variable en diferentes zonas del limbo.

Al video tomado se le aplicó un procesamiento de imagen básico empleando algoritmos programados en MatLab (MATLAB 7.9 (R2009b) MatWork Inc. USA) para obtener imágenes de mayor contraste en código de pseudocolores de manera que se destacaran las regiones de la hoja de mayor actividad vital.

Se aplicó el algoritmo de procesamiento LASCA (Laser Speckle Contrast Analisis) consistente en segmentar el video en todos sus fotogramas, convertirlos del formato AVI a color (RGB) a formato en blanco y negro (PMB) y sustraer de cada uno el patrón de fondo para hacer un promedio de orden 3 X 3 a cada fotograma de la muestra de 30 fotogramas del total de estos para aumentar el contraste espacial en las regiones de mayor actividad (figura 4) y posteriormente el algoritmo de procesamiento LASTCA (Laser speckle temporal contrast análisis) que permite promediar el contraste en cada pixel en el tiempo sobre una secuencia de las imágenes como paso previo para revelar la dinámica de los procesos pixel a pixel (figura 5).

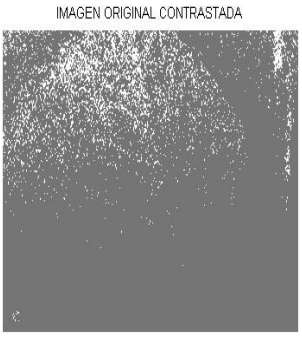



Fig. 4 Imagen original contrastada por LASCA

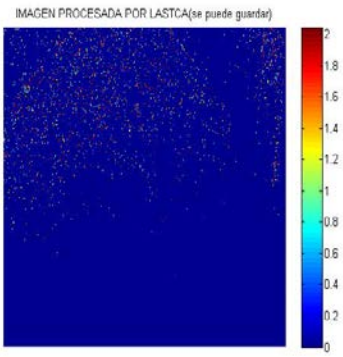



Fig. 5 Imagen procesada por LASTCA

Finalmente haciendo un promedio de las imágenes LASTCA de varias imágenes LASCA, se aplicó el algoritmo sLASCA (spatial laser speckle contrast análisis) donde se pueden revelar aquellas regiones del limbo de la hoja de mayor actividad (figura 6 y 7) caracterizadas por los pseudocolores de la gama roja ya que las regiones en azul son aquellas en que la actividad del proceso es menor o nula lo que se evidencia por el menor o nulo contraste según las escalas de contraste que se muestran [9].

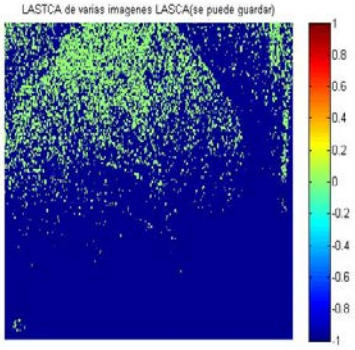



Fig. 6 LASTCA de varias LASCA

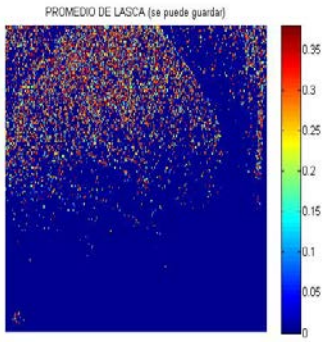



Fig. 7 Promedio de LASCA

Es interesante apreciar que la mayor actividad de la hoja se concentra en el extremo superior del limbo y está dispersa en toda su superficie notándose que en los nervios de la hoja es donde menos actividad se muestra lo que requiere un estudio más completo de este proceso pudiendo estar relacionado con el hecho de que la hoja había sido separada de la planta varios minutos antes por lo que ya la savia probablemente no estaba circulando por la nervadura.

## 4. CONCLUSIONES

Se implementó un método y un sistema óptico para obtener y estudiar patrones de speckle en hojas de plantas y se aplicó en una hoja viva recién separada de la planta.

El procesamiento digital del patrón de speckle obtenido empleando algoritmos simples de morfología de procesamiento digital de imágenes permitió obtener información acerca de las regiones de la hoja en la que se están produciendo los procesos biofísicoquímicos más intensamente en relación con el contraste de las imágenes procesadas. Estudios posteriores podrían permitir analizar la dependencia de estos procesos de las condiciones ambientales y de nutrición de la planta así como la detección temprana de posibles plagas.

El uso de una cámara de un teléfono inteligente permitió obtener un patrón aceptablemente procesable aunque no permite explotar todas las potencialidades del método y la técnica empleados requiriéndose de una cámara CCD de mayor resolución.

La técnica de patrones de speckle dinámicos de ensayo no destructivo demostró una vez más sus potencialidades para la investigación de procesos complejos por su facilidad de implementación y simplicidad en el procesamiento de las imágenes obtenidas.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean reconocer post mortem al Dr. C. Alfredo Basilio Moreno Yeras por su contribución al desarrollo de las técnicas de procesamiento de imágenes de speckle óptico cuyos algoritmos, implementados en una interfaz gráfica de usuario (GUI) específica, facilitaron el procesamiento digital de las imágenes obtenidas.

Esta investigación forma parte del proyecto INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA EVALUAR EL ESTADO FISIOLÓGICO DE LAS PLANTAS MEDIANTE PATRONES DE SPECKLE auspiciado por las academias de ciencias de Cuba y de Belarus.

**REFERENCIAS**

1. GOODMAN J. W. Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications, SPIE Press monograph, 2020

2. RAJAGOPALAN UM, WAKUMOTO R, ENDO D, HIRAI M, KONO T, GONOME H, *"Demonstration of laser biospeckle method for speedy in vivo evaluation of plant-sound interactions with arugula"*. PLoS ONE 16 (10): e0258973. 2021, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258973.

3. MARWAH AL-OGAIDI, Ali A. Al-Temeemy *"Bio-Speckle Laser Technology In Revealing Microbial Radial Growth: A Review"*, Pak. j. Life Soc. Sci. 2024, 22(1): 1890-1901.

4. D'JONSILES, M. F, Galizzi, GE, Dolinko, AE et al. *"Estudio óptico de la actividad del biomoteado láser en hojas de Jatropha curcas L: una evaluación no invasiva e indirecta de la colonización de endófitos foliares"*. Progreso de Mycol 2020, 19, 339–349.

5. MOHAMMAD R. Riahi, Hamid Latifi, and Mohsen Sajjadi, *"Speckle correlation photography for the study of water content and sap flow in plant leaves"*, APPLIED OPTICS October 2006, Vol. 45, No. 29

6. LLOVERA-GONZÄLEZ, J. J. et. al. *"Dinámica no lineal en patrones de speckle durante la transmisión del potencial de acción"* Rev. Cub. Fis. 2014, 31 No 1 E, E94

7. LLOVERA-GONZÄLEZ, J. J. et. al. *"Speckle patterns during the spreading of lung surfactant*", Proc. of SPIE 2013, Vol. 8785 8785DI-1

8. LLOVERA-GONZÁLEZ, J. J. et. al. *"Study of the spreading of dppc in different concentrations applying optic techniques of dynamic speckle"*, Rev. Cub. Fis. 2017, 34, pp.163

9. MATTHIJS Draijer, et. al. *"Review of laser speckle contrast techniques for visualizing tissue perfusion"*, Lasers Med Sci. 2009 24:pp. 639–651

**Sobre los autores**

**Juan José Llovera González**, Dr, C, es Profesor Titular Consultante y metodólogo del Instituto de Ciencias Básicas de la Cujae. Es miembro del Consejo Científico de dicha Universidad y vicepresidente de la Sociedad Cubana de Física para la sección de Enseñanza de la Física. Es autor de diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Ha desarrollado investigaciones en óptica aplicada, específicamente en la obtención y procesamiento de patrones de speckle óptico para el estudio de procesos en sistemas biológicos y coloidales. Ha dirigido una tesis de maestría aplicando métodfos ópticos de ensayos no destructivos e investigaciones conjuntas en estancia posdoctoral con especialistas de la Universidad de Sao Paulo, Brasil y con el INSA (Tolousse, Francia) Proyecto REDAS CITMA-INSA en la aplicación del speckle con diversos fines.

**Carlos Pupo Palma**, M, Sc es profesor auxiliar en el departamento de Física de la Cujae y segundo jefe de departamento. Sus investigaciones han sido en aplicaciones tecnológicas del laser obteniendo publicaciones y premios de carácter nacional.

**Lishik Serguéi Ivánovich**, Candidato en ciencias técnicas. Es director de la Empresa Unitaria Científica y de Producción Republicana "Centro de LED y Tecnologías Optoelectrónicas de la Academia Nacional de Ciencias de Bielorrusia", ha desarrollado investigaciones en la aplicación de la óptica y la optoelectrónica para el desarrollo de dispositivos LED y sus aplicaciones en medios y procesos biológicos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# AFECTACIONES POR CORROSIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO PRMARIO DE CRUDO

**Juan José Camejo Giniebra**

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana, Av. 114 Nº 11901, Marianao, La Habana, Cuba
e-mail: jjcamejog@gmail.com

**RESUMEN**

El petróleo crudo es una emulsión agua en aceite no corrosiva, pero sí lo es cuando esta se rompe y el agua se separa con un alto contenido salino, así como gases corrosivos disueltos. Para hacer posible su utilización como combustible, se hace necesario la reducción del contenido de agua en el petróleo y en correspondencia de las sales y gases corrosivos disueltos en ella. Esto se logra en las instalaciones para el tratamiento primario del petróleo como la Batería de Tratamiento de Boca de Jaruco. En este trabajo se exponen los resultados obtenidos del análisis y evaluaciones realizadas en esta planta para caracterizar el nivel de deterioro provocado por la corrosión, así como sus principales causas. Para su realización se desarrolló la siguiente metodología: caracterización tecnológica del proceso, y del medio físico en el área donde está ubicada la planta; inspección visual para la evaluación del grado de deterioro de los diferentes componentes de la instalación por la acción corrosiva de la atmósfera; recopilación de información sobre las afectaciones provocadas por la corrosión interior de recipientes (tanques) y tuberías del proceso tecnológico; evaluación experimental de la agresividad corrosiva de las aguas obtenidas del petróleo en las diferentes etapas del proceso. Se concluyó que el alto grado de deterioro por corrosión, tanto exterior como interior, del equipamiento, está determinado por la agresividad de los medios corrosivos con que están en contacto, unido a la no aplicación de las medidas de prevención y control de la corrosión requeridas.

**PALABRAS CLAVES:** Petróleo crudo, tratamiento primario, agua de capa, corrosión

## CORROSION DAMAGE IN A CRUDE OIL PRIMARY TREATMENT PLANT

**ABSTRACT**

Crude oil is a water-in-oil emulsion that is non-corrosive, but it becomes corrosive when the emulsion breaks and the water separates with a high saline content, as well as dissolved corrosive gases. To make its use as fuel possible, it is necessary to reduce the water content in the oil, along with the corresponding salts and dissolved corrosive gases. This is achieved in primary oil treatment facilities, such as the Boca de Jaruco Treatment Battery. This paper presents the results obtained from the analysis and evaluations carried out at this plant to characterize the level of deterioration caused by corrosion, as well as its main causes. The following methodology was developed: technological characterization of the process and the physical environment in the area where the plant is located; visual inspection to assess the degree of deterioration of the various components of the facility due to atmospheric corrosion; collection of information on the damage caused by internal corrosion in vessels (tanks) and pipelines of the technological process; and experimental evaluation of the corrosive aggressiveness of the water obtained from the oil at different stages of the process. It was concluded that the high degree of deterioration due to both external and internal corrosion of the equipment is determined by the aggressiveness of the corrosive environments they are in contact with, coupled with the lack of application of the required corrosion prevention and control measures.

**KEYWORDS:** Crude oil, primary treatment, formation water, corrosion

## 1. INTRODUCCIÓN

La corrosión es un fenómeno de oxidación espontáneo que se presenta prácticamente en todos los materiales metálicos utilizados por el hombre. Si bien existen varias definiciones, es común describir la corrosión como el deterioro de los materiales metálicos por la acción química o electroquímica del medio con el que se encuentran en contacto, provocando la pérdida de su valor de uso. Este fenómeno tiene implicaciones industriales (económicas), sociales y medio ambientales muy importantes; el deterioro, o sea la pérdida de propiedades requeridas de los materiales metálicos con los que se construyen equipos, aparatos, recipientes y componentes, provoca interrupciones en actividades fabriles, o sea paradas parciales o totales de plantas, pérdida de productos, reducción en la eficiencia de los procesos, mantenimientos y sobre diseños costosos, así como la contaminación ambiental en el interior y exterior de las instalaciones. Se estima que los gastos atribuidos a los daños por corrosión representan entre el 3 y el 5 por ciento del producto interno bruto de los países industrializados [1, 2].

Según su naturaleza o mecanismo general, la corrosión puede ser de tipo química o electroquímica. La corrosión química se presenta cuando los metales están en contacto con medios no electrolíticos, como es el caso de gases a altas temperaturas, sales fundidas, solventes orgánicos, etc., la oxidación del metal y la reducción del oxidante se produce directamente en un solo acto. La corrosión electroquímica se presenta cuando los metales entran en contacto con disoluciones electrolíticas que contienen agentes oxidantes capaces de reducirse provocando la oxidación del metal, Sobre la superficie metálica en contacto con la disolución electrolítica se forman infinitas micro celdas galvánicas en las que la oxidación del metal se produce en puntos de la superficie que funcionan como ánodo, mientras que la reducción del agente oxidante se produce en los puntos de la superficie metálica que funcionan como cátodos, donde toma los electrones cedidos por el metal al oxidarse. Hay un flujo de corriente entre ánodos y cátodos. Según su morfología la corrosión electroquímica puede ser generalizada cuando se produce con igual o similar velocidad sobre toda la superficie metálica, o sea que las zonas o puntos anódicos y catódicos se distribuyen por igual sobre la misma, por lo que la pérdida de masa y disminución de espesor o profundidad del ataque corrosivo es igual o similar sobre toda la superficie o estructura expuesta, o puede ser localizada, cuando la oxidación del metal se produce en determinado punto o zona de la estructura que actúa como ánodo, mientras que el resto funciona como cátodo. Se produce entonces la intensificación de la disolución del metal (corrosión) en las zonas anódicas, con un área menor que el área catódica, por tanto, mayor densidad de corriente anódica. La corrosión localizada puede presentarse sin y con efectos mecánicos. Sin efectos mecánicos: corrosión picadura, corrosión galvánica por par metálico, corrosión galvánica por celdas de concentración (intersticial, bajo depósito), selectiva, intercristalina y otras. Con efectos mecánicos, o sea cuando la pieza, componente o estructura que se corroe está sometida a una carga o fuerza física, ejemplos: corrosión rotura por tensión, corrosión fatiga, corrosión cavitación, corrosión rozamiento [2, 3].

Los gastos por corrosión aumentan con el incremento de la humedad relativa, salinidad y presencia de otros contaminantes de la atmósfera. Estudios realizados en Cuba permitieron definir los niveles de salinidad presentes en la atmósfera, según la velocidad de deposición de cloruros, así como su agresividad corrosiva en las diferentes zonas del país, lo que, con evaluaciones complementarias, permitió la confección del mapa de agresividad corrosiva de la atmósfera. Los niveles de salinidad son: Baja salinidad: zona a más de 3 km de la costa norte o más de 1 km de la costa sur. Media salinidad**;** zona de 1-3 km de la costa norte y hasta 1 km de la costa sur. Alta salinidad: zona comprendida hasta menos de 1 km de la costa norte donde existen rompientes y libre acceso del aerosol marino. Por lo general, los valores máximos se alcanzan hasta 0,25 km de la costa norte.

Los niveles de agresividad corrosiva de la atmósfera cubana según la norma ISO 9293 son: Extrema: hasta 1 km de la costa norte, en zonas no apantalladas (mayor que C5). Alta: franja de 1 a 3 km de la costa norte y hasta 1 km de la costa sur (categoría C4-C5). Media: más de 3 km de la costa norte y más de 1 km de la costa sur, hasta 20 km de ambas costas y zonas montañosas (categoría C4). Baja: más de 20 km de ambas costas (categoría C3) [4].

En la Tabla 1 aparecen los rangos de velocidad de corrosión (CR) ($g/m^2$) para los diferentes niveles o categorías de corrosividad atmosférica (C1 a C5) establecidos por la ISO 9293. En la última fila se indican los valores de velocidad de corrosión atmosférica obtenidos en determinadas zonas de la costa norte cubana en áreas no apantalladas (corrosividad extrema), especialmente en la región occidental y central que, como puede apreciarse, son superiores a las correspondientes de la categoría C5 de la ISO 9293.

Tabla 1. Velocidad de corrosión atmosférica (CR; $g/m^2$) de algunos metales en el primer año de exposición, según las categorías de corrosividad establecidos en la norma ISO 9223

| **Categoría** | **Acero** | **Cobre** | **Aluminio** | **Cinc** |
|---|---|---|---|---|
| **$C_1$** | CR ≤10 | CR ≤ 0,9 | inapreciable | CR ≤0,7 |
| **$C_2$** | 10 < CR ≤ 200 | 0,9 < CR ≤5 | CR ≤ 0,6 | 0,7 < CR ≤ 5 |
| **$C_3$** | 200 < CR ≤ 400 | 5 < CR ≤ 12 | 0,6 < CR ≤ 2 | 5 < CR ≤15 |
| **$C_4$** | 400 < CR ≤ 650 | 12 < CR ≤ 25 | 2 < CR ≤ 5 | 15 < CR ≤ 30 |
| **$C_5$** | 650 < CR <1500 | 25 < CR< 50 | 5 < CR < 10 | 30 < CR < 60 |
| $C_6$ (Cuba) | >1500 | >50 | >10 | >60 |

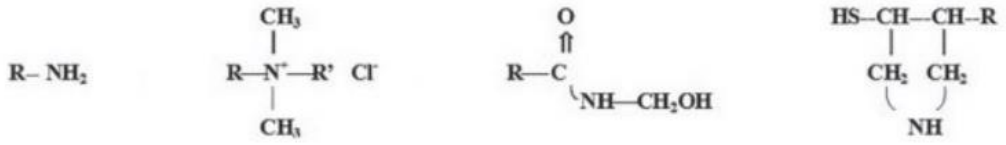
Además de cuantiosas pérdidas económicas, la corrosión de estructuras metálicas provoca importantes afectaciones ecológicas tales como: disminución de los recursos naturales como resultado de la necesidad de obtener materiales con alta resistencia química y para la sustitución de los equipos y/o componentes deteriorados, contaminación de ecosistemas con metales pesados indeseables, contaminación de los suelos, aguas subterráneas, aguas superficiales y de la atmósfera debido al derrame de líquidos o fuga de gases tóxicos y/o inflamables, y otras importantes afectaciones al medio ambiente. [5, 6].

Entre las principales causas por las cuales se produce la aceleración de la velocidad de diferentes formas de corrosión respecto a las previstas, se encuentran las siguientes: errores en la construcción de las instalaciones; especificación inadecuada de los materiales; diseño erróneo o introducción de modificaciones en el diseño inicial; funcionamiento incorrecto de la planta: falta de seguimiento del manual de operaciones (o la no existencia de dicho manual); no aplicación o aplicación incorrecta o incompleta de los sistemas de prevención y control; insuficiente inspección y/o mantenimientos.

Como se conoce, el petróleo crudo es una emulsión tipo agua en aceite que puede contener hasta un 60 % en volumen de agua, 80-87% de carbono, 10-15% de hidrógeno, 0-10% de sulfuro, y aproximadamente un 0-2% de nitrógeno, 0-5% de oxígeno, 0.1 % de sales y minerales y menos de 0,1% de metales. La emulsión no resulta corrosiva debido a que la fase aceite (petróleo) forma una película protectora sobre las superficies de equipos y recipientes contenedores. La situación cambia drásticamente cuando se rompe la emulsión y el agua se separa con un alto contenido de sulfuros ($S^{=}$): hidrógeno carbonatos ($HCO^{3-}$): carbonatos ($CO^{3=:}$); cloruros ($Cl^{-}$): sulfatos ($SO_4^{2-}$), así como gases disueltos: sulfuro de hidrógeno ($H_2S$); dióxido de carbono ($CO_2$) y oxígeno ($O_2$). Esta agua a la que se denomina indistintamente agua de capa, de formación o acompañante, resulta altamente corrosiva. En los procesos de extracción, procesamiento y transportación del petróleo y sus derivados, el $CO_2$ y el $H_2S$ son considerados, por la mayoría de los investigadores, como las especies corrosivas más importantes y contra las cuales es necesario emplear diversos métodos para el control de la corrosión. Son especies químicas que están en equilibrio con las tres fases presentes en los crudos: petróleo, agua y gas, por lo que las cantidades de $CO_2$ y $H_2S$ en cada fase están relacionadas, pero con concentraciones diferentes dadas por las solubilidades correspondientes a cada fase. Para hacer posible su utilización en procesos de destilación o como combustible, se hace necesario la reducción del contenido de agua en el petróleo y en correspondencia de las sales y gases ($H_2S$ y $CO_2$) corrosivos disueltos en ella. Esto se logra en las plantas de tratamiento primario mediante el tratamiento del crudo en recipientes o equipos especialmente construidos para la eliminación de agua de capa, como son los tanques separadores con serpentines o cajetines de calentamiento, Para su comercialización el contenido de agua en el petróleo no debe ser superior al 2 %, según lo establecido por

Cuba Petróleo como indicador de calidad. Aun así, ya en las refinerías de petróleo se acostumbra a realizar una extracción final con ayuda de "desaladoras".

Una de las vías más importante en el combate anticorrosivo de estos sistemas es la utilización de métodos químico tecnológicos y especialmente de la adición de inhibidores de corrosión. No por casualidad es la industria petrolera la mayor consumidora de estos productos a nivel mundial. Ellos se aplican en casi todas las etapas del proceso petrolero, desde su perforación extracción y tratamiento primario, pasando por su almacenamiento y transportación, y concluyendo con todas las operaciones de refinación. Se han desarrollado un gran número de estos productos a partir de la segunda mitad del siglo XX y con estructuras o naturaleza variadas, aunque siempre respetando los criterios básicos. Así se encuentran aminas, amidas, aminoácidos, imidazolinas, compuestos piridínicos, derivados del ácido abiético o la colofonia, sulfocompuestos, sustancias sulfonadas, fosfonadas, etc. Algunas estructuras globales se muestran a continuación [2]:




Un ejemplo de aplicación de productos de este tipo, es la utilización del inhibidor de base piridinica, en la planta de tratamiento de crudo Yumurí, producido en Canadá y comercializado como NDCW 800 CORR INHIB PT 985 L En los últimos años se han aplicado recubrimientos orgánicos para la protección de fondos y parte inferior de las paredes de tanques de tratamiento en contacto con el agua acmpañante separada del petróleo. Es el caso de las pinturas epoxi fenólicas, que han resultado un recubrimiento duradero de manera que se han producido sistemas que, a los 10 años, solo en el 1% del área recubierta aparecen puntos de inicio de corrosión, siempre quese cumplan las condiciones técnicas requeridas durante su aplicación.

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos del análisis y evaluaciones realizadas para caracterizar el nivel de deterioro provocado por la corrosión, así como sus principales causas, en la Batería de Tratamiento de Crudo de Boca de Jaruco, en el litoral norte de la provincia de Mayabeque.

## 2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para la realización de este trabajo se desarrolló la siguiente metodología:1. Caracterización tecnológica del proceso: precisión del flujo tecnológico, parámetros de operación tales como: temperatura, presión, composición y volumen o cantidad de flujo; materiales empleados en la construcción de los principales equipos; 2. Caracterización del medio físico en el área donde está ubicada la instalación (entorno interior y exterior). 3. Inspección visual para la evaluación del grado de deterioro de los diferentes componentes de la instalación por la acción corrosiva de la atmósfera. 4. Recopilación de información sobre las afectaciones provocadas por la corrosión interior de recipientes (tanques) y tuberías del proceso tecnológico. 5. Evaluación experimental de la agresividad corrosiva de las aguas que se obtienen en las diferentes etapas del proceso de tratamiento.

En la Fig. 1 se presenta una vista general de la Batería Boca de Jaruco, que se encuentra a menos de un km de la costa norte, en el km 41 de la Vía Blanca, situada a solo unos metros al norte de la misma, al este de la planta ENERGAS y al oeste del poblado de Boca de Jaruco, perteneciente al municipio Santa Cruz del Norte de la provincia Mayabeque. El área donde se encuentra ubicada la instalación, desde el punto de vista geólogo geomorfológico, corresponde a las Alturas y Llanuras del Norte de La Habana – Matanzas.



Figura 1. Vista general de la planta

En la Fig. 2 aparece un esquema del flujograma simplificado del proceso que se describe a continuación: la producción de petróleo crudo de los pozos de los yacimientos llega a la Batería de Tratamiento y Comercialización mediante carros cisternas y el oleoducto del Centro Colector de Boca de Jaruco. El petróleo crudo que entra por carros cisternas pasa por la Balanza de Precisión y posteriormente es descargado en la piscina de recepción de 200 $m^3$ (4 tanques de acero comunicados entre sí, cada uno con dos serpentines, construidos con acero ASTM A-36), donde recibe el tratamiento térmico inicial, hasta una temperatura aproximada de 60 ºC [7].

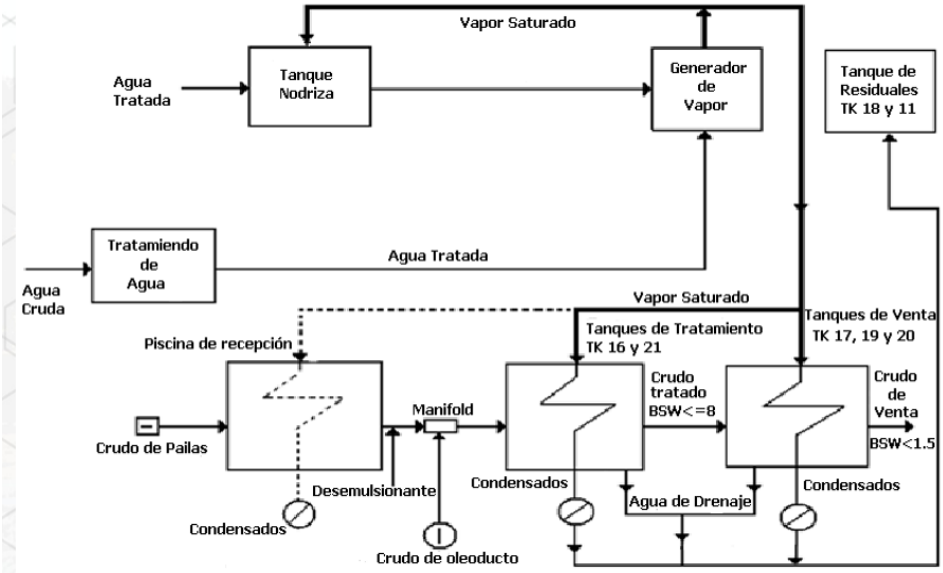



Figura 2. Esquema del flujograma simplificado del proceso tecnológico en la batería

.De la piscina, pasa a través de la casa de bombas, donde se le añade la sustancia tensoactiva en la succión de las bombas, con la propiedad de mezclarse en el petróleo crudo; logrando disminuir la tensión superficial en el contacto agua – petróleo posibilitando la coalición de las partículas de agua durante el proceso de reposo y su decantación por gravedad. El petróleo dosificado se une con el que viene del centro colector (que también viene dosificado) en el manifold central, para posteriormente entrar a los tanques tecnológicos o de tratamiento (TK 16 y 21, este último fuera de servicio), dichos tanques tienen un "colchón de agua" a través del cual pasa el petróleo que entra al mismo. En este tanque se inyecta el vapor en el colchón de agua a 75 ºC mediante el distribuidor de vapor. Este tanque tiene una capacidad de 5000 $m^3$. Del tanque tecnológico, el petróleo, ahora con 70 ºC y un contenido de agua (BSW) de 2%, pasa por reboso a los tanques de proceso y venta (TK 17, 19 y 20) donde se le da el tratamiento térmico final, después el producto queda en reposo hasta lograr los valores de calidad requerida para su posterior comercialización (1,5% de BSW), determinando en el área de la pesa el volumen a vender. Estos tanques tienen 2000 $m^3$ de capacidad y además, todos están construidos de acero ASTM A-36.

El agua separada del petróleo tratado, pasa por el proceso de desnatado, tanque (TK 18), denominado de residuales, con capacidad de 2000 $m^3$, donde se recepciona el agua (mezcla de agua-petróleo) que se drena del resto de los tanques de la planta. En este tanque se da un tiempo de residencia para favorecer la separación de esta mezcla. El petróleo se recircula al tanque tecnológico de tratamiento (TK 16) y el agua es inyectada al pozo de inyección, impulsado con las bombas de la casa de bombas de residuales. Las líneas de los residuales, están construidas de acero ASTM A-106 Gr.B.

Para caracterizar la agresividad corrosiva del agua que se obtiene en las diferentes etapas del proceso de tratamiento del crudo, se procedió a la evaluación de la velocidad de corrosión del acero 20 (AISI-ASTM 1020) en aguas obtenidas en los tanques tecnológicos, de proceso y venta y el tanque de residuales, aplicando el método electroquímico "resistencia de polarización", que permite evaluar la corriente de corrosión electroquímica generalizada y, a partir de ella, la velocidad de corrosión en términos de pérdida

de masa (DP; g/m$^2$h) y de espesor (DE; mm/año). en el caso de control por transferencia de carga en el proceso anódico y catódico, la corriente de corrosión se determina mediante la ecuación (1) [2, 3]:

$$i_{cor} = \frac{1}{2{,}3}\left(\frac{b_a \cdot b_k}{b_a + b_k}\right)\frac{\Delta i}{\Delta E} \qquad (1)$$

$b_a$ y $b_k$: son las pendientes de las rectas anódicas y catódicas obtenidas al graficar log IiI *vs* E, y $\Delta i/\Delta E$ (Fig. 3) es la pendiente de la recta que se obtiene en ± 10 mV a partir del potencial de corrosión ($E_{co}$).

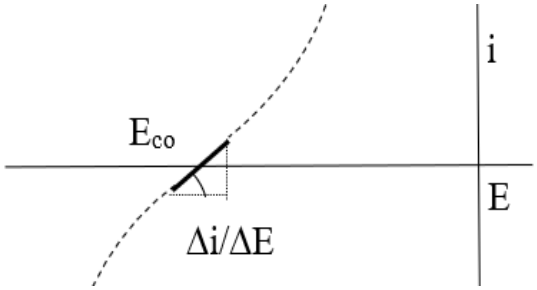



Figura 3. Evaluación de Δi/ΔE (1/Rp) en la curva de polarización i vs E

Rp: resistencia de polarización

## 3. ANÁISIS DE RESULTADOS

**Corrosión exterior**

En las estructuras y partes exteriores de, equipos y aparatos de la planta se aprecia un alto grado de deterioro por corrosión lo que evidentemente, está determinado por las características de la atmósfera en el área que ocupa la misma a menos de un km de la costa norte, zona no apantallada, en la que el nivel de salinidad es alto y velocidad de corrosión extrema, como se indicó más arriba (ver Tabla 1). Además de la salinidad hay que considerar la contaminación de la atmósfera por la presencia de gases emitidos en la propia instalación como el $CO_2$ y $SO_2$ por la combustión en el área de calderas y en otras instalaciones, relativamente cercanas a la Batería, como son la termoeléctrica de Santa Cruz y la planta ENERGAS. Como se conoce, estos gases al disolverse en la capa de humedad depositada sobre la superficie metálica, disminuyen su pH y aceleran el proceso de corrosión de los metales. Hay que indicar que en el área se percibe permanentemente el olor característico del sulfuro de hidrógeno lo que evidencia la presencia de este gas como contaminante atmosférico. A su presencia en la atmósfera contribuye la corrosión que se produce en el techo o tapa de los tanques hasta su perforación. En la Fig. 4 puede apreciarse claramente el alto grado de deterioro del techo de la casa de bombas, construido de acero cincado. (imagen izquierda), así como del tanque de tratamiento (TK 21) en el que el borde externo superior, la baranda, y escalera se deterioraron hasta niveles extremos, lo que unido al alto grado de deterioro interior que presentaba, determinó que saliera de servicio, siendo utilizado solo el TK 16, después de haber sido detenido y sometido a una reparación capital para resolver el alto grado de deterioro por corrosión, interior y exterior, que presentó.

Los tanques de proceso y venta mostrados en la Fig. 5, presentan los mismos problemas de deterioro exterior por la acción corrosiva de la atmósfera que los tanques tecnológicos de tratamiento, aunque con menor grado de deterioro.



Figura 4. Imágenes que muestran el deterioro del techo de acero cincado de la casa de bombas (izquierda) y el borde superior y barandas del tanque de tratamiento TK 21



Figura 5. Tanques de proceso y venta

Externamente se pueden apreciar las capas de óxidos de hierro y partes de sus estructuras como las barandas están debilitadas puesto que presentan pérdida de espesor en varias de sus partes por lo que deben ser intervenidos con acciones de mantenimiento y reparación antes de que alcancen el estado de deterioro del TK 16.

**Corrosión interior**

Además del tanque tecnológico de tratamiento TK 21 que, como ya se indicó, fue necesario someterlo a una reparación capital para su recuperación debido a su alto grado de deterioro por corrosión exterior y, fundamentalmente, interior, por la acción corrosiva del agua acompañante (de capa) también fue necesario la sustitución del tanque de residuales por las mismas causas.

En la Fig. 6 se muestra una vista del tanque de residuales TK 18. En este tanque, externamente, no se aprecian los niveles de afectación por corrosión que se aprecian en los anteriores, pero interiormente se ha alcanzado un alto grado de deterioro por la acción corrosiva del agua residual, que ha producido perforaciones en la parte inferior de las paredes, por lo que se decidió proceder al montaje de un nuevo tanque para la sustitución del existente.



Figura 6. Tanque de desnatado (de residuales) TK 18

También han tenido que ser reparadas, después de haberse producido los correspondientes derrames, las tuberías por las que circulan las aguas procedentes de los diferentes tanques hasta el de residuales, así como de este al pozo de inyección, como se muestra en la Fig. 7.



Figura 7. Tramos de tubería de residuales reparadas

En los tanques la acción corrosiva del agua acompañante se produce en la parte inferior de los mismos, o sea en el fondo y en las paredes, hasta la altura a la que están en contacto con la misma. Para caracterizar la agresividad corrosiva de las aguas en las diferentes etapas del proceso, se tomaron muestras de las mismas en los diferentes tanques, se determinó su composición y se evaluó la magnitud de la velocidad corrosión de las mismas en acero 20, utilizando el método experimental electroquímico de resistencia de polarización.

Los principales componentes de las aguas para las que se evaluó la velocidad de corrosión en acero 20, son los siguientes:

Tanque tecnológico: ($S^{=}$: 1054; $HCO^{3-}$ : 5710; $CO^{3=:}$ 1151; $Cl^{-}$ : 12046; $SO_4^{2-}$ : 318 mg/l; pH = 8, 9)
Tanque proceso y venta: ($S^{=}$: 894; $HCO^{3-}$ : 4246; $CO^{3=:}$ 1343; $Cl^{-}$ : 11796; $SO_4^{2-}$ : 498 mg/l; pH = 9,1)
Tanque de residuales: ($S^{=}$: 656; $HCO^{3-}$ : 3807; $CO^{3=:}$ 1726; $Cl^{-}$ : 16994; $SO_4^{2-}$ : 706 mg/l; pH = 9,1)

En la Tabla 2 se presentan los valores de las pendientes ($b_a$) y ($b_k$) de las rectas obtenidas mediante el ajuste de los puntos correspondientes a los gráficos log IiI ***vs*** E, de la resistencia de polarización ($R_p$) y de la corriente de corrosión, según la ecuación (1), así como las velocidades de corrosión en términos de DP y DE:

Tabla 2: Velocidades de corrosión del acero 20, obtenidas por el método de resistencia de polarización en las tres aguas de capa evaluadas

| **Agua** | **$b_a$ (mV)** | **$b_k$ (mV)** | **$R_p$ (mV/µA)** | **$I_{corr}$ (µA)** | **DP ($g/m^2h$)** | **DE (mm/año)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tanque tecnológico** | 7,16 | 240,58 | 0,90 | 17,4 | 0,18 | 0,20 |
| **Tanque proceso y venta** | 6,19 | 293,23 | 1,94 | 10,6 | 0,11 | 0,12 |
| **Tanque agua residual** | 9,51 | 166,51 | 0,75 | 25,4 | 0,27 | 0,30 |

Los valores relativamente altos, de velocidad de corrosión obtenidos para el acero 20, se corresponden con bajo nivel de estabilidad corrosiva de los metales, lo que indica la necesidad de proceder a su protección anticorrosiva. Puede apreciarse que en el agua procedente del tanque tecnológico de tratamiento y. especialmente, en el de agua residual, se alcanzan velocidades de corrosión apreciablemente superiores a la que se alcanza en la de los tanques de proceso y venta, lo que se corresponde con el hecho de que los primeros fueron los más afectados por la corrosión interior hasta hacer necesario su reparación capital (TK 21) o sustitución (TK 18).

## 4. CONCLUSIONES

1, En todos los componentes del proceso tecnológico se han producido importantes afectaciones por corrosión exterior y/o interior.

2. Las estructuras metálicas y partes exteriores de equipos y aparatos de la planta alcanzaron un alto grado de deterioro, resultado de la acción corrosiva de la atmósfera que, en la zona en que se ubica la instalación, clasifica de corrosividad extrema, unido a las insuficientes acciones realizadas para mantener su integridad mediante la implementación de medidas de prevención y control de la corrosión.

3. Las velocidades de corrosión alcanzadas para el acero 20 en contacto con las aguas obtenidas en las diferentes etapas de tratamiento del crudo procesado en la planta, indican que debe aplicarse alguno de los métodos de prevención y control de la corrosión que se utilizan en estos procesos como son la inyección de productos inhibidores de la corrosión, o la aplicación de recubrimiento protector en la zona inferior de los tanques

4. La no aplicación de medidas de prevención y control de la corrosión, resultó en la necesidad de proceder a la reparación capital del tanque de tratamiento TK 16 de 5000 $m^3$ y la sustitución del tanque de residuales TK 18, que recibe el agua drenada de los tanques de tratamiento y de proceso y venta.

5. Aunque no se dispone de un registro especifico de ello, es posible afirmar que el deterioro por corrosión en la instalación ha provocado afectaciones económicas de consideración, debido a la disminución temporal de su capacidad de producción por la salida de servicio y reparación capital del TK 16 de 5000 $m^3$ y la sustitución del tanque de residuales de 2000 $m^3$

**REFERENCIAS**

1. CME Argentina SA. *Costos de la corrosión* [en línea]. s.d. [ref. de 23 de septiembre 2007]. Disponible en Web: www.cmeargentina.com>.
2. DOMÍNGUEZ, Jorge. MARRERO, Rigoberto. CAMEJO, Juan José. *Introducción al estudio de la corrosión y protección de metales.* La Habana; Editorial Félix Varela. 2023. 412 pp. ISBN 978-959-07-2573-9
3. CAMEJO, Juan José. DOMÍNGUEZ, Jorge A, MARRERO, Rigoberto. *Apuntes sobre corrosión y protección contra la corrosión*. La Habana. Ediciones CUJAE, 2012. 114 pp. ISBN 978-959-261-521-2
4. CORVO F. et al. Distribución regional de la salinidad de la atmosfera enn Cuba y su influencia sobre la corrosión del acero, En actas de Primer Taller Internacional de Corrosión financiado por el CONACYT y CINVESTAV., Mérida, 23 – 28 de marzo de 1992, pp. 15-21
5. CAMEJO, J. J.; MARRERO, R. DOMÍNGUEZ J. A., La corrosión en bases de combustibles como causa de accidentes tecnológicos conducentes a la contaminación de suelos y aguas, En memorias de 14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. CUJAE. La Habana. 2008.
6. CAMEJO, J. J.; MARRERO, R. Riesgo de derrames en sistema de distribución de turbo combustible a terminales aéreas, En memorias XIII Convención Internacional Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana. 2021, ISBN: 978-959-300-213-4
7. UNIÓN CUBANA DEL PETRÓLEO. *Reglamento del Taller Boca de Jaruco.* CUPET., Cuba, 2016, p. 116

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SIMULACIÓN EN SUPERPRO DESIGNER DE LA FERMENTACIÓN LÍQUIDA DE *CANDIDA UTILIS* CON APLICACIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO

**Siannah María Más-Diego*, Héctor Elpidio Tejera-Cisneros, Claudia Arias-Rodriguez, Yasmín Zaldivar-Montes de Oca**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
[1]e-mail:siannah@uo.edu.cu

**RESUMEN**

La levadura *Candida utilis* es una especie con alta tasa de crecimiento. Se emplea en la alimentación animal debido a su valor nutritivo, la rapidez del proceso y a su habilidad para metabolizar azúcares de los desechos de otras industrias. En Cuba se desarrolló una tecnología de producción de levadura *Candida utilis* que emplea como medio líquido la vinaza o la combinación de vinaza y melaza. Investigaciones a escala de laboratorio realizadas en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) han demostrado que el uso de campos magnéticos aumenta la productividad celular de la levadura *Candida utilis* y disminuye su tiempo de fermentación. La aplicación de estos resultados en plantas industriales depende en gran medida de la factibilidad económica de dicha propuesta. En el presente trabajo se realiza una evaluación económica preliminar a escala industrial del proceso de fermentación líquida de *Candida utilis* con aplicación de campo magnético. Los resultados de la evaluación económica del proceso de fermentación líquida de *Candida utilis* en SuperPro Designer realizada para el experimento control y el tratado magnéticamente que la levadura tratada magnéticamente fue la mejor alternativa. El Valor Neto Actual (VAN) obtenido fue de $ 3,975,000.00 mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de 11.02 %, los ingresos fueron de 6,450,930.00 $/año y el tiempo de recuperación de la inversión fue de 6 años y 11 meses.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, simulación, *Candida utilis*

## SIMULATION IN SUPERPRO DESIGNER OF *CANDIDA UTILIS* LIQUID FERMENTATION WITH MAGNETIC FIELD APPLICATION

**ABSTRACT**

*Candida utilis* yeast is a high growth rate species. It is used in animal feed due to its nutritional value, the high rate of the process and its ability to metabolize sugars from wastes of other industries. In Cuba, a *Candida utilis* yeast production technology was developed using vinasse or the combination of vinasse and molasses as liquid medium. Laboratory-scale research carried out at the National Center of Applied Electromagnetism (CNEA) has shown that the use of magnetic fields increases the cell productivity of *Candida utilis* yeast and decreases its fermentation time. The application of these results in industrial plants depends largely on the economic feasibility of such a proposal. In the present work, a preliminary economic evaluation of the liquid fermentation process of *Candida utilis* with the application of a magnetic field is carried out on an industrial scale. The results of the economic evaluation of the liquid fermentation process of *Candida utilis* in SuperPro Designer carried out for the control experiment and the magnetically treated one showed that the magnetically treated yeast was the best alternative. The Net Present Value (NPV) obtained was $ 3,975,000.00 while the Internal Rate of Return (IRR) was 11.02 %, the income was 6,450,930.00 $/year and the payback time of the investment was 6 years and 11 months.

**KEY WORDS:** Magnetic field, culture media, *Candida utilis*

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de proteínas ha aumentado debido al crecimiento demográfico y a los cambios en el estilo de vida [1]. Se han desarrollado varios procesos para la producción de biomasa a cargo de microorganismos como fuentes de proteína para alimentación. Se seleccionan estos procesos debido al valor nutritivo de la proteína celular, a la rapidez del proceso y a la habilidad de algunos microorganismos de poder metabolizar azúcares de los desechos de otras industrias [2].

La levadura *Candida utilis* se utiliza para la alimentación humana y de animales desde hace muchos años en diversos países. Es una especie con alta tasa de crecimiento y capaz de metabolizar sustratos provenientes de desechos o subproductos industriales, que contengan azúcares o fuentes de carbono. Además, requieren de nitrógeno como nutriente indispensable para su crecimiento [1]. En la naturaleza está ampliamente distribuida, es aeróbica facultativa y crece entre 20 a 37ºC, frecuentemente en forma de polvillo blanco sobre las hojas y frutos, sin embargo, también puede crecer de sustratos [1].

El proceso de producción de levadura forrajera a partir de mieles finales de caña de azúcar se caracteriza por ser un proceso continuo en el cual las mieles aportan la fuente de energía y se lleva a cabo mediante 6 unidades básicas: recepción y preparación de materias primas, preparación de sales nutrientes, fermentación y desemulsión, separación y lavado de la crema de levadura, termólisis y concentración, y secado y envase.

El crecimiento celular es el parámetro más importante en el estudio microbiológico, ya que es utilizado como base para medir la eficiencia en otras propiedades de los microorganismos, tales como el metabolismo y la producción de sustancias de interés científico y tecnológico. El crecimiento de bacterias y levaduras podría ser estimulado o inhibido por el efecto de campos magnéticos pulsantes dependiendo de la fuerza del campo y de la frecuencia [3].

SuperPro Designer facilita el modelado, evaluación y optimización de procesos integrados de industrias farmacéuticas, biotecnológicas y alimentos, entre otras. Realiza con facilidad y exactitud balances de masa y energía, dimensionamiento y cálculo de costos de equipos, análisis de rendimiento y factibilidad económica, caracterización de corriente residual y programación de operación por lote. Esto hace de este programa una invaluable herramienta en el desarrollo de procesos químicos [4].

Investigaciones a escala de laboratorio realizadas en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) ubicado en Santiago de Cuba han demostrado que el uso de campos magnéticos aumenta la productividad celular de la levadura *Candida utilis*. La aplicación de estos resultados en plantas industriales depende en gran medida de la factibilidad económica de dichas propuestas. En el presente trabajo se realiza una evaluación económica preliminar a escala industrial del proceso de fermentación líquida de levadura *Candida utilis* con aplicación de campo magnético empleando el SuperPro Designer v 9.0.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología de la Sala de Fermentación del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA).

**Microorganismo:** Cepa de *Candida utilis* procedente del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

**Medio de cultivo:** Miel virgen de caña (200 g); $KH_2PO_4$ (2 g), $(NH_4)_2SO_4$ (3 g), $MgSO_4.7H_2O$ (1 g), Extracto de levadura (4 g), Peptona (3,6 g) sobre la base de 1 L, con un pH ajustado a 5,4 [5]. Se esterilizó a 1 atm de presión y 121 °C durante 20 min.

**Fermentación en fase líquida:** Se emplearon recipientes de 2,5 litros de capacidad, conteniendo 1 L del medio de fermentación inoculado, se tomaron muestras cada dos horas hasta un tiempo final de fermentación de 72 horas. La temperatura se mantuvo a 30 ºC y un flujo de aire de 0,5 L/min.

**Tratamiento magnético:** Se usó una bomba peristáltica con una velocidad de 1,5 $m \cdot s^{-1}$ que transporta el medio de cultivo con microorganismos de un erlenmeyer a otro, mediante una manguera de silicona de diámetro interno de 8 mm. Se empleó un acondicionador magnético de Neodimio-Hierro-Boro con un tiempo de exposición al campo magnético de 0,04 s (Figura 1).

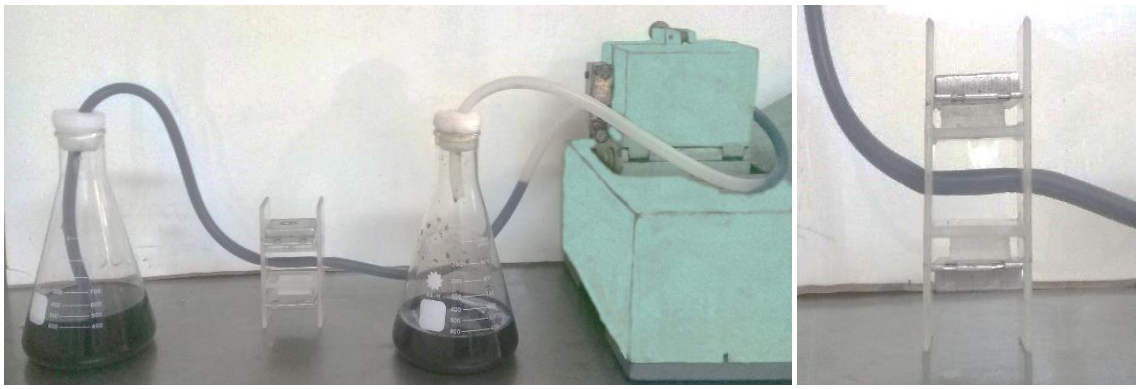


Figura 1: Esquema del tratamiento magnético empleado

**Determinación de la biomasa.** Se centrifuga un volumen de seis mililitros de muestra a 10000 rpm durante 15 minutos en tubos especiales calibrados y previamente tarados. Se lavan las células con seis mililitros de agua destilada y se sitúan en la estufa a 70 °C durante 24 horas. Se pesan hasta valor constante. Se calcula la biomasa por diferencia entre los pesos con relación al volumen medido [6].

**Procesamiento estadístico de los resultados:** Se realizaron cinco réplicas por cada experimento. Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v.18. En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

**Simulación del proceso en SuperPro Designer:** Para la simulación se empleó el programa SuperPro Designer (v 9.0).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del estudio del efecto del tratamiento magnético en el crecimiento de la levadura *Candida utilis*, se obtuvo para el control $\mu_{máx} = 0,153\ h^{-1}$ y $\mu_{máx} = 0,814\ h^{-1}$ para la levadura tratada magnéticamente. El campo magnético permitió alcanzar mayor concentración celular en un periodo de tiempo menor que el requerido para el crecimiento de levadura sin tratamiento. Este efecto sobre los cultivos de levadura torula permite reducir el tiempo de operación del fermentador y aumenta la tasa de productividad de biomasa lo que implica un menor costo de operación.

Aunque no hay una teoría generalmente aceptada concerniente a las reacciones de microorganismos al campo magnético estático de moderada intensidad, estas son usualmente interpretadas en términos de los cambios ocurridos en la permeabilidad de las membranas[7]. Se ha sugerido que los mecanismos de los efectos campo-inducción en células pueden ser explicados en términos de la cinética de las reacciones bioquímicas, de los enlaces químicos, los estados físicos de las macromoléculas y la modificación indirecta de las reacciones intermedias [8].

En Cuba los biorreactores para la obtención de proteína celular de *Candida utilis* poseen un volumen aproximado de 10 $m^3$ [2]. Para el diseño de estos equipos se utiliza una relación H/D=3. Teniendo en cuenta estas consideraciones el diámetro del biorreactor necesario es 1.62 m. Cuando no se emplea levadura tratada magnéticamente se necesita una potencia de mezclado de 0,234 kW y cuando se emplea levadura tratada a 70 mT se necesita una potencia de 0,230 kW.

En la simulación del proceso se utilizaron los datos para el experimento sin tratamiento magnético y para el experimento cultivado bajo un campo magnético. El equipo central del proceso es el fermentador, que se simuló según el esquema mostrado en la Figura 2.

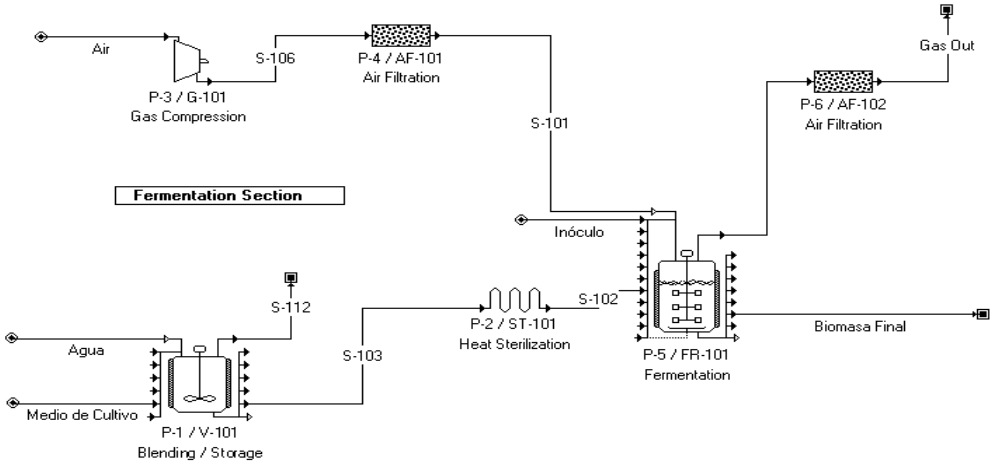



Figura 2: Esquema tecnológico para la fermentación líquida de *Candida utilis*

Los resultados del análisis económico para la fermentación líquida de *Candida utilis* para la variante sin tratamiento magnético (STM) y con tratamiento magnético (CTM) se muestran en la Tabla 1

Tabla 1: Análisis económico para la fermentación líquida de *Candida utilis* para la variante sin tratamiento magnético (STM) y con tratamiento magnético (CTM)

| | STM | CTM |
|---|---|---|
| Inversión Total de Capital ($) | 28,737,000.00 | 28,738,000.00 |
| Costo de Operación ($/año) | 557,909.00 | 557,909.00 |
| Ingresos (por venta de biomasa) ($/año) | 4,220,000.00 | 6,450,930.00 |
| Tiempo de Retorno | 10 años y dos meses | 6 años y 11 meses |
| TIR (Después de los impuestos) (%) | 4.61 | 11.02 |
| VAN (a un 7.0% de interés) ($) | 1,05,636.59 | 3,975,000.00 |

La diferencia de los ingresos por venta de biomasa entre la variante sin tratamiento magnético y los ingresos por venta de biomasa en la variante con tratamiento magnético fue favorable para el experimento tratado magnéticamente. Además, debe considerarse que la diferencia en la inversión es el costo del imán permanente ($ 570 CUP) que tiene una vida útil de entre 15 y 20 años sin necesidad de mantenimiento u otros gastos.

El alto valor del equipamiento y el excesivo consumo de electricidad requerido para obtener la biomasa seca disminuye la rentabilidad de los procesos de obtención de proteína celular [9]. El empleo de levaduras tratadas magnéticamente permite alcanzar un mejor aprovechamiento del sustrato de fermentación. El aumento de la productividad celular se traduce en un aumento de los ingresos totales del proceso productivo. Alrededor del 90% del costo de producción de biomasa se origina durante la purificación de la biomasa. El uso de campos magnéticos podría provocar efectos significativos sobre la purificación de la biomasa y aumentar la rentabilidad del proceso productivo.

## 4. CONCLUSIONES

- La aplicación del campo magnético para las condiciones estudiadas permite lograr incrementos significativos en el crecimiento celular de levadura, con una velocidad específica de crecimiento máxima para el control $\mu_{máx}$ = 0,153 $h^{-1}$ y $\mu_{máx}$ = 0,814 $h^{-1}$ para la levadura tratada magnéticamente.

- Los resultados de la evaluación económica del proceso de fermentación líquida de *Candida utilis* en SuperPro Designer realizada para el experimento control y el tratado magnéticamente que la levadura tratada magnéticamente fue la mejor alternativa. El Valor Neto Actual (VAN) obtenido fue de $ 3,975,000.00 mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de 11.02 %, los ingresos fueron de 6,450,930.00 $/año y el tiempo de recuperación de la inversión fue de 6 años y 11 meses.

## RECONOCIMIENTOS

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Nacional CITMA PN3602LH002-082 “Incremento de la eficiencia de la producción de torula con uso de campo magnético.”

## REFERENCIAS

1. ARIAS-RODRÍGUEZ, C.; RODRIGUEZ-HEREDIA, D.; MÁS-DIEGO, S. M. ; TEJERA-CISNEROS, H. E. Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento. *Revista Tecnología Química*. 2023, **43** (2), 309-330. [ISSN: 2224-6185]. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852023000200309&nrm=iso.

2. DÍAZ DE LOS RÍOS, M.; SAURA LARIA, G. ; PÉREZ BERMÚDEZ, I. "La producción de levadura *Candida utilis* (levadura Torula)." En: *Resultados de los institutos cubanos de investigación, desarrollo e innovación en las tecnologías sobre azúcar y derivados.* Habana, Cuba, 2019, p. 338-351. ISBN 978-959-7165-60-6.

3. AFFAM, A. C.; CHUNG, W. C.; SWEE, W. C.; RAZA UL MUSTAFA, M., *et al.* Can induced magnetic field enhance bioprocesses? - Review. *MATEC Web of Conferences*. 2018, **203**, 03007.

4. PETRIDES, D.; CARMICHAEL, D.; SILETTI, C. ; KOULOURIS, A. Biopharmaceutical process optimization with simulation and scheduling tools. *Bioengineering*. 2014, **1** (4), 154-187.

5. MAS-DIEGO, S. M.; RIBEAUX-KINDELÁN, G. ; CABRERA-CHAMIZO, C. A. Incremento de la biomasa de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con aplicación de un campo magnético de intensidad constante. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 2017, **51** (1, enero-abril), 43-46. [ISSN: 0138-6204]. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223153894007.

6. AHMED, S.; MUSTAFA, G.; ARSHAD, M. ; RAJOKA, M. I. Fungal Biomass Protein Production from *Trichoderma harzianum* Using Rice Polishing. *BioMed Research International*. 2017, **2017**, 9. https://doi.org/10.1155/2017/6232793.

7. DEAMICI, K. M.; DE MORAIS, M. G.; DOS SANTOS, L. O.; GROS, F., *et al.* Magnetic Field Action on Limnospira indica PCC8005 Cultures: Enhancement of Biomass Yield and Protein Content. 2022, **12** (3), 1533. [ISSN: 2076-3417]. https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1533.

8. ROSEN, A. D. Studies on the Effect of Static Magnetic Fields on Biological Systems. *PIERS Online*. 2010, **6**, 133-136.

9. SHARIF, M.; ZAFAR, M. H.; AQIB, A. I.; SAEED, M., *et al.* Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*. 2021, **531**, 735885. [ISSN: 0044-8486].

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL CRECIMIENTO CELULAR DE LA LEVADURA *CANDIDA UTILIS* Y1084

**Claudia Arias-Rodríguez*[1], Héctor Elpidio Tejera-Cisneros, Siannah María Mas-Diego, Ana Nelis San Juan-Rodríguez**
Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
[1]e-mail: claudia.arias@uo.edu.cu

**RESUMEN**

El término proteína unicelular se emplea para referirse a microorganismos que se emplean para alimentación humana o animal, principalmente por su alto contenido en proteínas. Los sustratos para la producción de proteína son variados y entre ellos se incluyen desechos orgánicos, bagazos agroindustriales y suero de leche, entre otros. Las especies de levaduras más utilizadas para la producción de proteína unicelular son *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*; esta última es muy empleada en la producción de proteína unicelular. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto que ejerce el campo magnético sobre el crecimiento celular del cultivo de la levadura *Candida utilis* Y1084. Dicho cultivo se sometió a inducciones magnéticas de 40, 70, 100 y 130 mT. Se determinó la concentración celular por conteo en Cámara de Neubauer, el porciento de viabilidad, los azúcares reductores y la productividad de biomasa de las muestras tratadas y el control. Los resultados mostraron que las inducciones 100 y 130 mT estimularon el crecimiento de la levadura con respecto al control. La inducción de 130 mT alcanzó los mayores valores de concentración en 9,60 $\cdot 10^9$ cél$\cdot$mL$^{-1}$ a las 36 h y productividad de biomasa con 2,54 $\cdot 10^8$ cél$\cdot$mL$^{-1}\cdot$h$^{-1}$. Esta inducción mostró un mejor aprovechamiento de sustrato, es decir, produjo la mayor cantidad de biomasa con menor consumo de sustrato. Se concluye que la aplicación de campos magnéticos con inducciones de 100 y 130 mT promueve el crecimiento de la levadura *Candida utilis* Y1084 según las condiciones de trabajo probadas en el laboratorio.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Candida utilis*

**INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE CELL GROWTH OF THE YEAST *CANDIDA UTILIS* Y1084.**

**ABSTRACT**

The term single-cell protein is used to refer to microorganisms that are used for human or animal food, mainly because of their high protein content. The substrates for protein production are varied and include organic wastes, agro-industrial bagasse and whey, among others. The yeast species most commonly used for single-cell protein production are Saccharomyces cerevisiae and Candida utilis; the latter is widely used in single-cell protein production. The objective of this research is to evaluate the effect exerted by the magnetic field on the cell growth of the yeast *Candida utilis* Y1084 culture. This culture was subjected to magnetic inductions of 40, 70, 100 and 130 mT. Cell concentration by Neubauer chamber counting, viability percentage, reducing sugars and biomass productivity of the treated and control samples were determined. The results showed that the 100 and 130 mT inductions stimulated yeast growth with respect to the control. The 130 mT induction reached the highest concentration values at 9.60 $\cdot 10^9$ cell-mL$^{-1}$ at 36 h and biomass productivity with 2.54$\cdot 10^8$ cell-mL$^{-1}$-h$^{-1}$. This induction showed better substrate utilization, i.e., it produced the highest amount of biomass with less substrate consumption. It is concluded that the application of magnetic fields with inductions of 100 and 130 mT promotes the growth of the yeast *Candida utilis* Y1084 according to the working conditions tested in the laboratory.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Candida utilis*

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores priorizados en Cuba es la producción de alimentos. La máxima dirección del país, bajo la conducción de científicos e investigadores, ha conformado una proyección estratégica de trabajo que integra sectores y actores de diferentes niveles de actuación, para la búsqueda de soluciones sustentables en este sector [1].

Es necesaria la búsqueda de alimentos alternativos que ofrezcan ventajas con respecto a los convencionales. Entre los alimentos alternativos o no convencionales se incluyen microorganismos fermentados, pertenecientes a los grupos de las levaduras, bacterias, hongos y algas. Los mismos constituyen importantes fuentes de proteínas unicelular debido a su disponibilidad de nutrientes [2], vitaminas, minerales y componentes que mejoran el crecimiento [3], siendo una de las principales la levadura Saccharomyces cerevisiae, con una producción de 200 000 toneladas anuales en peso seco [4].

Los sustratos para la producción de proteína son variados y entre ellos se incluyen, desechos orgánicos, bagazos agroindustriales, y suero de leche, entre otros; siendo las especies de levaduras más utilizadas para la producción de proteína unicelular Saccharomyces cerevisiae y Candida utilis [5].

Candida utilis es una especie de levadura, denominada comúnmente torula. Es muy empleada como alimento alternativo para la producción animal. Se utiliza desecada como fuente de proteínas y puede ser añadida en piensos mixtos para alimentación de cualquier clase de ganado, debido a su gran contenido de vitamina B, minerales y aminoácidos; además si es irradiada produce vitamina D. Es ampliamente recomendada como un agente saborizador natural en alimentos procesados y alimentos para mascotas; también es empleada con estos fines en alimentos de consumo humano [6].

La oferta y demanda de proteína unicelular destinada al consumo humano y animal en la década de los 90´s estuvo liderada por la levadura Candida utilis, tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea y Asia. El primer avance en el cultivo de microorganismos para su utilización como alimento se realizó al cultivar esta levadura en subproductos de la industria del papel y en derivados de azúcares obtenidos por hidrólisis ácida de la madera [7].

En Cuba, hasta la década del 60 del siglo pasado, la producción y utilización de las levaduras como alimento animal era limitada y en niveles de 3 a 5 %, pero sus excelentes propiedades nutricionales promotoras del crecimiento animal, han sido demostradas en investigaciones desarrolladas, evidenciando el alto potencial de esta materia prima como única fuente proteica en la dieta de los animales [8].

Con el fin de emplear la levadura torula como alimento animal, se han realizado diversos estudios para aumentar su velocidad de crecimiento y producción, entre estos se destaca el empleo de campos magnéticos [9]. El crecimiento de levaduras podría ser estimulado o inhibido por el efecto de campos magnéticos pulsantes dependiendo de la fuerza del campo y de la frecuencia [10]. Es por esto, que el estudio de su influencia en la obtención de levadura torula puede considerarse importante para lograr incrementos en los rendimientos esperados durante el crecimiento celular [11].

Los efectos que ejerce la acción del campo magnético sobre los microorganismos, resultan de interés industrial e influyen en la disminución de los tiempos de fermentación, aumento del rendimiento y descenso de costos en el proceso [12]. El crecimiento celular es el parámetro más importante en el estudio microbiológico, ya que es utilizado como base para medir la eficiencia en otras propiedades de los microorganismos, tales como el metabolismo y la producción de sustancias de interés científico y tecnológico [13]. Uno de los factores de interés en el proceso de producción de levadura es el tiempo de fermentación que no es más que el periodo de tiempo que pasa el microorganismo en el fermentador. Por ello este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto que ejerce el campo magnético sobre el crecimiento celular del cultivo de la levadura Candida utilis Y1084.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio experimental se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología de la Sala de Fermentación del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA).

**Microorganismo**: Cepa de Candida utilis procedente del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

**Medio de cultivo**: Se preparó 1400 mL de un medio de cultivo en fase líquida, necesario para la fermentación, según la necesidad nutricional de este microorganismo para su desarrollo: 5,6 g de extracto de levadura; 1,4 g de MgSO4. 7H2O; 280 g de Miel final; 5,04 g de Peptona; 2,8 g de KH2PO4; 1101 mL de agua y 4,2 g de (NH4)2SO4 [14].

**Tratamiento magnético**: Se usó una bomba peristáltica con una velocidad de 1,5 m·s-1 que transporta el medio de cultivo con microorganismos de un erlenmeyer a otro, mediante una manguera de silicona de diámetro interno de 8 mm. Se empleó un acondicionador magnético de Neodimio-Hierro-Boro con un tiempo de exposición al campo magnético de 0,04 s.

**Toma de muestras:** Para establecer la cinética de crecimiento, se tomaron muestras antes y después de la inoculación (tiempo 0) y cada 2 horas durante 30 horas, extrayendose 1 mL al cual se le realizó una dilución 1:2.

**Determinación de la concentración celular:** Para determinar el número total de células en la suspensión se aplicó (1)

$$C_C = \frac{Total\ células\ contadas}{\#\ de\ cuadrantes \cdot 10^{-4}\ mL} \cdot \#\ dilución \qquad (1)$$

**Determinación del porciento de viabilidad:** La estimación de la viabilidad de una población celular sirve como una condición de control de calidad para instaurar el momento óptimo de utilización de dichas células. El porciento de viabilidad se calcula a través de (2).

$$\%\ de\ viabilidad\ = \left(\frac{N°\ de\ células\ viables}{N°\ total\ de\ células}\right) * 100 \qquad (2)$$

**Determinación de azúcares reductores totales (ART):** Para determinar el consumo de sustrato se realizó la cuantificación de los azúcares reductores. Para ello se centrifugó en viales previamente secos 1 mL de la muestra a 1200 rpm por 20 min y se extrae el sobrenadante para la determinación de ART mediante el empleo de un refractómetro. El % ART se determinó por (3).

$$\%\ ART = \frac{\%\ lectura \times 20}{100} \qquad (3)$$

**Productividad de biomasa:** Se refiere a la cantidad de biomasa producida durante un intervalo de tiempo específico y se determina por (4)

$$P_c = \frac{Xm - Xo}{\Delta t} \qquad (4)$$

**Procesamiento estadístico de los resultados:** Se realizaron cinco réplicas por cada experimento. Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v.18. En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento cinético del crecimiento de *Candida utilis* Y1084 empleando intensidades de campo magnético de 40, 70, 100 y 130 mT fue muy variable (Figura 1).

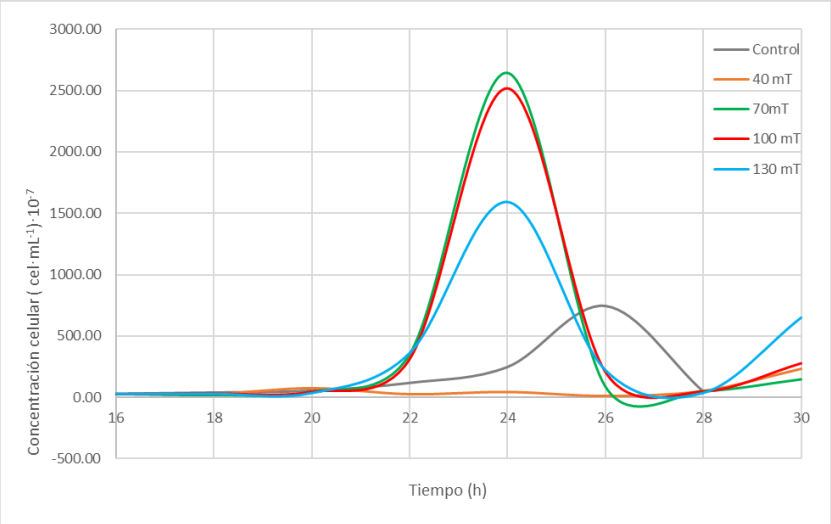



Figura 1: Concentración celular en las muestras tratadas magnéticamente y el control.

A partir del estudio del efecto del tratamiento magnético en el crecimiento de la levadura Candida utilis se obtuvo en todos los experimentos un tiempo de latencia de 18 h, el microorganismo comienza a adaptarse a las condiciones del medio de cultivo y toma los nutrientes necesarios, iniciando el crecimiento exponencial. En el caso del control, a las 26 h se obtuvo la máxima concentración celular de 7,42·109 cél·mL$^{-1}$; luego decrece. Cuando se aplica la inducción de 40 mT no se logra estimular el crecimiento celular. Empleando una intensidad de campo magnético de 70 mT se logró estimular significativamente el crecimiento celular, alcanzando un máximo a las 24 h de 2,64·10$^{10}$ cél·mL$^{-1}$. Con 100 mT de inducción se logró estimular el crecimiento microbiano teniendo un comportamiento similar a la inducción de 70 mT, obteniendo un máximo de 2,52·10$^{10}$ cél·mL$^{-1}$ a las 24 h de realizado el experimento. Al aplicar una inducción de 130 mT *Candida utilis* comienza a crecer exponencialmente hasta obtener un máximo de 1,6·10$^{10}$ cél·mL$^{-1}$ a las 24 h. A las 30 h se observa un aumento en la concentración celular referente a la curva de 130 mT, seguido de la de 100 mT, lo cual indica una posible fase de crecimiento exponencial, por lo que se decidió continuar con el estudio de estas dos inducciones.

En la Figura 2 se muestra el estudio del crecimiento de *Candida utilis* en los experimentos con inducciones magnéticas de 100 y 130 mT en un tiempo experimental de 48 horas.

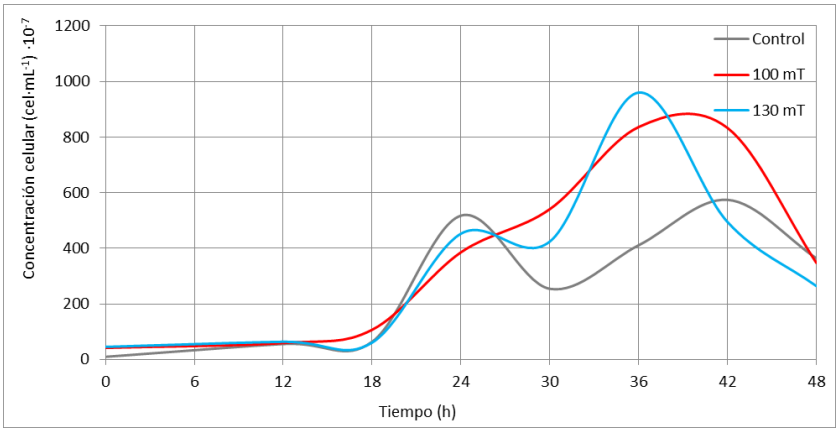



Figura 2: Concentración celular en las muestras tratadas magnéticamente y el control, para un tiempo de 48 horas

Se observa que a partir de las 18 h comienzan las fases de crecimiento exponencial, tanto para las muestras tratadas magnéticamente como para el control, alcanzando las inducciones magnéticas de 100 y 130 mT valores de concentración elevados de $8{,}35 \cdot 10^9$ cél·mL$^{-1}$ y $9{,}60 \cdot 10^9$ cél·mL$^{-1}$ respectivamente, en comparación a los obtenidos con el control que fue de $5{,}73 \cdot 10^9$ cél·mL$^{-1}$.

En el experimento con 130 mT y el control se observan dos fases de crecimiento exponencial, observándose así un crecimiento diáuxico. Este es un tipo de crecimiento microbiano bifásico que tiene lugar cuando hay presentes dos sustratos diferentes que pueden ser utilizados como fuente de carbono [14].

En la Figura 3 se observa la comparación del crecimiento entre la muestra control (0 mT) y las muestras tratadas a 100 y 130 mT. Se seleccionó el tiempo de máximo crecimiento, 42 h para los experimentos control y 100 mT y 36 h para el experimento a 130 mT.

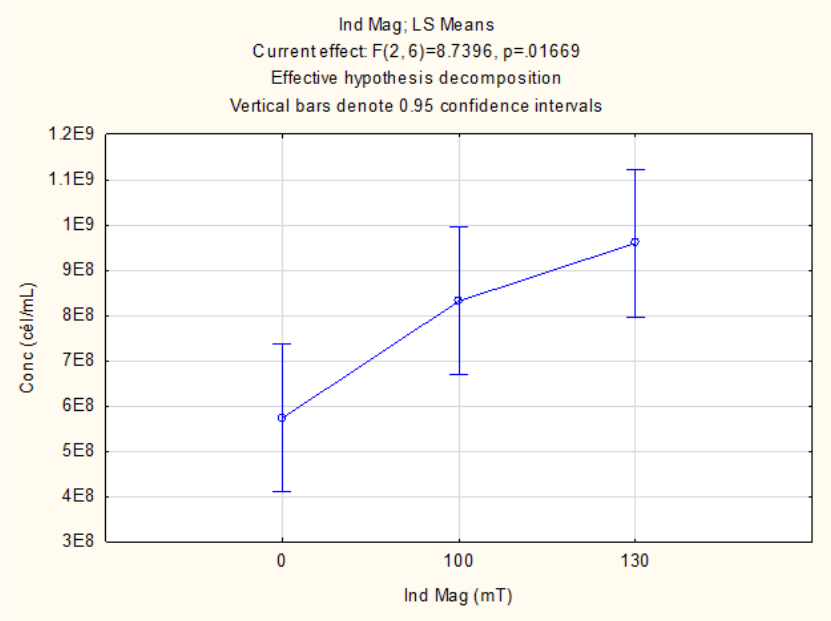



Figura 3: Comparación valores máximos de concentración entre la muestra control y las muestras tratadas a 100 y 130 mT.

Como se puede apreciar, existen diferencias estadísticamente significativas para el valor máximo de crecimiento alcanzado en la muestra control y el valor máximo alcanzado a 130 mT.

Para determinar cuál es el experimento que presenta diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de Tukey para grupos homogéneos (Tabla 1).

Tabla 1: Prueba de Tukey HSD para la concentración celular (cél/mL). Grupos homogéneos, alfa = .05000 Error = 133E14, gl = 6.0000

| Cell No. | Inducción magnética (mT) | Concentración promedio (cél/mL) | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | $6 \cdot 10^8$ | **** | |
| 2 | 100 | $8 \cdot 10^8$ | **** | **** |
| 3 | 130 | $1 \cdot 10^9$ | | **** |

Como se aprecia no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores máximos obtenidos en el experimento control y el de 100 mT, pero si existen entre el control y el de 130 mT. Se destaca que el valor máximo del experimento de 130 mT se obtuvo 6 horas antes, lo que implica una disminución del tiempo de fermentación y mayor productividad.

La Tabla 2 muestra los resultados del porciento de viabilidad promedio, calculados por (2).

Tabla 2: Porcientos de viabilidad celular promedio

| Hora | Control | 100 mT | 130 mT |
|---|---|---|---|
| 0 | 94,91 | 92,59 | 91,03 |
| 12 | 90,74 | 88,21 | 89,26 |
| 18 | 92,70 | 92,51 | 91,42 |
| 24 | 76,23 | 86,05 | 79,69 |
| 30 | 86,96 | 89,11 | 87,18 |
| 36 | 71,08 | 94,49 | 97,23 |
| 42 | 60,43 | 70,07 | 82,67 |
| 48 | 88,89 | 89,31 | 74,85 |

Al comenzar los experimentos, más del 91% de las células del microorganismo se encontraban vivas en el caso de las muestras tratadas y en el control cerca del 95 % de las células resultaron viables. A las 36 h se observó un decrecimiento en los porcientos de viabilidad, alcanzando valores menores de 75%. Si este proceso se lleva a escala de una planta de producción, para las 36 h el proceso sería detenido, pues porcientos de viabilidad por debajo de un 75% invalida el mismo. En investigación realizada por otro autor, se obtuvo que para las 22 h de comenzados los experimentos más del 98 % de las células del microorganismo se encontraban vivas en el caso de las muestras tratadas, y más del 91 % en el control [14]. Este resultado difiere al obtenido en esta investigación debido a la edad del inóculo empleado, así como los nutrientes que aportó el medio de cultivo al crecimiento celular de la levadura.

En la Figura 4 se muestran los valores promedios de consumo de azúcares reductores, tanto en la muestra tratada como en el control, durante un tiempo experimental de 48 h.

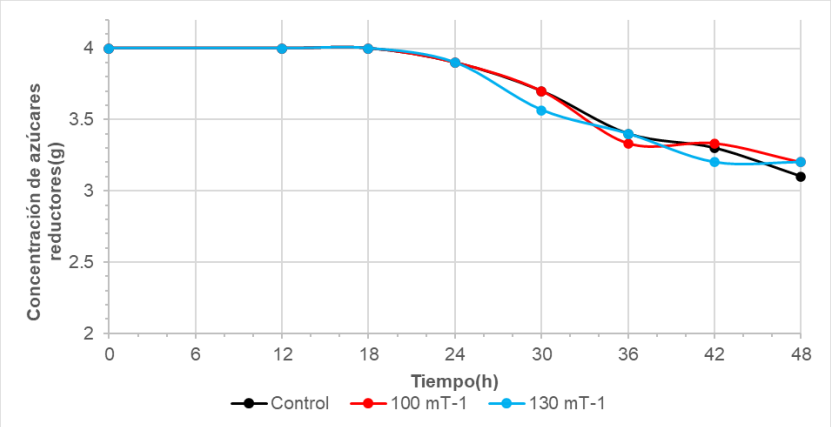



Figura 4: Consumo de azúcares reductores para los experimentos realizados hasta 48 h.

Se aprecia un descenso en la concentración de azúcares reductores con el transcurso del tiempo, debido a que el microorganismo consumió los sustratos necesarios para su crecimiento. A partir de las 18 h hay un crecimiento exponencial del microorganismo, lo que demuestra que se adaptó rápidamente al medio de cultivo, pues a partir de las 18 h de iniciada la fermentación se efectuó un consumo exponencial de los azúcares reductores. El microorganismo sometido a una inducción magnética de 130 mT mostró un mejor aprovechamiento de sustrato, es decir, produce mayor cantidad de biomasa con menor consumo de sustrato.

En la Figura 5 se muestran los valores promedios de la productividad de la biomasa.

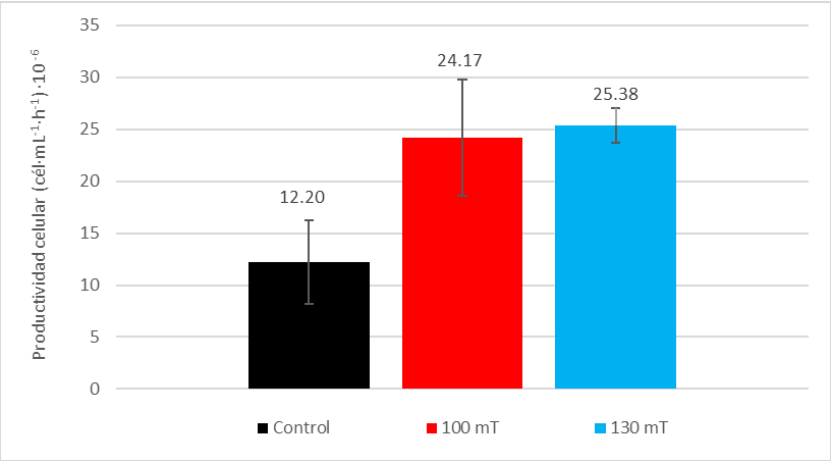



Figura 5: Productividad de biomasa para los experimentos realizados hasta 48 h.

La mayor productividad de biomasa se obtuvo cuando se aplicó la inducción magnética de 130 mT, alcanzando un valor de 25,38·106 cél·mL$^{-1}$·h$^{-1}$, resultado que no difiere del obtenido para 100 mT. Esto corrobora que la inducción magnética de 130 mT resultó ser la más efectiva en la estimulación del crecimiento de *Candida utilis* Y1084. Entre las inducciones magnéticas de 100 mT y 130 mT no existen diferencias estadísticamente significativas.

## 4. CONCLUSIONES

- Las inducciones magnéticas de 100 y 130 mT lograron estimular el crecimiento de la levadura Candida utilis Y1084. Con la aplicación de la inducción de campo magnético de 130 mT al cultivo se obtuvo la mayor concentración celular de todos los experimentos, siendo de 960·107 cél·mL$^{-1}$.
- Tanto en las muestras tratadas como en el control, la viabilidad celular al iniciar el experimento estuvo por encima del 90%. A las 36 h esta alcanzó valores por debajo del 75% lo cual invalida el proceso, si se llevara a escala de una planta productiva a partir de ese tiempo sería detenido dicho proceso.
- El microorganismo sometido a una inducción magnética de 130 mT mostró un mejor aprovechamiento de sustrato, produjo la mayor cantidad de biomasa con menor consumo de sustrato. Alcanzando un valor de productividad de 25,38·106 cél·mL$^{-1}$·h$^{-1}$.

## RECONOCIMIENTOS

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Nacional CITMA PN3602LH002-082 “Incremento de la eficiencia de la producción de torula con uso de campo magnético.”

## REFERENCIAS

1. DÍAZ PÉREZ, M.; TRIANA VELÁZQUEZ, Y.; BRIZUELA CHIRINO, P.; RODRÍGUEZ FONT, R. J., et al. Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional desde la ciencia de la sostenibilidad: Observatorio SAEN+ C Pinar. Revista Universidad y Sociedad. 2021, 13 (5), pp: 9-19. ISSN: 2218-3620.

2. MBUTO, E. J. Influence of Torula yeast (Candida utilis) as a Fishmeal replacer on rheological and physical qualities of pelleted shrimp feed. Tesis en opción al grado de, Department of Animal and Aquacultural Sciences
Faculty of Biosciences, Norwegian University of Life Sciences, Ås. 2017.

3. CORTÉS-SÁNCHEZ, A. D. J.; GUADARRAMA, L. M. ; DÍAZ-RAMÍREZ, M. Producción de biomasa a partir de Aspergillus oryzae en cultivo sumergido. Biotecnia. 2014, 16 (3), pp: 11-15. ISSN: 1665-1456.

4. ARIAS-RODRÍGUEZ, C.; RODRIGUEZ-HEREDIA, D. ; TEJERA-CISNEROS, H. E. Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento. Tecnología Química. 2023, 43 (2), pp: 309-330. ISSN: 2224-6185.

5. GUTIÉRREZ RAMÍREZ, L. A. ; GÓMEZ RAVE, A. d. J. J. R. L. d. I. Determinación de proteína total de Candida utilis y Sacharomyces cerevisiae en bagazo de caña. 2008, 5 (1), pp: 61-64. ISSN: 1794-4449.

6. RODRÍGUEZ, B.; CANELA, A.; MORA, L.; MOTTA, W., et al. Composición mineral de levadura torula (Candida utilis), desarrollada a partir de vinaza de destilería. 2011, 45 (2), pp: 151-153. ISSN: 0034-7485.

7. CASANOVA GUAJARDO, M. D. Optimización de la concentración de los azúcares reductores totales de melaza de Saccharum Officinarum L. caña de azúcar en la producción de proteína unicelular de Candida utilis var. Major. Trujillo-Perú. 2018. 2019. ISSN.

8. LEZCANO, P. Desarrollo de una fuente proteica en Cuba. Levadura torula (Candida utilis). Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2005, 39, pp: 459-464. ISSN: 0034-7485.

9. VILLALPANDA, M. A.; ARMENTEROS, T. G.; PÉREZ, A. V.; ALMAGUER, H. C. ; FIALLO, C. A. J. T.-R. C. e. C. S. COMPARACIÓN DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE DOS CEPAS DESTILERAS DEL GÉNERO SACCHAROMYCES, EN MELAZA TRATADA MAGNÉTICAMENTE. 2013, (4), pp: 21-27. ISSN: 2602-8069.

10. MOORE, R. L. J. C. j. o. m. Biological effects of magnetic fields: studies with microorganisms. 1979, 25 (10), pp: 1145-1151. ISSN: 0008-4166.

11. NIÑO, M. S.; ALVAREZ, D. C. ; CLAVIJO, Y. R. INFLUENCIA DEL CAMPO ELECTROMAGNETICO EN EL CRECIMIENTO DE LA LEVADURA TORULA. ISSN.

12. VILLALPANDA, M. A.; ARMENTEROS, T. G.; PÉREZ, A. V.; ALMAGUER, H. C. ; FIALLO, C. A. COMPARACIÓN DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE DOS CEPAS DESTILERAS DEL GÉNERO SACCHAROMYCES, EN MELAZA TRATADA MAGNÉTICAMENTE. Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales. 2013, (4), pp: 21-27. ISSN: 2602-8069.

13. SALGADO ARIA, P. Producción de levadura Saccharomyces cerevisiae CCEOI 2012 con aplicación del campo magnético.Tesis en opción al grado de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba., 2019. ISSN.

14. RODRIGUEZ, A. Efecto del campo magnético en el crecimiento de la levadura Candida utilis Y1084 (Familia: Saccharomycetaceae).Tesis en opción al grado de Licenciada en biología, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba., 2022. ISSN.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DE LOS PULSOS REPETIDOS DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL CRECIMIENTO DE *CANDIDA UTILIS* Y1840

**José Ramón Guerrero-Haber*[1], Giselle Giralt-Ortega, Iber Ernesto Sánchez-Proenza, Yaser Garrido-Lazo**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
[1]e-mail: guerrero@uo.edu.cu

**RESUMEN**

Con el objetivo de actualizar el modelo de desarrollo económico y social, el uso de la levadura *Candida utilis* ocupa un papel fundamental. Mejor conocida como torula este hongo levaduriforme es una de las levaduras más empleadas como suplemento alimenticio animal. En la actualidad, la industria azucarera ha descontinuado el uso del proceso productivo a escala industrial de esta levadura. En estas plantas de elaboración una de sus principales dificultades es mejorar el incremento del crecimiento en el proceso fermentativo. Los campos magnéticos han demostrado sus potencialidades en el aumento del crecimiento y la disminución de los tiempos de fermentación de *Candida utilis*, debido a que existe un incremento en la proliferación y aumento de su concentración, luego de aplicada la inducción magnética. Los resultados a escala de laboratorio son la base para el escalado a nivel industrial y mediante ellos se previenen futuras afectaciones que pudieran dañar la economía y el desarrollo de esta producción. En el presente trabajo se evaluó el efecto que tienen los pulsos magnéticos repetidos en el crecimiento de la levadura durante la fermentación. El mejor tratamiento fue el de 130 mT con dos pulsos, alcanzando a las 36 h una concentración celular de $1{,}30 \cdot 10^9$ cel·mL$^{-1}$. Se propuso aplicar esta variante por resultar la de mayores ingresos por venta de la biomasa producida.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Candida utilis*

## INFLUENCE OF REPEATED MAGNETIC FIELD PULSES ON THE GROWTH OF *CANDIDA UTILIS* Y1840.

**ABSTRACT**

In order to update the economic and social development model, the use of *Candida utilis* yeast plays a fundamental role. Better known as torula, this yeast fungus is one of the most widely used yeasts as an animal feed supplement. At present, the sugar industry has discontinued the use of this yeast in the production process on an industrial scale. In these processing plants, one of the main difficulties is to improve the increase of growth in the fermentation process. Magnetic fields have demonstrated their potential to increase the growth and decrease the fermentation times of *Candida utilis*, due to the fact that there is an increase in the proliferation and increase in its concentration, after applying magnetic induction. The results at laboratory scale are the basis for scaling up to industrial level and through them future affectations that could damage the economy and development of this production are prevented. In the present work, the effect of repeated magnetic pulses on yeast growth during fermentation was evaluated. The best treatment was 130 mT with two pulses, reaching at 36 h a cell concentration of $1.30 \cdot 10^9$ cell-mL$^{-1}$. This variant was proposed because it was the one with the highest income from the sale of the biomass produced.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Candida utilis*

## 1. INTRODUCCIÓN

El alarmante ritmo de crecimiento de la población ha aumentado la demanda de producción de alimentos en los países del Tercer Mundo. Esto provoca un enorme desfase en la oferta y la demanda en esta zona, aspecto que causa un aumento del número de personas hambrientas y con desnutrición crónica [1]. En el 2050, para satisfacer la demanda mundial de proteínas de origen animal a los niveles de consumo actuales, el mundo necesitaría producir 1,250 millones de toneladas de carne y lácteos al año. [2]

Para favorecer este aumento de la masa ganadera en todos los renglones se necesita cada vez más el empleo de la ciencia en la toma de decisiones [3], basadas en investigaciones en múltiples áreas del conocimiento y es vital aunar esfuerzos de distintos sectores y actores de la sociedad. Por tanto, se establece como una prioridad fomentar la soberanía alimentaria de las poblaciones a nivel nacional e internacional. [4]

Con el objetivo de la actualizar el modelo de desarrollo económico y social, el uso de la levadura *Candida utilis* ocupa un papel fundamental. Mejor conocida como torula este hongo levaduriforme es una de las levaduras más empleadas como suplemento alimenticio animal [5]. Por su elevado contenido de proteína bruta esta levadura se encuentra posicionada en el primer lugar en la búsqueda de alternativas que permitan sustituir parcial o totalmente fuentes alimentarias tradicionales como la soya, el maíz y el trigo de los piensos y forrajes de estos animales. Además, presenta una elevada actividad respiratoria, un amplio perfil de aminoácidos y la capacidad de utilizar una amplia gama de sustratos [6].

En décadas anteriores *Candida utilis* era producida por países como Rumania, la antigua Yugoslavia y China en plantas con capacidades de producción de hasta 40 toneladas por día de levadura seca. Dentro de las empresas comercializadoras de este producto cabe destacar Bevenovo Co. Ltd., dedicada a la producción de aditivos alimentarios y enzimas para aplicación industrial en la producción de pulpa de papel, alimento animal, textiles, fertilizantes para la agricultura y tratamiento de residuales y Yeast Fermentation Technology, Inc., dedicada a la venta de materias primas de alta calidad para diagnósticos clínicos, investigaciones de ciencias de la vida, industria bioquímica, nutrición animal y humana e ingredientes para hornear. [7]

En la actualidad, la industria azucarera ha descontinuado el uso del proceso productivo a escala industrial de esta levadura. En las plantas de elaboración una de sus principales dificultades es mejorar el incremento del crecimiento en el proceso fermentativo.

En Cuba se han desarrollado amplios estudios para la implementación de la misma como alimento de consumo de ganado vacuno, porcino, avícola y en la cunicultura [7]. Con el fin de favorecer su velocidad de crecimiento y producción, se han realizado estudios, entre los cuales se destaca el empleo de campos magnéticos. Los campos magnéticos han demostrado sus potencialidades en el aumento del crecimiento y la disminución de los tiempos de fermentación de Candida utilis, debido a que existe un incremento en la proliferación y aumento de su concentración, luego de aplicada la inducción magnética [8]. Además se produce mayor cantidad de biomasa con menor consumo de sustrato con el uso de campo magnético [9]. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de los pulsos magnéticos repetidos en la biomasa de levadura durante el proceso de fermentación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el laboratorio de fermentación del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), con una cepa de *Candida utilis* Y1084 procedente del Grupo de Microbiología-Genética, perteneciente a la Dirección Biotecnológica del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

**Medio de cultivo:** Se prepararon 1600 mL de un medio de cultivo líquido para el desarrollo de la fermentación compuesto por sacarosa (200 $g \cdot L^{-1}$); KH2PO4 (2 $g \cdot L^{-1}$), (NH4)2SO4 (3 $g \cdot L^{-1}$),

MgSO4.7H2O (1 g·L$^{-1}$), Extracto de levadura (4 g·L$^{-1}$), Peptona (3,6 g·L$^{-1}$), con un pH ajustado a 5,4 [5]. Se esterilizó a 1 atm de presión y 121 °C durante 20 min.

**Toma de muestras:** Se realizaron tomas de muestras antes y después de la inoculación (tiempo 0), tomando la primera a las 12 horas y luego cada 6 horas hasta las 48 horas, para establecer la cinética de crecimiento. Se tomó 1 mL, al cual se le realizó una dilución 1:2 en agua destilada. De esta dilución 1 mL fue destinado para realizar el conteo celular y el otro se centrifugó empleándose el sobrenadante para la determinación de la concentración de azúcar.

**Diseño de experimentos:** Se realizaron un total de 15 experimentos; cuatro con tratamiento magnético y uno con sin tratamiento magnético (control), haciendo tres repicas para cada experimento. En el diseño se consideró como factores: X´1: inducciones magnéticas y X´2: pulsos magnéticos (Tabla 1).

Tabla 1 Factores y niveles del diseño experimental

| Niveles | Factores | |
|---|---|---|
| | Inducción magnética (mT) $X'_1$ | Pulsos magnéticos $X'_2$ |
| Nivel bajo (-1) | 100 | 1 |
| Nivel alto (+1) | 130 | 2 |

**Determinación de la concentración celular:** Para determinar el número total de células en la suspensión se aplicó (1)

$$C_C = \frac{Total\ células\ contadas}{\#\ de\ cuadrantes \cdot 10^{-4}\ mL} \cdot \#\ dilución \qquad (1)$$

**Determinación de azúcares reductores totales (ART):** Para determinar el consumo de sustrato se realizó la cuantificación de los azúcares reductores. Para ello se centrifugó en viales previamente secos 1 mL de la muestra a 1200 rpm por 20 min y se extrae el sobrenadante para la determinación de ART mediante el empleo de un refractómetro. El % ART se determinó por (2).

$$\%\ ART = \frac{\%\ lectura \times 20}{100} \qquad (2)$$

**Productividad de biomasa:** Se refiere a la cantidad de biomasa producida durante un intervalo de tiempo específico y se determina por (3)

$$P_c = \frac{Xm - Xo}{\Delta t} \qquad (3)$$

**Procesamiento estadístico de los resultados:** Se realizaron tres réplicas por cada experimento. Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v.18. En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

**Metodología para el tratamiento magnético:** Para el tratamiento magnético se usó una bomba peristáltica con una velocidad de 0,323 m·s$^{-1}$ para trasladar el medio de cultivo con microorganismos de un erlenmeyer a otro, mediante una manguera de silicona de diámetro interno de 5 mm, el cual tiene acoplado un acondicionador magnético de Neodimio-Hierro-Boro con una inducción del campo en la región de trabajo de 100 mT o 130 mT respectivamente, con un tiempo de exposición al campo magnético de 0,158 s, haciéndose experimentos a cada nivel fijado para cada factor sometido a estudio. La fermentación se realizó con agitación constante de 150 ± 10 r.p.m y temperatura 30 ± 2 °C. Según los estudios desarrollados se determinaron la velocidad del fluido y el tiempo de exposición al campo [10].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra la concentración celular de *Candida utilis* Y1084 en el control y en los tratamientos con con 1 y 2 pulsos de inducción magnética de 100 mT.

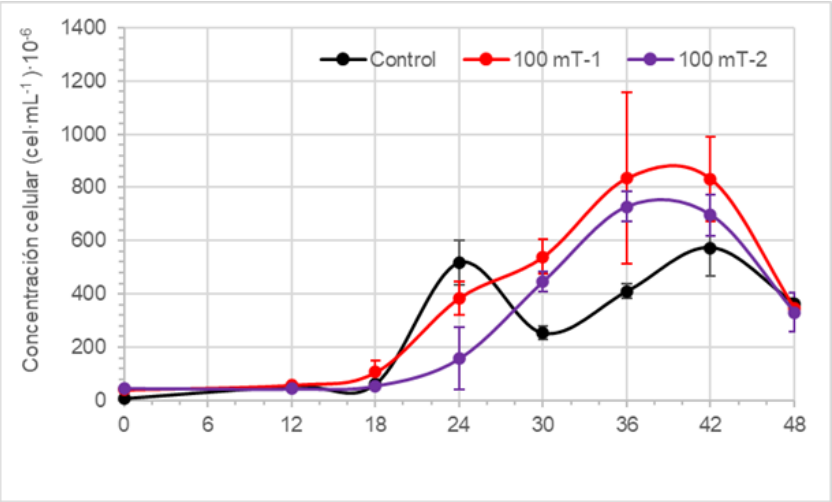



Figura 1: Concentración celular de Candida utilis con inducción magnética de 100 mT y control.

Cuando *Candida utilis* es sometida a una inducción de 100 mT con un pulso, comienza su crecimiento a partir de las 12 h, que se mantiene hasta las 36 h con una pequeña inflexión entre las 24 h a 30 h, comportándose distinto a la curva control, infiriéndose que este microorganismo presentó una mejor asimilación de los sustratos del medio con esta condición experimental, alcanzando su pico máximo a las 36 h con un valor de $8{,}35 \cdot 10^{8}$ cél·mL$^{-1}$. Al realizar el estudio con 100 mT y dos pulsos, el microorganismo fue sometido dos veces a un proceso de estrés, por lo que tuvo que reestructurarse perdiendo cualidades fisiológicas. Alcanzó su máximo desarrollo a las 36 h con una concentración celular de 7,28·108 cél·mL-1, valor superior al alcanzado por el control, pero inferior al obtenido con un pulso. En estos experimentos, el pulso magnético estimuló la permeabilidad de la pared celular del microorganismo, lo cual está asociado con la mayor entrada de algunos iones de importancia metabólica como Ca2+ y Na+, manifestándose como una mayor afinidad por el sustrato [11].

En la Figura 2 se observa que cuando la *Candida utilis* es sometida a una inducción de 130 mT, con uno y dos pulsos, presenta un comportamiento similar al obtenido para el control, con dos fases de crecimiento. El microorganismo tratado magnéticamente con 130 mT comienza su crecimiento a partir de las 18 h, que se mantiene hasta las 24 h, alcanzando valores de 4,53·108 y 4,03·108 cél·mL-1, con un pulso y dos pulsos respectivamente. Estos valores de concentración celular son inferiores al control en este intervalo de tiempo. A partir de las 30 h y hasta las 36 h, se observa también un comportamiento similar al control, pero los valores de concentración celular son superiores al control, siendo sus máximos crecimiento de 8,60·108 y 1,30·109 cél·mL-1, con un pulso y dos pulsos respectivamente. En todos los experimentos realizados con tratamiento magnético se alcanzó el valor máximo de concentración celular a las 36 h, 6 h menos en comparación con el control. Este resultado es importante teniendo en cuenta que se logró reducir el tiempo de fermentación. La máxima concentración celular se alcanzó cuando se realizó el tratamiento al microorganismo con 130 mT y 2 pulsos.

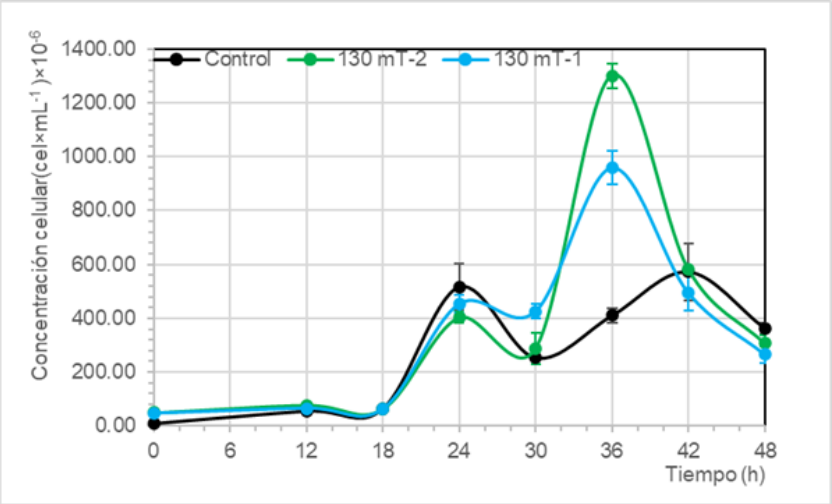



Figura 2: Concentración celular de Candida utilis con inducción magnética de 130 mT y control

En las Figuras 3 y 4 se presentan los consumos promedio de azúcar por cada 100 mL de medio para los experimentos con 100 y 130 mT respectivamente.

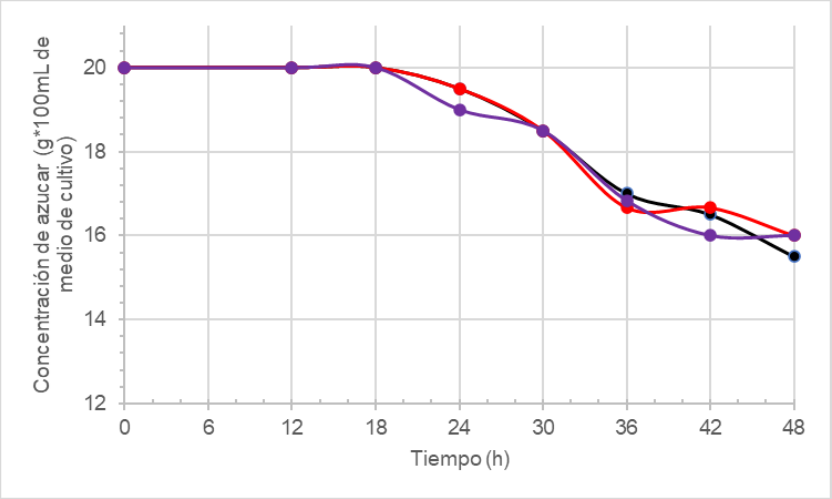



Figura 3: Consumo de azúcar para los experimentos de 100 mT

Al aplicar 100 mT con un pulso se observa que la *Candida utilis* consumió mayor cantidad de azúcar que en el experimento control. Con dos pulsos se evidencia un ahorro con respecto al control de consumo de azúcar teniendo un mejor desarrollo en su crecimiento en un igual período de tiempo.

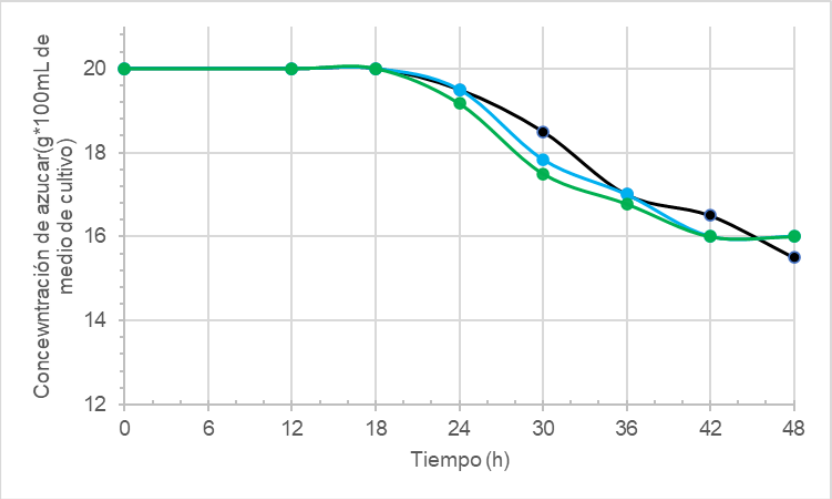



Figura 4 Concentración de azúcar de los experimentos de 130 mT.

En cuanto al consumo de los azúcares contenidos en el medio de cultivo los tratamientos de 130 mT se comportaron prácticamente igual teniendo la inducción con dos pases un consumo ligeramente mayor que la de un pase. El microrganismo con mayor cantidad de azúcar es capaz de adaptarse más rápidamente [12].

En la Figura 5 se muestra la productividad celular promedio a las diferentes condiciones experimentales. Se observa que la mayor productividad se alcanzó para 130 mT con 2 pulsos, $3{,}48 \cdot 10^{7}$ cél·mL$^{-1}$·h$^{-1}$ y la menor se alcanzó en el control con un valor de $1{,}22 \cdot 10^{7}$ cél·mL$^{-1}$·h$^{-1.}$ También se vieron estudios donde para comparaciones de varias inducciones magnéticas aplicadas a esta levadura el tratamiento que más productividad posee es el tratamiento de 130 mT [4]. Se aprecia cómo se desarrolló más al aplicarle dos pulsos.

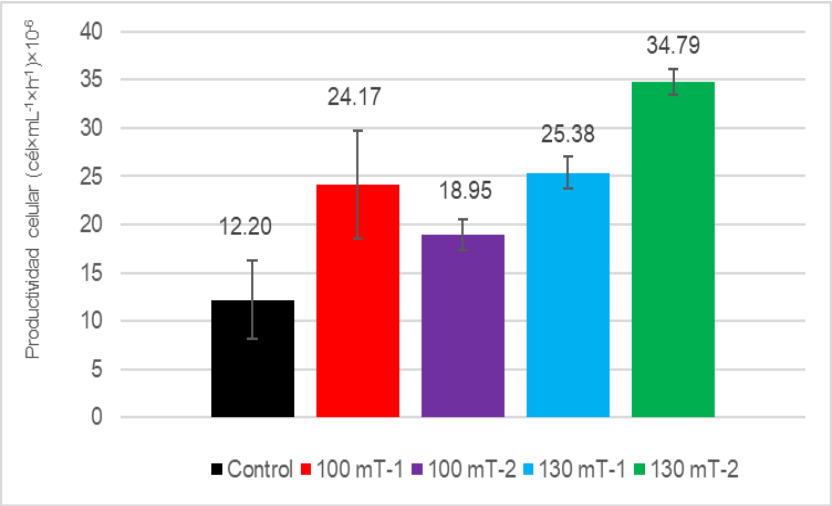



Figura 5: Productividad celular.

Se realizó un diagrama de Pareto (Figura 6) se observa que el factor de mayor incidencia en la productividad es la inducción magnética y la interacción entre esta variable y el número de pulsos.

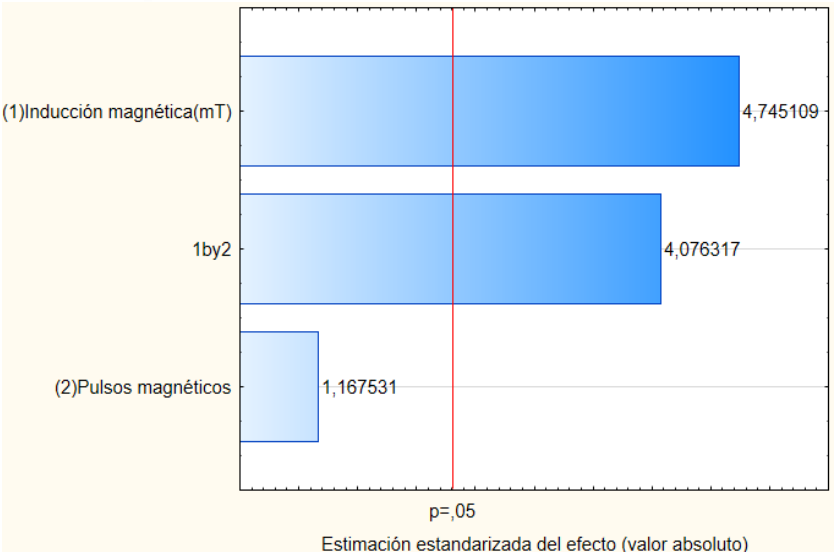



Figura 6: Diagrama de Pareto para la productividad celular

## 4. CONCLUSIONES

La levadura *Candida utilis*, sin la aplicación de los pulsos magnéticos, mantuvo un comportamiento diaúxico alcanzando valor máximo de crecimiento a las 42 h con una concentración celular de $5{,}73 \cdot 10^{8}$ cél·mL$^{-1}$. Con la aplicación de pulsos magnéticos se alcanzó la máxima concentración de $1{,}30 \cdot 10^{9}$ cél·mL$^{-1}$ cuando se realizó el tratamiento al microorganismo con 130 mT y 2 pulsos. Este resultado se obtuvo a las 36 h, 6 h menos en comparación con el control, reduciendo el tiempo de fermentación.

**RECONOCIMIENTOS**

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Nacional CITMA PN3602LH002-082 “Incremento de la eficiencia de la producción de torula con uso de campo magnético.”

**REFERENCIAS**

1. RAVINDRA, P. "Value-added food: Single cell protein". Biotechnology advances. 2000, vol 18, núm. 6, p. 459-479.
2. RITALA, A., et al. "Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016". Frontiers in microbiology. 2017, vol 8, p. 300587.
3. DÍAZ-CANEL BERMÚDEZ, M. M., et al. "Gestión del gobierno orientado a la innovación: Contexto y caracterización del Modelo". Revista Universidad y Sociedad. 2021, vol 13, núm. 1, p. 6-16.
4. ARIAS RODRIGUEZ, C. Efeto del campo magntico en el crecimento de la levadura Candida utilis Y1084. Universidad de Oriente 2022.
5. ARIAS-RODRÍGUEZ, C., et al. "Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento". Tecnología Química. 2023, vol 43, núm. 2, p. 309-330.
6. ORTIZ, A., et al. "Sustitución de soya por levadura torula (Candida utilis) desarrollada a partir de vinaza, en dietas peletizadas para conejos en ceba". Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2013, vol 47, núm. 4, p. 389-393.
7. DÍAZ DE LOS RÍOS, M. S., Gustavo Pérez, Indira. " La producción de levadura Candida Utilis (Levadura Torula)." 2019, p.
8. SALGADO ARIAS, P. Produccion de levadura Saccharomyces cereviciae con aplicacion del campo magnetico. Universidad de Oriente, 2019.

9. MAS-DIEGO, S. M., et al. "Incremento de la biomasa de la levadura Saccharomyces cerevisiae con aplicación de un campo magnético de intensidad constante". ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 2017, vol 51, núm. 1, p. 43-46.
10. BERNABEU LORENZO, M. Aumento de dosis génica de los genes DPL1, SSD1 y SRP101 en Saccharomyces cerevisiae y fenotipo de tolerancia a acidificación intracelular. Universitat Politècnica de València, 2015.
11. MÁS DIEGO, S. M., et al. Uso de Trichoderma harzianum (Cepa A-34) con la aplicación del tratamiento magnético en el control del marchitamiento fúngico del tomate en condiciones de semillero. . In I.E. UO ed. *Sanidad vegetal de la utopía a la praxis (Tomo I).* 2024, p. 45.
12. DURANGO LONDOÑO, L. P. Evaluación y escalamiento de la producción de levaduras nativas tipo Saccharomyces spp. A nivel de laboratorio. Universidad EAFIT, 2007.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INCIDENCIA DEL EFECTO ACUMULATIVO DEL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE LA LEVADURA *CANDIDA UTILIS*

**Giselle Giralt-Ortega*[1], José Ramón Guerrero-Haber, Stepfany de la Caridad Beyries-Lahera, Yazmín Zaldivar-Montes de Oca**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
[1]e-mail: guerrero@uo.edu.cu

**RESUMEN**

*Candida utilis* es una de las levaduras más utilizada como suplemento alimenticio animal y puede ser añadida en piensos mixtos para la alimentación de cualquier clase de ganado, debido a su gran contenido de vitaminas del complejo B, minerales y aminoácidos. Con el fin de emplearla como alimento alternativo se han realizado estudios para aumentar su velocidad de crecimiento y producción, entre los que se destaca el empleo de campos magnéticos. El objetivo es determinar la incidencia del efecto acumulativo del campo magnético sobre la velocidad de crecimiento de la levadura *Candida utilis* Y1084. Se realizaron experimentos control y tratados con una inducción magnética de 130 mT en dos generaciones experimentales. Se determinó la concentración celular, el porciento de viabilidad, la productividad, la velocidad especifica de crecimiento, el tiempo de duplicación y el factor de conversión de sustrato en célula. Se propusieron cuatro variantes para el proceso productivo de la levadura con el programa SuperPro Designer. El efecto de dosis repetida de campo magnético influyó positivamente en el crecimiento de la levadura destacándose TB2 con la mayor concentración celular ($6{,}13 \cdot 10^8$ cél/mL). Los menores consumos de azúcar se obtuvieron en los experimentos (CB2 y TB2), con valores de 19,36 y 18,94 % respectivamente. El experimento que TB2 mostró los mejores resultados de viabilidad, a las 48 h disminuyendo solo el 7,55 % de células vivas. Las 4 propuestas para la aplicación de campo magnético a la levadura, son rentables para los procesos productivo de esta levadura a escala industrial.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Candida utilis*

## IMPACT OF THE CUMULATIVE EFFECT OF THE MAGNETIC FIELD ON THE GROWTH RATE OF *CANDIDA UTILIS* YEAST.

**ABSTRACT**

*Candida utilis* is one of the most widely used yeasts as an animal feed supplement and can be added in mixed feed for feeding any kind of livestock, due to its high content of B complex vitamins, minerals and amino acids. In order to use it as an alternative feed, studies have been carried out to increase its growth and production speed, among which the use of magnetic fields stands out. The objective is to determine the incidence of the cumulative effect of the magnetic field on the growth rate of the yeast *Candida utilis* Y1084. Control and treated experiments were performed with a magnetic induction of 130 mT in two experimental generations. Cell concentration, viability percentage, productivity, specific growth rate, doubling time and substrate-to-cell conversion factor were determined. Four variants for the yeast production process were proposed with the SuperPro Designer program. The effect of repeated doses of magnetic field positively influenced yeast growth with TB2 having the highest cell concentration ($6.13 \cdot 10^8$ cells/mL). The lowest sugar consumptions were obtained in the experiments (CB2 and TB2), with values of 19.36 and 18.94 % respectively. The experiment TB2 showed the best results of viability, at 48 h decreasing only 7.55 % of live cells. The 4 proposals for the application of magnetic field to yeast, are profitable for the production processes of this yeast on an industrial scale.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Candida utilis*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos biotecnológicos contribuyen al progreso de los países en vías de desarrollo. Su mayor actuación está en el aumento de la eficiencia de diversos procesos productivos, desde mejorar las propiedades nutritivas de los alimentos, hasta renovar la actividad de los medicamentos. Estos procesos consisten en la aplicación de tecnologías que utilizan sistemas biológicos y organismos vivos o derivados, para crear o modificar procesos o productos para usos específicos. Son de mucha importancia en las diversas ramas de la industria química. Los mismos acogen múltiples beneficios en la simplificación de procesos, en la mejora y calidad de productos finales, en la disminución de impactos medioambientales y en el ahorro de costos de producción en una empresa que necesite urgentemente la aminoración de este aspecto.

La producción de biomasa microbiana en el mundo ha experimentado muchos cambios durante las últimas dos décadas y se han desarrollado varios procesos para su producción a partir de microorganismos útiles como fuentes de proteína para alimentación [1]. Entre los alimentos alternativos o no convencionales se hallan los que incluyen microorganismos fermentados, pertenecientes a los grupos de las levaduras, bacterias, hongos y algas, que son importantes fuentes de proteínas, vitaminas, minerales y factores que mejoran el crecimiento. En el caso específico de las levaduras, numerosos productos obtenidos de estas, así como alimentos que las contienen son producidos y empleados extensivamente como alimento animal, debido a su contenido en proteínas, aminoácidos, energía y micronutrientes relativamente elevado, en comparación con cereales forrajeros comunes y harinas de semillas oleaginosas.

Uno de los microorganismos más utilizados para la alimentación animal en los procesos a escala de laboratorio, para luego ser escalado a nivel industrial, es la levadura Candida utilis. La misma tiene un alto contenido de proteínas que la hace ser muy importante para alimentación de cualquier clase de ganado. El reto es buscar alternativas que permitan sustituir parcial o totalmente fuentes alimentarias tradicionales como la soya, el maíz y el trigo [2]. Para ello se desarrollan diferentes estrategias para aumentar el crecimiento de este microrganismo y así lograr un mayor aprovechamiento del mismo.

El estudio de los efectos acumulativos del campo magnético es de gran importancia ya que puede influir en el crecimiento de microorganismos. Los mismos pueden tener repercusiones sobre la velocidad de reacciones bioquímicas, en las condiciones fisiológicas de los microorganismos, en su tasa de crecimiento e incluso su muerte. Estudios han demostrado que los campos magnéticos oscilantes de frecuencia extremadamente baja pueden influir en el crecimiento y la genotoxicidad de microorganismos como bacterias y levaduras [2]. Estos efectos, en términos mutagénicos y toxicológicos, pueden variar según la exposición y las condiciones específicas.

El objetivo de esta investigación es Evaluar la incidencia del efecto acumulativo del campo magnético en el crecimiento de la levadura Candida utilis Y1084 para la aplicación de dosis repetidas del mismo en el proceso productivo de esta levadura.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el laboratorio de fermentación del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Se empleó una cepa de Candida utilis Y1084 procedente del Grupo de Microbiología-Genética, perteneciente a la Dirección Biotecnológica del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Se preparó 300 mL de un medio de cultivo en fase líquida, necesario para la fermentación, según la necesidad nutricional de este microorganismo para su desarrollo [4]. En la Tabla 1 se muestran las proporciones utilizadas para la preparación del mismo.

Tabla 1: Medio de cultivo en fase líquida para el proceso de fermentación.

| Componentes | Proporción ($g \cdot L^{-1}$) |
|---|---|
| Sacarosa | 200,0 |
| $KH_2PO_4$ | 2,0 |
| $(NH_4)_2SO_4$ | 3,0 |
| $MgSO_4$. $7H_2O$ | 1,0 |
| Extracto de levadura | 4,0 |
| Peptona | 3,6 |
| Agua | 786,4 |

**Diseño de experimentos:** En la Figura 1 se muestra el esquema de la experimentación. La primera letra indica si es control (C) o tratado (T); la segunda indica la generación (A: primera generación, B: segunda generación). Los números de la segunda generación indican de donde provienen: 1 sin es de un control y 2 si es de un tratado. Con el propósito de analizar la influencia de la dosis repetida de campo magnético sobre el microorganismo (pases) se planificaron un total de 18 experimentos.

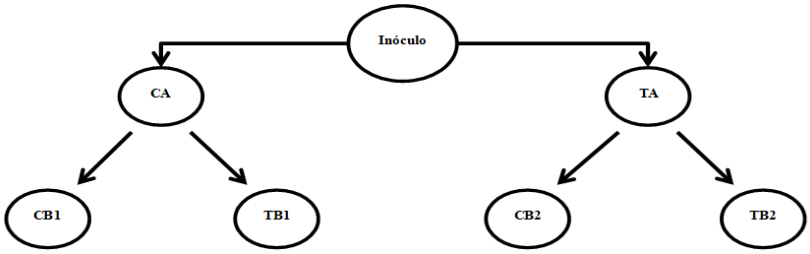



Figura 1: Esquema experimental.

CB1: Control de la segunda generación proveniente del control de la primera generación (no recibió tratamiento magnético en ningún experimento).

TB1: Tratado de la segunda generación proveniente del control de la primera generación (recibió una sola dosis de campo magnético).

CB2: Control de la segunda generación proveniente del tratado de la primera generación (recibió una sola dosis de campo magnético).

TB2: Tratado de la segunda generación proveniente del tratado de la primera generación (recibió dosis repetida de campo magnético).

Para establecer la cinética de crecimiento, se tomaron muestras antes y después de la inoculación (tiempo 0) y cada 24 horas hasta llegar a las 48 h. Se tomó 2 mL de la muestra; con 1 mL se procedió a realizar el conteo celular y el otro mL fue centrifugado por 20 minutos en viales; el sobrenadante se usó para la determinación de la concentración de azúcar y el sedimento para calcular biomasa.

**Tratamiento magnético**: Se usó una bomba peristáltica con una velocidad de 1,5 m·s-1 que transporta el medio de cultivo con microorganismos de un erlenmeyer a otro, mediante una manguera de silicona de diámetro interno de 8 mm. Se empleó un acondicionador magnético de Neodimio-Hierro-Boro con un tiempo de exposición al campo magnético de 0,04 s

**Concentración celular:** Para determinar el número total de células en la suspensión se aplicó (1)

$$C_C = \frac{Total\ células\ contadas}{\#\ de\ cuadrantes \cdot 10^{-4}\ mL} \cdot \#\ dilución \qquad (1)$$

**Porciento de viabilidad:** La estimación de la viabilidad de una población celular sirve como una condición de control de calidad para instaurar el momento óptimo de utilización de dichas células. El porciento de viabilidad se calcula a través de (2).

$$\%\ de\ viabilidad\ = \left(\frac{N°\ de\ células\ viables}{N°\ total\ de\ células}\right) * 100 \qquad (2)$$

**Productividad:** Se refiere a la cantidad de biomasa producida durante un intervalo de tiempo específico y se determina por (3)

$$P_c = \frac{Xm - Xo}{\Delta t} \qquad (3)$$

**Velocidad especifica de crecimiento:** Se calculo por (4), donde dx- incremento diferencial de la biomasa por unidad de volumen en un tiempo diferencial dt, μ- velocidad específica de crecimiento, ($h^{-1}$), x- concentración de la biomasa, para un dt.

$$\mu = \frac{1}{x} * \frac{dx}{dt} \qquad (4)$$

**Tiempo de duplicación:** El tiempo de duplicación se determina partiendo del crecimiento exponencial, al obtener el doble de concentración inicial (5).

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu} \qquad (5)$$

**Factor de conversión de sustrato en célula:** El factor de conversión de sustrato en células se determina a través de la relación de la concentración celular con respecto a la variación de azúcares reductores totales (ART).

**Procesamiento estadístico de los resultados:** Se realizaron cinco réplicas por cada experimento. Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v.18. En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

**Simulación del proceso en SuperPro Designer:** Para la simulación se empleó el programa SuperPro Designer (v 9.0).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera generación experimental, a las 24 horas de fermentación, la concentración celular del tratamiento magnético (130 mT) fue $3,9 \cdot 10^8$ cél·$mL^{-1}$, ligeramente superior al control, aunque sin diferencia estadísticamente significativa. A las 48 horas el control superó al tratamiento magnético, alcanzando $9,48 \cdot 10^8$ cél·$mL^{-1}$, con una diferencia estadísticamente significativa. Esto sugiere un posible efecto epigenético en la descendencia, afectando la expresión genética sin alterar el ADN.

Luego de aplicado el campo magnético a las células hijas de la primera generación se observó el efecto que tuvo ese campo magnético en la descendencia. A las 24 horas de comenzada la fermentación, los experimentos tratados magnéticamente (TB1 y TB2) resultaron con mayor concentración celular con respecto a los controles (CB1 y CB2) con valores ligeramente superiores a 5,0·108 cél/mL.

La concentración celular del experimento al que se le repitió la dosis del campo magnético (TB2) continuó incrementándose, siendo su valor máximo de 6,13·108 cél/mL a las 48 horas. El mismo resultó ser el experimento donde se obtuvo la mayor concentración celular de la segunda generación. Esto

implica que el efecto de dosis repetida de campo magnético influyó positivamente en el crecimiento de la levadura, siendo más efectiva que una exposición única del campo magnético.

Los experimentos que recibieron una sola dosis de campo magnético (TB1 y CB2), a las 24 h, mostraron una diferencia de 1,1·108 cél/mL de concentración celular, siendo el de mayor valor el experimento tratado de la segunda generación proveniente del control de la primera generación (TB1). A las 48 h alcanzaron concentración celular muy similar, 5,55·108 cél/mL en el TB1 y 5,65·108 cél/mL en el CB2.

El experimento que mostró mayor velocidad específica de crecimiento fue el que recibió la dosis repetida de campo magnético (TB2), con valor de 0,11 $h^{-1}$. Esto significa que estas condiciones experimentales favorecieron la generación de biomasa en el mismo intervalo de tiempo. El experimento donde se obtuvo la menor velocidad fue el que no recibió tratamiento magnético en ningún experimento (CB1), con un valor de 0,08 $h^{-1}$. Esto contrasta con los valores del tiempo de duplicación ya que el experimento que logró mayor tiempo de duplicación, 8,68 h, fue el que no recibió tratamiento magnético en ningún experimento (CB1); y el experimento de menor tiempo empleó para duplicar las células fue el que recibió la dosis repetida de campo magnético, con valor de 6,25 h.

El experimento donde se obtuvo el menor contenido de azúcar, 18,11 %, fue el tratado de la segunda generación proveniente del control de la primera (TB1), indicando que la levadura consumió más azúcar a estas condiciones de experimentación. En los experimentos donde se realizó el tratamiento magnético a las células hijas del tratado de la primera generación (CB2 y TB2) se obtuvieron los menores consumos de azúcar (19,36 y 18,94 % respectivamente). Al comparar los resultados obtenidos en los experimentos con las células hijas del control de la primera generación, CB1 y TB1, se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas; lo mismo ocurre para las células hijas del tratado de la primera generación, CB2 y TB2.

En cuanto al factor de conversión de sustrato en célula no existen diferencias estadísticamente significativas entre los experimentos de la 1ra generación y los de la segunda generación.

El experimento con mayor productividad de biomasa fue CB2 con 0,00098 g de biomasa·$L^{-1}$·$h^{-1}$. A esta condición experimental fue la que se obtuvo el menor consumo de azúcar. Esto evidencia que con un solo pase de campo magnético de 130 mT a la primera generación de células se obtiene una mayor productividad con respecto a los otros experimentos.

A las 24 h de iniciado el proceso de fermentación de la primera generación experimental se observa una disminución del % de viabilidad en los experimentos estudiados en la primera generación. A ese tiempo, el tratado magnéticamente es mayor con un 90% de células vivas que el control (88,4 %). En el intervalo de 24 a 48 h la cantidad de células vivas en el control disminuyó poco, con una diferencia de 1 % de viabilidad, mientras que en el tratado magnéticamente disminuyó en un 3,5 %. Al finalizar este proceso a las 48 h, el control tuvo el mayor % de viabilidad, 87,4 %, pero es aproximado al obtenido en el tratado, por lo que la acción del campo magnético no influyó considerablemente en la cantidad de células vivas con respecto al control.

A las 24 h de iniciado el proceso de fermentación se observa una disminución del % de viabilidad en los experimentos estudiados en la segunda generación, obteniéndose el menor valor de viabilidad (86,64 %) en el experimento que no recibió tratamiento magnético en ningún momento (CB1) y el mayor (93,36 %) en el que recibió la dosis repetida de campo magnético (TB2). A las 48 h el comportamiento fue igual; el menor valor de viabilidad correspondió al experimento que no recibió tratamiento magnético en ningún momento (CB1) y el mayor (92,45 %) se obtuvo en el experimento que recibió la dosis repetida de campo magnético (TB2).

Se propuso una variante para la aplicación de campo magnético a la levadura estudiada a través de un programa de simulación llamado SuperPro Designer. En la figura 3.10 se representa el diagrama del proceso de los fermentadores con sus corrientes de entrada y de salida respectivamente.

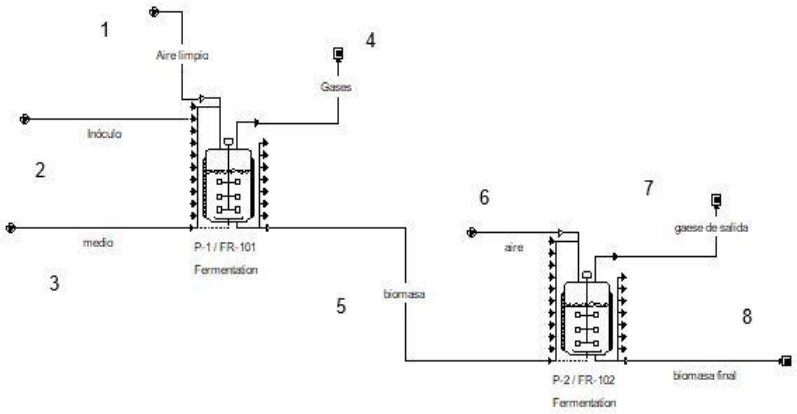



Figura 2: Diagrama de flujo de un fermentador simulado en el SuperPro Designer

En este diagrama se utilizaron cuatro variantes:
Variante 1: No aplicación del campo magnético (Figura 3)
Variante 2: Con un acondicionador magnético instalado en el primer fermentador (Figura 4)
Variante 3: Con un acondicionador magnético instalado en el segundo fermentador (Figura 5)
Variante 4: Con dos acondicionadores magnéticos instalados (1 en cada fermentador) (Figura 6)

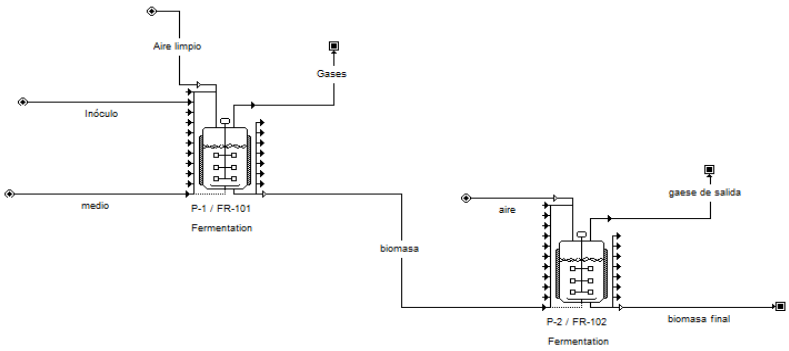



Figura 3: Primera variante del proceso productivo de la levadura. Dos fermentadores con sus respectivas corrientes sin la aplicación del campo magnético

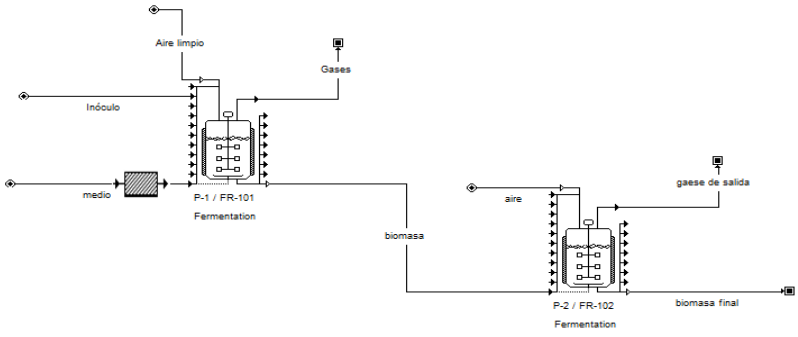



Figura 4: Segunda variante del proceso productivo de la levadura. Un acondicionador magnético ubicado en el primer fermentador

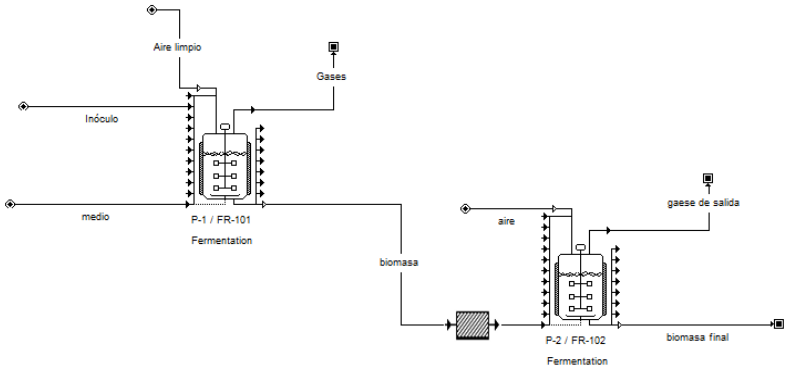



Figura 5: Tercera variante del proceso productivo de la levadura. Un acondicionador magnético ubicado en el segundo fermentador

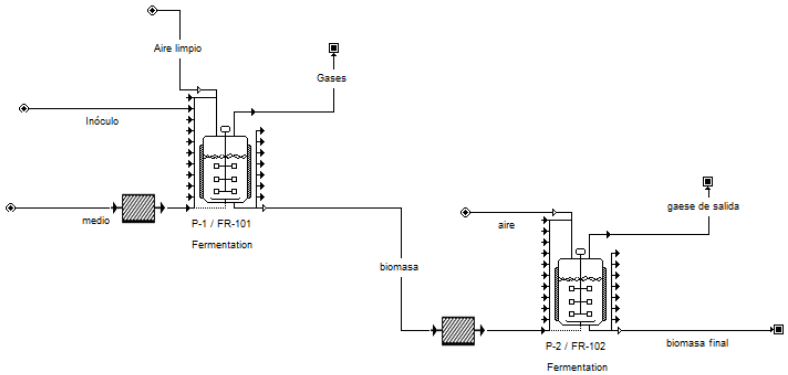



Figura 6: Cuarta variante del proceso productivo de la levadura. Un acondicionador magnético ubicado en cada fermentador

| Factores | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 |
|---|---|---|---|---|
| Inversión de capital total, $ | 5 763 000 | 5 939 000 | 5 939 000 | 5 945 000 |
| Inversión de capital cargada a este proyecto, $ | 5 763 000 | 5 939 000 | 5 939 000 | 5 945 000 |
| Costo operativo, $/año | 347 000 | 1 231 000 | 1 231 000 | 1 299 000 |
| Ingresos, $/año | 2 114 000 | 2 339 000 | 2 339 000 | 2 339 000 |
| Costo unitario neto de producción, $/kg | 1 552,06 | 1 387,06 | 1387,06 | 22,21 |
| Ingresos unitarios de producción, $/kg | 9 465,59 | 8564,62 | 8564,62 | 40,00 |
| Margen bruto, % | 83,60 | 47,37 | 47,37 | 44,46 |
| TIR (después de impuestos), % | 15,08 | 13,83 | 13,83 | 13,20 |
| VAN (al 7,0% de interés), $ | 2 994 000 | 2 651 000 | 2 653 000 | 2 356 000 |

Todas las variantes tienen inversiones de capital superiores a $5 500 000,00, siendo la variante 4 la que presenta la mayor inversión con un total de $5 945 000,00. En cuanto a los costos operativos, que abarcan todos los gastos desde la puesta en marcha del proyecto hasta el final de su vida útil, se observó que las variantes 2 y 3 tienen un costo anual de $1 231 000,00, mientras que la variante 4 presenta un costo de $1 299 000,00 y la variante 1 el más bajo con $347 000,00. Las variantes 2, 3 y 4 generan ingresos iguales de $2 339 000,00 al año. En relación al margen bruto, que es la diferencia entre el precio de venta y el costo de adquisición, la variante 1 destaca con un margen del 83,60%, seguida por las variantes 2 y 3 con un margen del 47,37%, y la variante 4 con el menor margen del 44,46%, aunque sigue siendo positivo. En términos de rentabilidad, se utilizaron los indicadores Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), donde se estableció que todos los proyectos son rentables ya que el VAN es mayor que

cero y la TIR supera la Tasa Mínima Aceptable de Rentabilidad (TMAR). La variante 1 se destaca con un VAN de $2 994 000,00 y una TIR del 15,08%.

## 4. CONCLUSIONES

- El efecto de dosis repetida de campo magnético influyó positivamente en el crecimiento de la levadura *Candida utilis* Y1084, destacándose TB2 con la mayor concentración celular de $6{,}13 \cdot 10^{8}$ cél·mL$^{-1}$ y el menor consumo de azúcar con 18,94 % con un tiempo de fermentación de 48 horas.
- El experimento que recibió dosis repetida de campo magnético mostró los mejores resultados de viabilidad, alcanzándose a las 48 h un valor máximo de 92,45 %, disminuyendo solo el 7,55 % de células vivas.
- Las 4 propuestas para la aplicación de campo magnético a la levadura *Candida utilis* Y1084, simuladas en el programa computacional SuperPro Designer, son rentables para los procesos productivo de esta levadura a escala industrial. La menor inversión de capital fue $ 5 763 000 y correspondió a la primera variante; la mayor fue para la cuarta variante con un valor de $ 5 945 000.

## RECONOCIMIENTOS

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Nacional CITMA PN3602LH002-082 “Incremento de la eficiencia de la producción de torula con uso de campo magnético.”

## REFERENCIAS

1. JARA HUACACOLQUI, E. L., et al. "Los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de La Libertad y la producción de biomasa de Candida utilis var. Major". *J Arnaldoa.* 2022, vol 29, núm. 1, p. 163-176.

2. ARIAS RODRÍGUEZ, C., et al. "Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento". *Chemical Technology.* 2023, vol 43, núm. 2, p. 309-330.

3. ANAYA, M., et al. "Influencia del campo magnético sobre el crecimiento de microorganismos patógenos ambientales aislados en el Archivo Nacional de la República de Cuba" 2015, vol 35, núm. 3, p. 325-336.

4. SALAZAR GARRIDO, J. S. Diseño de un medio de cultivo a partir de vinaza y miel de caña de azúcar para la producción de proteína unicelular de Candida utilis. Universidad Nacional de Colombia.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SELECCIÓN DE UNA VARIANTE PARA LA PURIFICACIÓN DE LEVADURA *CANDIDA UTILIS* Y1084 TRATADA CON CAMPO MAGNÉTICO

**Héctor Elpidio Tejera-Cisneros, Siannah María Más-Diego, Claudia Arias-Rodríguez, Gilberto González-Hernández**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
[1]e-mail: htejera@uo.edu.cu

**RESUMEN**

La proteína unicelular es un producto de alto valor añadido extraído de microorganismos. En Cuba, la producción de levadura *Candida utilis* constituye una tecnología de fermentación aeróbica seguida por etapas de separación por centrifugación, termólisis-concentración y secado. El parámetro que más afecta la producción de la planta es el rendimiento de biomasa en el sustrato. La aplicación de campos magnéticos en la obtención de proteína unicelular ha tenido resultados prometedores en el aumento de la tasa de crecimiento celular y la productividad de proteína, sin embargo, existe poca información científica sobre su influencia en la separación de la biomasa microbiana. Este trabajo tiene como objetivo seleccionar una variante para la purificación de levadura *Candida utilis* Y1084 tratada con campo magnético. Se determinó la influencia del campo magnético estático sobre las propiedades físicas de cultivos de *Candida utilis* Y1084. La selección de la mejor variante se realizó teniendo en cuenta los balances de masa y los reportes económicos realizados. La aplicación de una inducción de 100 mT a los cultivos de *Candida utilis* aumentó la densidad de la suspensión, la viscosidad, el tamaño de las partículas y la concentración de los cultivos. Además, disminuyó la densidad de las partículas y el sobrenadante del cultivo. Se seleccionó la propuesta tecnológica constituida por un filtro de tambor rotatorio al vacío seguido de una centrífuga de discos. Esta variante permite alcanzar una compensación entre el porciento de recuperación de biomasa y el costo de producción que garantiza la rentabilidad del proceso.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Candida utilis*

## SELECTION OF A VARIANT FOR THE PURIFICATION OF *CANDIDA UTILIS* Y1084 YEAST TREATED WITH MAGNETIC FIELDS.

**ABSTRACT**

Unicellular protein is a high value-added product extracted from microorganisms. In Cuba, the production of *Candida utilis* yeast constitutes an aerobic fermentation technology followed by separation stages by centrifugation, thermolysis-concentration and drying. The parameter that most affects plant production is the biomass yield in the substrate. The application of magnetic fields in the obtaining of unicellular protein has had promising results in increasing cell growth rate and protein productivity; however, there is little scientific information on its influence on the separation of microbial biomass. This work aims to select a variant for the purification of yeast *Candida utilis* Y1084 treated with magnetic field. The influence of the static magnetic field on the physical properties of Candida utilis Y1084 cultures was determined. The selection of the best variant was made taking into account mass balances and economic reports. The application of 100 mT induction to *Candida utilis* cultures increased the suspension density, viscosity, particle size and concentration of the cultures. In addition, it decreased particle density and culture supernatant. The technological proposal consisting of a vacuum rotary drum filter followed by a disc centrifuge was selected. This variant allows achieving a trade-off between the percentage of biomass recovery and the cost of production that guarantees the profitability of the process.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Candida utilis*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento demográfico y los cambios en el estilo de vida de las personas han aumentado la demanda global de productos de origen animal [1]. Estas exigencias, a su vez, generan mayor demanda de alimentos y piensos para la cría de animales de abasto [2]. Suplir los requerimientos proteicos de la alimentación de estas especies conlleva desafíos científicos encaminados al diseño de estrategias nutricionales y la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas [3].

La proteína unicelular o SCP (single cell protein, por sus siglas en inglés) es un producto de alto valor añadido con un rico contenido proteico extraído de microorganismos [4]. Las bacterias, las algas y los hongos pueden utilizarse como SCP y son la principal fuente de proteína microbiana [5]. La SCP se obtiene en un período de tiempo más corto, mucho más fácil y económico de cultivar y cosechar que los cultivos o el ganado [3].

La levadura es el microorganismo más favorable para la producción de proteínas microbianas debido a sus altas características nutricionales y aceptabilidad del consumidor [6]. Desde un punto de vista nutricional, las levaduras de cerveza y torula poseen altos niveles de proteína cruda y bajos niveles de grasa cruda y fibra. El suministro dietético de preparados de levadura en piensos para ganado, aves de corral y acuicultura aumentan el peso corporal, la eficiencia alimenticia y la salud e inmunidad de los animales [7]. La levadura seca activa es la forma más común de suministro de levadura en los piensos, pero también se puede proporcionar inactivada o fraccionada, aunque con mayores costos de producción [8].

Alrededor del 90% del costo de producción de biomasa se origina durante la purificación. El alto valor del equipamiento y el excesivo consumo de electricidad requerido para obtener la biomasa seca han disminuido la rentabilidad de los procesos de obtención de proteína celular. Otra alternativa que se ha aplicado en los últimos años para reducir este costo de producción es vender la levadura en crema. El principal factor que afecta la eficiencia de separación es el comportamiento de las partículas más pequeñas en el sistema, que se describe mediante la ley de Stokes. Determinar la técnica de recolección más adecuada depende de las propiedades de las suspensiones biológicas y del medio de fermentación, así como el tamaño y densidad de los microorganismos, y la viscosidad y densidad del medio de cultivo [9].

La aplicación de campos magnéticos en la obtención de proteína unicelular ha tenido resultados prometedores en el aumento de la tasa de crecimiento celular y la productividad de proteína. Además, se han analizado sus efectos sobre cambios en las propiedades físicas o químicas de masas de líquidos o gases en movimiento o estáticas, sin embargo, existe poca información científica sobre su influencia en la separación de la biomasa microbiana [10]. En presencia de campos magnéticos, las partículas forman estructuras que afectan profundamente las propiedades físicas, y particularmente, reológicas de las sustancias [11]. Estos cambios alteran la eficiencia de las técnicas de purificación de proteína unicelular y podrían conllevar a aumentar la rentabilidad de este proceso productivo.

El objetivo de este trabajo es seleccionar una variante para la purificación de levadura *Candida utilis* Y1084 tratada con campo magnético. Para ello, se simularán en SuperPro Designer diversas propuestas de purificación de esta cepa tratada con campo magnético estático, y así seleccionar una variante óptima para su purificación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en la sala de fermentaciones perteneciente al laboratorio de Microbiología del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), en la Universidad de Oriente, ubicada en Santiago de Cuba.

**Microorganismo**: se empleó una cepa de *Candida utilis* Y1084 procedente del Grupo de Microbiología-Genética perteneciente a la Dirección Biotecnológica del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Las cepas se conservaron en medio de cultivo sólido YPD

(Yeast extract – Peptone – Dextrose, por sus siglas en inglés): 1 % extracto de levadura, 2 % peptona, 2 % dextrosa y 2 % de agar bacteriológico disuelto en agua destilada [12].

**Medio de cultivo:** para la fermentación se elaboraron 6000 mL de medio de cultivo en fase líquida compuesto por sacarosa (20,00%), $KH_2PO_4$ (0,20%), $(NH_4)_2SO_4$ (0,30%), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,10%), extracto de levadura (0,40%) y peptona (0,36%). El resto de la mezcla se completa con agua destilada (78,64%).

**Determinación de la concentración celular**: se determinó la concentración celular ($C_C$, células/mL) por la ecuación (1).

$$C_C = \frac{Total\ Células\ Contadas}{\#\ de\ cuadrantes\ contados} \cdot F_C \cdot F_D \qquad (1)$$

**Determinación de la densidad**: Tanto la densidad de la suspensión como la del líquido claro se determinaron con un picnómetro de 25 mL por la ecuación (2).

$$\rho_s = \left(\frac{m_s - m_0}{m_1 - m_0}\right) * \rho_W \qquad (2)$$

**Determinación de la viscosidad**: la viscosidad se determinó con un viscosímetro de Ostwald por la ecuación (3).

$$\mu_s = \frac{\mu_W * \rho_S * t_S}{\rho_W * t_W} \qquad (3)$$

**Determinación del tamaño celular**: se tomó 1 mL de muestra y se preparó una dilución 1/100. Se tomó 0,5 mL de la solución para su lectura en la cámara de Neubauer. Con ayuda de una cámara para microscopio y el software ScopeImage DynamicPro se realizaron varias fotos de la muestra. Posteriormente con el software ImagenJ 1.54 se determinó el tamaño celular.

**Determinación de la eficiencia de centrifugación**: Se realizó un conteo celular a las muestras antes y después de centrifugadas. La eficiencia de la separación se calculó a partir de la ecuación (4).

$$\xi = 1 - \left(\frac{C_A}{C_D}\right) \qquad (4)$$

**Tratamiento magnético:** para el tratamiento magnético se usó una bomba peristáltica con una velocidad de 0,323 m•s-1 y tiempo de exposición al campo magnético de 0,158 s, llevando el medio de cultivo con microorganismos de un erlenmeyer a otro, mediante una manguera de silicona de diámetro interno de 5 mm. Esta manguera tiene acoplado un acondicionador magnético de Neodimio-Hierro-Boro con una inducción del campo en la región de trabajo de 100 mT. Se realizó un pase por el campo magnético a cada experimento. La fermentación se realizó con agitación constante de 150 ± 10 r.p.m y temperatura 30 ± 2 °C.

**Procesamiento estadístico de los datos**: se realizaron tres réplicas por cada experimento. Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v. 2018. La prueba empleada fue la comparación de medias para grupos homogéneos mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) simple con $p \leq 0,05$ seguido por Pruebas de Rangos Múltiples (procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher) después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas [13]. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

**Simulación del proceso**: la simulación se realizó en el programa SuperPro Designer v 9.0.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos durante la determinación de la concentración celular de los cultivos de *Candida utilis*.

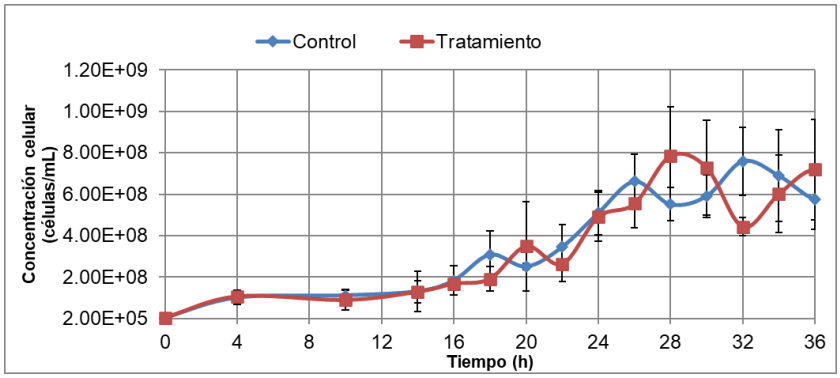



Figura 1: Concentración celular de los cultivos de *Candida utilis* Y1084 tratada magnéticamente a 100 mT y del control.

Durante el experimentó se alcanzó para el control una productividad celular de $2{,}4*10^{8}$ células*$mL^{-1}$*$h^{-1}$ y para el tratado $2{,}8*10^{8}$ células*$mL^{-1}$*$h^{-1}$. El tratamiento del cultivo *Candida utilis* Y1084 con 100 mT permite alcanzar la máxima productividad celular en menor tiempo. Cuando el control obtuvo mayor productividad (32 horas) se determinó una concentración de biomasa de 41,9 g*$L^{-1}$ y en el tratado (28 horas) 43,1 g*$L^{-1}$.

Durante el experimento se realizó el seguimiento de la variación de las propiedades físicas de los cultivos. En la purificación se consideran las propiedades físicas de las muestras una vez terminada la fermentación. El proceso fermentativo culmina una vez alcanzada la máxima concentración celular. Esta etapa se corresponde con las 32 horas para el control y las 28 horas para el tratado.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos durante la determinación de la densidad de la suspensión.

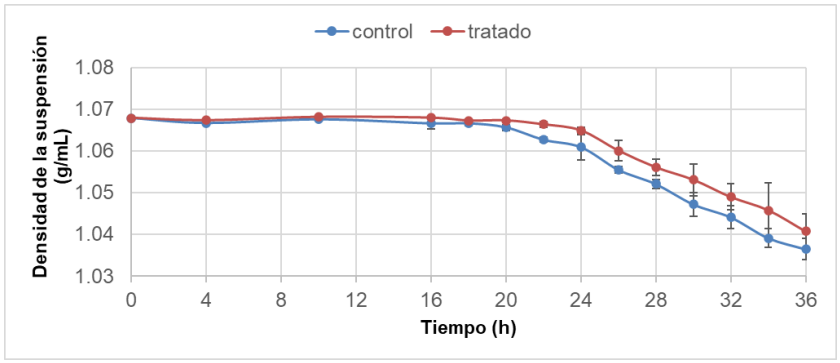



Figura 2: Densidad de las muestras de *Candida utilis* Y1084 tratada magnéticamente a 100 mT y del control.

A lo largo del proceso de fermentación la densidad de las muestras disminuye. Este comportamiento se debe a que las levaduras durante su crecimiento toman los nutrientes del medio necesarios para su crecimiento y los transforman en componentes secundarios menos densos que el sustrato. En [14] coinciden que el tiempo de fermentación es un factor que influye en la densidad de la fermentación de una bebida alcohólica a base de pitahaya amarilla (*H. megalanthus*) con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* de manera negativa, es decir que, a mayor tiempo de fermentación, la densidad de la bebida alcohólica es menor. En [15] le atribuye esta disminución a la formación de alcohol y otros productos (deseados y no deseados). Los cerveceros utilizan el término atenuación aparente para referirse a la reducción de la densidad o de la gravedad específica del mosto durante la fermentación [16].

La Figura 3 muestra los promedios de las mediciones realizadas al determinar la densidad del sobrenadante de las muestras.

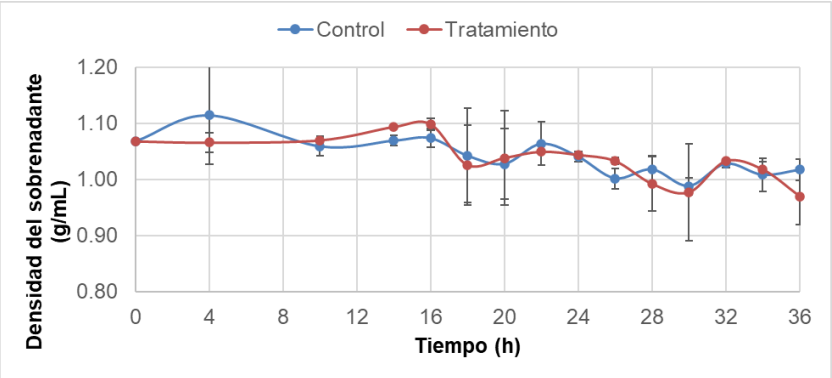



Figura 3: Densidad del sobrenadante de Candida utilis Y1084 tratada magnéticamente a 100 mT y del control.

La densidad de la suspensión en ambas muestras mantiene un comportamiento similar. Este factor indica que la densidad de la suspensión del experimento tratado magnéticamente es mayor debido al efecto de la concentración celular (Figura 1) y no al de la suspensión del sobrenadante. Al determinar la densidad de las partículas se obtuvo para el control un valor de 1484,82 kg/m$^3$ y para el tratamiento 1462,63 kg/m$^3$. En [17] se explica que, al centrifugar, las partículas de mayor tamaño quedan en el fondo y las más pequeñas arriba, entonces al coger el sobrenadante, esto podría causar una mayor incertidumbre en los resultados.

En [18] se explica que la variación entre las densidades del mismo material a diferentes tamaños de partícula depende de los poros y espacios intersticiales presentados en su acomodación. La densidad de los materiales aumenta mientras el tamaño de partícula disminuye.

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos durante la determinación de la viscosidad de la suspensión. La formación de metabolitos secundarios durante la fermentación y el aumento de la productividad influye en la resistencia de la muestra al flujo bajo fuerzas gravitacionales. El tratamiento magnético aumenta la viscosidad de los cultivos de levadura *Candida utilis*. Al aumentar la cantidad de partículas insolubles, ricas en β-glucanos y mananoproteínas con alta capacidad de retención de agua, aumenta la viscosidad de la fase continua [19]. [20] concuerda con que los polisacáridos y las mananoproteínas de las levaduras liberadas durante la fermentación aumentan la viscosidad de las muestras. [21] obtuvo mayor viscosidad aparente en su investigación cuando el contenido de sólidos totales fue superior.

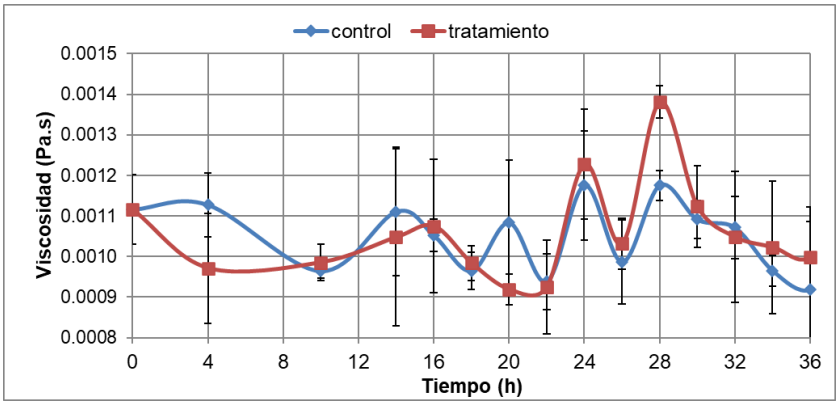



Figura 4: Viscosidad de las muestras de Candida utilis Y1084 tratada magnéticamente a 100 mT y del control.

Al determinar el tamaño de las partículas una vez culminada la fermentación se obtuvo para el control un diámetro promedio de 41,2 µm y para el tratado 49,9 µm. Los resultados se obtuvieron a partir de los datos determinados en *ImagenJ* 1.54. La Figura 5 representa una muestra de las imágenes al microscopio óptico con lente de 100X.

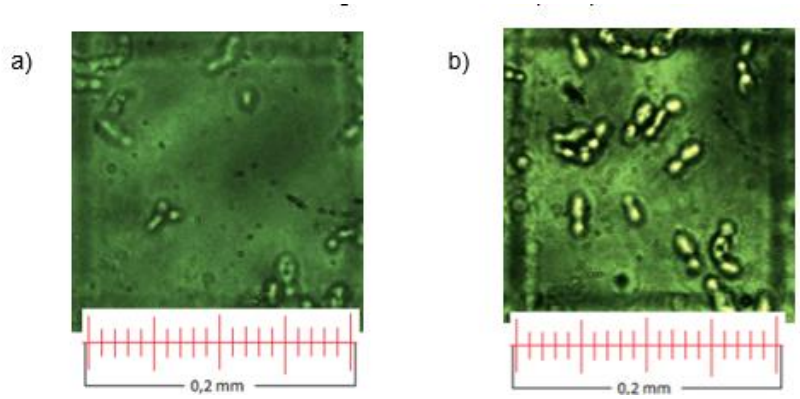



Figura 5: Imágenes al microscopio óptico con lente de 100X. Células de Candida utilis Y1084, a) sin tratamiento magnético; b) tratadas magnéticamente a 100 mT.

En la figura 3.4 se observa que las células tratadas magnéticamente forman pequeños aglomerados celulares. En [22] se reconoce que, en este caso, el aumento de tamaño en las partículas se debe a la fusión de las partículas más pequeñas. [23] sugieren que el tamaño de los aglomerados podría ser controlado en función de la intensidad del campo magnético externo aplicado

La purificación comienza una vez terminada la fermentación. La Tabla 1 muestra un resumen de las propiedades físicas consideradas para ambas muestras en la simulación.

Tabla 1: Propiedades físicas de los cultivos al entrar a la etapa de purificación

| **Propiedad física** | **Control (32 horas)** | **Tratado (28 horas)** |
|---|---|---|
| Densidad de la suspensión (kg/m$^3$) | 1 044,11 | 1 056,01 |
| Densidad del sobrenadante (kg/m$^3$) | 1 028,20 | 992,20 |
| Densidad de las partículas (kg/m$^3$) | 1 484,82 | 1 462,63 |
| Concentración de biomasa (kg/m$^3$) | 41,9 | 43,1 |
| Viscosidad de la suspensión (Pa.s) | 1,05E-03 | 1,38E-03 |
| Diámetro de las partículas (m) | 4,12E-05 | 4,99E-05 |

Para la simulación se proponen cuatro combinaciones de filtros y centrífugas. La primera alternativa está formada por dos centrífugas de discos, corresponde con la estructura tradicional empleada en las plantas cubanas. La segunda, conformada únicamente por un filtro rotatorio al vacío. En esta variante se desecha la opción de instalar dos equipos en serie pues está configuración no presenta ninguna ventaja técnica. La tercera y cuarta están constituida por centrífuga-filtro y filtro-centrífuga respectivamente. La Figura 6 muestra las simulaciones de las propuestas realizadas.

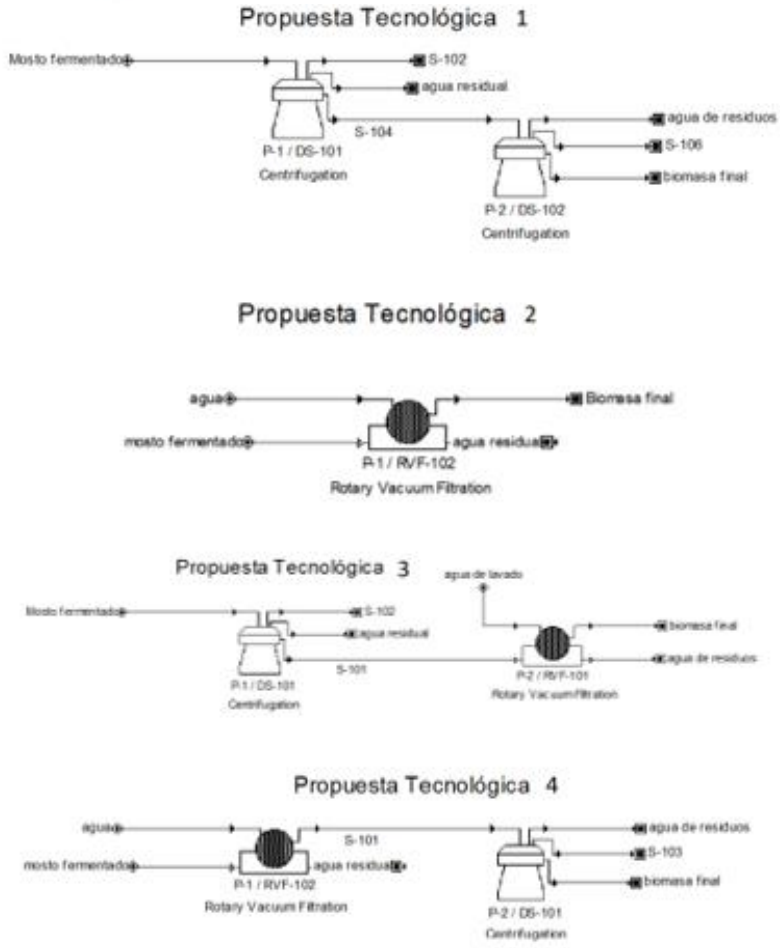



Figura 6: Simulaciones de las propuestas realizadas en el SuperPro Designer v. 9.0.

Se realizó la evaluación económica de cada propuesta utilizando las herramientas brindadas por el SuperPro Designer (Tabla 2). Uno de los criterios más importantes a tener en cuenta para la selección de la alternativa es el % de recuperación de la biomasa.

Tabla 2: Análisis de factibilidad de las propuestas tecnológicas.

| **Criterio** | **Propuesta 1** | | **Propuesta 2** | | **Propuesta 3** | | **Propuesta 4** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Control** | **Tratado** | **Control** | **Tratado** | **Control** | **Tratado** | **Control** | **Tratado** |
| Inversión Total (M$) | 2419 | 2419 | 1440 | 1407 | 2012 | 1980 | 2608 | 2576 |
| Costo de operación (M$/año) | 2498 | 2498 | 814 | 806 | 1436 | 1440 | 1548 | 1552 |
| Corriente de salida (kg/batch) | 40,79 | 41,95 | 48,99 | 50,02 | 48,34 | 49,4 | 33,07 | 34,02 |
| Biomasa recuperada (kg/batch) | 40,79 | 41,95 | 33,52 | 34,48 | 33,07 | 34,02 | 33,07 | 34,02 |
| Recuperación (%) | 97,35 | 97,33 | 80 | 80 | 78,93 | 78,93 | 78,93 | 78,93 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Agua residual (%) | 0 | 0 | 31,58 | 31,07 | 31,59 | 31,13 | 0 | 0 |
| TIR (%) (después de los impuestos) | 12,73 | 14,61 | 325.08 | 295,08 | 26,33 | 27,89 | 20,55 | 21,8 |
| VAN (M$) (7% intereses) | 1219 | 1645 | 150161 | 122011 | 3707 | 4018 | 3019 | 3328 |

El tratamiento magnético aumenta la rentabilidad del proceso productivo. Esto se debe al aumento de la productividad celular en menor tiempo que tiene lugar durante la fermentación. La filtración al ser una operación menos costosa que la centrifugación, al requerirse un solo filtro rotatorio en la planta, provoca que esta sea la alternativa más rentable. No obstante, el elevado contenido de agua residual contenido en la corriente de salida resta atractivo a esta opción. La producción de levadura en polvo garantiza periodos de conservación de la proteína celular más largos. Al usar esta propuesta se necesitaría una posterior etapa de concentración y secado más costosa que disminuiría la rentabilidad del proceso. Este mismo criterio descarta el empleo de la variante tres.

La utilización de una centrífuga al final de la purificación garantiza un grado de concentración de levadura (sin agua residual) favorecedora para evitar posteriores gastos en etapas de concentración y secado. Las técnicas tradicionales empleadas en Cuba para esta operación son rentables. Además, permiten obtener pérdidas mínimas de biomasa microbiana. Sin embargo, el empleo de filtros, en la primera etapa, por ser equipos menos costosos conducen a la valoración de la propuesta cuatro como una opción viable para el proceso. Las pérdidas de proteína ocasionadas en la filtración son compensadas por el bajo costo de equipamiento y operación de estas máquinas. Teniendo en cuenta estas consideraciones se seleccionó la variante 4 como la más factible para llevar a cabo la purificación de levadura Candida utilis tratada magnéticamente.

La Tabla 3 muestra las características de los equipos que conforman la propuesta 4.

Tabla 3: Características de los equipos que conforman la propuesta 4.

| **Filtro rotatorio** | | **Centrífuga de discos** | |
|---|---|---|---|
| **Criterio** | **Valor** | **Criterio** | **Valor** |
| Área de filtrado | 27,46 $m^2$ | Factor sigma | 0,02 $m^2$ |
| Tiempo de filtración | 1325,74 s | Tiempo de centrifugación | 14400 s |
| Costo del equipo | $ 167000 | Costo del equipo | $ 138000 |
| Porosidad de la torta | 0,4 v/v | % remoción de biomasa | 98.66% |
| Consumo energético | 1,1 $kW/m^2$ | Consumo energético | 3 kW/h |
| Material de construcción | Acero al carbono | Material de construcción | Acero al carbono |
| Caudal de líquido para lavado | 50,27 L/ciclo | Eficiencia de sedimentación | 30% |

## 4. CONCLUSIONES

1. La aplicación de una inducción de 100 mT a los cultivos de *Candida utilis* provoca el aumento de la densidad de la suspensión, la viscosidad, el tamaño de las partículas y la concentración de los cultivos. Además, disminuye la densidad de las partículas y el sobrenadante del cultivo.
2. Se simularon en el SuperPro Designer v.9.0 cuatro alternativas para la purificación del mosto fermentando utilizando combinaciones de filtros rotatorios y centrífugas de discos.
3. Para la purificación de *Candida utilis* Y1084 tratada con campo magnético se seleccionó la propuesta tecnológica 4 conformada por un filtro de tambor rotatorio al vacío y una centrífuga de discos.

**RECONOCIMIENTOS**

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Nacional CITMA PN3602LH002-082 "Incremento de la eficiencia de la producción de torula con uso de campo magnético."

**REFERENCIAS**

1. VOUTILAINEN, E., V. PIHLAJANIEMI AND T. PARVIAINEN Economic comparison of food protein production with single-cell organisms from lignocellulose side-streams. *Bioresource Technology Reports*, 2021, 14, 100683. [Consultado el 20 de febrero de 2024]. ISSN 2589-014X. DOI: 10.1016/j.biteb.2021.100683.
2. RODRÍGUEZ CHACÓN, A. M. *Propuesta de alternativas de producción de proteína para alimentación animal a partir de insectos en Colombia*. Trabajo de grado Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2020.
3. JACH, M. E., A. SEREFKO, M. ZIAJA AND M. KIELISZEK Yeast protein as an easily accessible food source. *Metabolites*, 2022, 12(1), 63. [Consultado el 20 de febrero de 2024]. ISSN 2218-1989. DOI: 10.3390/metabo12010063
4. JALASUTRAM, V., S. KATARAM, B. GANDU AND G. R. ANUPOJU Single cell protein production from digested and undigested poultry litter by Candida utilis: optimization of process parameters using response surface methodology. *Clean technologies and environmental policy*, 2013, 15, 265-273.ISSN 1618-954X. DOI 10.1007/s10098-012-0504-3.
5. MBUTO, E. J. *Influence of Torula yeast (Candida utilis) as a Fishmeal replacer on rheological and physical qualities of pelleted shrimp feed*. Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2017.
6. MAHMOUD HELAL, M., A. A. MILIGII, M. F. OSMAN AND F. R. HUSSEIN Optimizing Conditions of Single Cell Protein Production from Potato Processing Waste by Candida utilis. *Eurasian Journal of Medical and Biological Sciences*, 2022, 2(2), 55-64. ISSN 2757-8453.
7. PATTERSON, R., A. ROGIEWICZ, E. G. KIARIE AND B. A. SLOMINSKI Yeast derivatives as a source of bioactive components in animal nutrition: A brief review. *Frontiers in Veterinary Science*, 2023, 9, 1067383. [Consultado el 26 de febrero de 2024]. ISSN 2297-1769. DOI: 10.3389/fvets.2022.1067383.
8. VERSTREPEN, L., M. CALATAYUD-ARROYO, C. DUYSBURGH, J. DE MEDTS, et al. Amino Acid Digestibility of Different Formulations of Torula Yeast in an In Vitro Porcine Gastrointestinal Digestion Model and Their Protective Effects on Barrier Function and Inflammation in a Caco-2/THP1Co-Culture Model. *Animals*, 2023, 13(18), 2812.ISSN 2076-2615. https://doi.org/10.3390/ani13182812.
9. NAJJAR, Y. S. AND A. ABU-SHAMLEH Harvesting of microalgae by centrifugation for biodiesel production: A review. *Algal Research*, 2020, 51, 102046.[Consultado el 29 de febrero de 2024].ISSN 2211-9264. DOI: 10.1016/j.algal.2020.102046.
10. SUÁREZ RIVERO, D. *Efecto de campos electromagnéticos inducidos a baja intensidad sobre procesos morfo-fisiológicos y de productividad de Zea mays L. var Porva, como alternativa tecnológica sostenible para la producción agrícola*. Tesis de doctorado Universidad Nacional de Costa Rica, 2023.
11. CAMACHO VILLAR, G. *Autoensamblado Coloidal y Reología bajo Campos Magn´eticos Pulsantes*. Tesis de Maestría Universidad de Granada, 2021.
12. GARRIDO-HUARTE, J. L. *Análisis funcional de las proteínas ORF3a, ORF6 y Orf7a del SARS-CoV-2 en levadura*. Universidad Politécnica de Valencia, 2021.
13. MONTGOMERY, D. C. *Design and analysis of experiments*. Edtion ed. Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc, 2017. ISBN 9781119113478.
14. DIAZ PEREZ, J. Y. AND Y. R. ALARCON LLAMO. *Determinación de Parámetros de Fermentación para la Obtención de una Bebida Alcohólica a Base de Pitahaya (Hylocereus Megalanthus)*. Tesis de Titulación Universidad Nacional de Jaén, 2022.
15. CEVALLOS PINO, I. A., G. B. FRÍAS LEÓN AND D. DE CECCHIS DE LEON. *Optimización dinámica de la temperatura del proceso de fermentación para una cervecería artesanal en Guayaquil*. Tesis de Diploma Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2022.

16. GUARANDA CHANCAY, E. F. *Evaluación del poder floculante de la planta cadillo (Genus triumfetta) en la clarificación de una cerveza artesanal tipo APA (American Pale Ale)"*. Trabajo de titulación UPEC, 2021.
17. BERDEJO EMBID, L. AND J. M. MIR MARÍN. *DETERMINACIÓN DE PLATA MEDIANTE EAA CON LLAMA EN MATERIAL BOLÓGICO. INFLUENCIA DEL TIPO DE MUESTRA Y LA PUESTA EN DISOLUCIÓN DE LA MISMA SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS*. Trabajo de Grado Universidad de Zaragoza 2020.
18. HERNÁNDEZ SOLÓRZANO, L. C. *Análisis de la incidencia del cambio de parámetros de fabricación en las propiedades mecánicas, físicas, químicas y de combustión de pellets de biomasa fabricados a partir de mezclas de aserrín de pino y carbón*. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia, 2020.
19. SCENI, P. *Ingredientes multicomponentes a partir de levadura. Estudio de sus propiedades interfaciales y su aplicación en alimentos*. Universidad Nacional de Quilmes, 2021.
20. RODRÍGUEZ, A. LEVADURAS NO RECOMBINANTES SUPERPRODUCTORAS DE MANOPROTEÍNAS Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE CONGÉNERES EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA. In E. UNEY ed. *Contribuciones Investigativas en Ciencia y Tecnología.* 2022, p. 63.
21. AGUILAR MENDOZA, R. E. *Propiedades y características reológicas aplicadas en el yogur*. Trabajo de Titulación Riobamba Universidad Nacional de Chimborazo, 2021.
22. MÁRQUEZ AGUILAR, G. *Estudio de las propiedades magnéticas en los compósitos de óxido de grafeno reducido con la perovskita La0. 7Sr0. 205Ca0. 095MnO3 para su aplicación en hipertermia magnética*. Tesis de Maestría Universidad Autónoma de Nuevo León, 2022.
23. BENÍTEZ-GUERRA, N., C. E. MARTÍNEZ-MANRIQUE, L. BARCAZ-ROSALES, Á. L. PELEGRÍN-GAMBOA, et al. Estabilidad en el tiempo de relajación magnética de la solución CM-95. *Ars Pharmaceutica*.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL CRECIMIENTO CELULAR DE *LECANICILLIUM LECANII* Y-57

**Dalgis Gerrero-Barriel[*1], Siannah María Más-Diego, Héctor Elpidio Tejera-Cisneros, Diana Salmon-Perera**

Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal. Santiago de Cuba
[1]e-mail: siannah@uo.edu.cu

**RESUMEN**

En la actualidad han surgido nuevas alternativas de soluciones que tratan de reducir el impacto ambiental en la actividad agrícola, mediante el uso de agentes biológicos para el control de plagas, lo que además permite asegurar la sostenibilidad agrícola. Los microorganismos entomopatógenos constituyen una herramienta importante en este manejo. *Lecanicillium lecanii* es uno de los hongos más utilizados en el control de áfidos. Dada su importancia se realiza la investigación en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal (LAPROSAV), en un período comprendido de enero a julio del 2022, con el objetivo de evaluar la calidad de la cepa *Lecanicillium lecanii* (Y-57) con la aplicación del campo magnético de 80 mT y con ello una mejor efectividad técnica en los cultivos en correspondencia con las demandas según programas priorizados. Se empleó el Diseño de un Factor y se exploró en cuatro niveles del tiempo de exposición al campo magnético: 15, 30, 45 y 60 minutos, para los que se realizaron tres réplicas en cada uno de ellos. La aplicación del campo magnético se realizó al sexto día de inoculación de la cepa, se evaluó el crecimiento, viabilidad y capacidad patogénica para cada uno de los tratamientos. A los datos particulares obtenidos para cada indicador, se les aplicó un ANOVA de clasificación simple con p<0,05%. Para el tratamiento con campo magnético de inducción de 80 mT con 30 min se obtuvo el mejor resultado.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Lecanicillium lecanii*

## INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON CELL GROWTH OF *LECANICILLIUM LECANII* Y57.

**ABSTRACT**

Currently, new alternative solutions have emerged that seek to reduce the environmental impact of agricultural activity through the use of biological agents for pest control, which also ensures agricultural sustainability. Entomopathogenic microorganisms are an important tool in this management. *Lecanicillium lecanii* is one of the most widely used fungi in aphid control. Given its importance, the research was carried out at the Provincial Laboratory of Plant Health (LAPROSAV), from January to July 2022, with the objective of evaluating the quality of the *Lecanicillium lecanii* strain (Y-57) with the application of the 80 mT magnetic field and thus a better technical effectiveness in the crops in correspondence with the demands according to prioritized programs. The One Factor Design was used and was explored at four levels of exposure time to the magnetic field: 15, 30, 45 and 60 minutes, for which three replicates were carried out in each one of them. The application of the magnetic field was performed on the sixth day of inoculation of the strain, and the growth, viability and pathogenic capacity were evaluated for each of the treatments. A simple rank ANOVA with p<0.05% was applied to the particular data obtained for each indicator. The best result was obtained for the treatment with a magnetic induction field of 80 mT with 30 min.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Lecanicillium lecanii*

## 1. INTRODUCCIÓN

El principal beneficio para la agricultura es el antagonismo con microorganismos patógenos de las plantas, por su capacidad de producir secreciones toxicas extracelulares que causan desintegración y muerte en los hongos fitopatógenos que habitan en el suelo (micoparasitismo), en la degradación de paredes celulares de las hifas de hongos patógenos (depredación), en la producción de químicos volátiles antibióticos antifúngicos que inhiben basidiomicetos (amensalismo) en la competencia por oxígeno, nutrientes y espacio en el suelo y por su gran adaptabilidad y rápido desarrollo. [1]

La utilización de los hongos entomopatógenos en la agricultura ha ido en aumento en los últimos años debido al gran potencial que tienen en el manejo de plagas, representando una alternativa eficiente al uso de insecticidas químicos, considerados altamente nocivos para la salud del hombre y los ecosistemas [2].

Según lo reportado por [3], se ha registrado que *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare y W. Gams 2001, controla veinte especies, pertenecen a la familia Coccidae, diez especies a la familia Diaspidida, diez especies a la familia Pseudococcidae, una especie a la familia Margarodida y una especie a la familia Phoenicococcida. *Lecanicillium lecanii* es un biorregulador natural de plagas de importancia económica, como la mosquita blanca, pulgones, trips y roya del café, además de ser considerado una alternativa ambiental de control. [4]

La temperatura de la región donde vaya a ser empleado *Lecanicillium lecanii*, como agente de control biológico, es decisiva para el éxito del hongo en campo, debido a que constituye un factor climático importante que afecta no sólo el crecimiento de los hongos entomopatógeno sino también su eficacia como agente de control biológico al incidir en la esporulación y germinación de conidios, en la tasa de invasión y en la virulencia del hongo. [5]

La necesidad de la producción industrial de microorganismos biocontroladores de plagas está asociada al empleo masivo de cualquiera de estos agentes lo que implica la reproducción de los mismos a escala industrial, lo cual determina la necesidad de desarrollar y emplear los procesos biotecnológicos correspondientes.

En el desarrollo de la biotecnología, los efectos del campo electromagnético, han cobrado una fuerza notable. Muchos investigadores han venido estudiando los efectos biológicos de este fenómeno físico. En este sentido se ha considerado el empleo de sistemas para el tratamiento electromagnético sobre la materia viva, incluyendo sistemas unicelulares, células animales y vegetales; partiendo del criterio de la influencia que los campos electromagnéticos de baja intensidad ejercen sobre los sistemas biológicos [6].

Se han publicado numerosos artículos acerca del empleo del tratamiento electromagnético de cultivos celulares como alternativa para el aumento de la eficiencia de estos sistemas, debido a los efectos que los campos electromagnéticos ejercen sobre el material biológico. [7]

Basado en los estudios de campo magnético para la mejora de la calidad de determinados microorganismos y la necesidad de nuestro país de aumentar el uso de bioplaguicidas para el control de plagas, ante la carencia de plaguicidas químicos, se buscan alternativas que mejoren la calidad de los entomopatógenos utilizados en el control de plagas agrícolas.

Por lo anteriormente planteado, a través de este trabajo se realiza un estudio del efecto de campo magnético con una inducción de 80 mT en diferentes tiempos, a la cepa de *Lecanicillium lecanii* (Y-57), biocontrol de *Aphis gosiipy* y otros, y así evaluar la calidad de este hongo entomopatógeno.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, en el departamento de Entomopatógenos, ubicado en Carretera de Siboney Km 6 ½ La Redonda, Municipio de Santiago Cuba.

El microorganismo empleado Lecanicillium Lecanii (Cepa Y-57), proveniente del banco de cepas del Instituto Nacional de Sanidad Vegetal (INISAV), La Habana y conservada en el banco de cepas del Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, Santiago de Cuba. Se utilizó como medio de conservación Agar Papa Dextrosa (PDA, por sus siglas en inglés).

**Tratamiento magnético:** se empleó un imán de campo constante de 80 Mt y no homogéneo modelo IP 1000-12 suministrado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Se aplicó campo magnético 80 mT con inducción media, en tiempos de 15, 30, 45 y 60 minutos, a partir del sexto día de inoculación de la cepa, para los que se realizaron 3 réplicas en cada uno de ellos.

**Prueba de viabilidad**: para realizar la prueba de viabilidad de *Lecanicillium lecanii*, se pesa 1 g del producto sólido y se realizan diluciones hasta observar en la cámara tres o cuatro esporas por cuadrante. Posteriormente, se siembran 0,01 mL de la muestra en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) en cámaras húmedas y se incuban a 25 °C durante 18 a 24 horas. Después, se seleccionan 100 esporas y se cuentan las no germinadas en portaobjetos para calcular el porcentaje de esporas germinadas (1).

$$\% \text{ de esporas germinadas} = 100 - \text{conteo de esporas no germinadas} \quad (1)$$

**Determinación de la concentración de esporas:** se realizó mediante el conteo en Cámara de Neubauer tomando 1 g del producto solido de Lecanicillium lecanii y se realizando disoluciones decimales seriadas en tubos de ensayos con agua destilada previamente esterilizados más Tween-80 al 0,05%. Luego se carga la cámara con un tubo capilar estéril y se evita burbujas de aire, se reposar por dos minutos y se procedió a contar las células. Si el conteo es menor de 30 células en toda la cámara de conteo, entonces tomar de la dilución anterior. Se aplica la formula (2) y se repite el conteo en la otra cámara de conteo del hemocitómetro y aplicar igual formula anterior y finalmente se halla el valor promedio de concentración de conidios por g -1.

$$\text{células/g} = \text{conteo total} \times 5 \times \text{dilución conteo}^{-1} \quad (2)$$

**Ensayo in vitro para determinar capacidad patogénica:** Para el bioensayo realizado, se cumple con el procedimiento descrito por Márquez et al., 2010 del Instituto Nacional de sanidad vegetal, donde se utilizaron estadios inmaduros de áfidos (Familia Aphidae) criados en el Laboratorio Provincial (para evitar error experimental) y hojas de habichuela, las que se lavan con agua destilada esterilizada previamente, se secan con papel de filtro estéril y se colocan en placas Petri sobre discos de papel de filtro humedecidos con agua destilada estéril, se ubican 25 individuos para el control y 25 individuos para la variante. Se realizaron 3 réplicas con las mismas condiciones. Se realizan observaciones de los tres días a siete días, luego se cuantifican los individuos vivos y muertos antes y después de los tratamientos a los cinco y siete días, en las variantes testigo y tratadas con campo magnético respectivamente. Los insectos muertos son recuperados, se lavan con hipoclorito de sodio (2%) y abundante agua destilada y se llevan a cámara húmeda para verificar la causa de la mortalidad. Finalmente se calcula el porciento de Mortalidad mediante la fórmula de ABBOTT (3).

$$\% \text{ mortalidad} = (\text{ind. vivos} - \text{ind. muertos}) * \text{ind. vivos}^{-1} * 100 \quad (3)$$

**Procesamiento estadístico:** Se empleó el programa computacional Statgraphics Centurion v.18. En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. Para graficar los resultados obtenidos durante el ensayo experimental se utilizó Microsoft Excel v. 2019.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los resultados de la viabilidad de Lecanicillium lecanii (Cepa Y-57) con aplicación del campo magnético a diferentes tiempos de exposición.

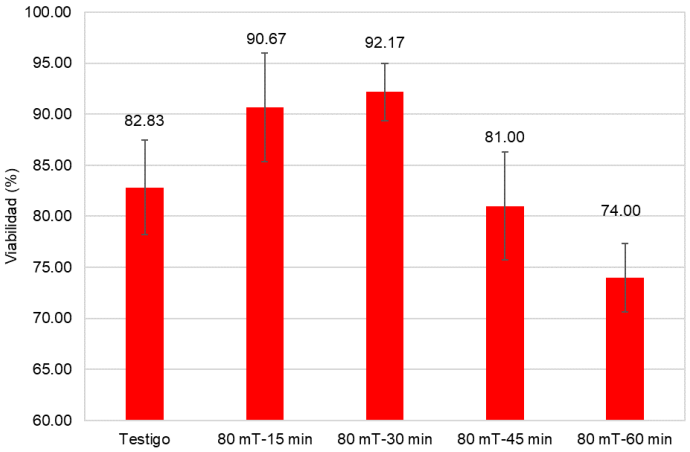



Figura 1: Efecto del tiempo de exposición en la viabilidad de *Lecanicillium lecanii* Y-57.

Los resultados mostrados en la figura 6 indican que el tratamiento con un campo magnético de inducción media de 80 mT durante 30 minutos produce los mejores resultados en viabilidad, mientras que la exposición de 60 minutos genera el menor porcentaje, con un 74%, y los demás tiempos superan el 80%. Dado que se requiere una viabilidad superior al 80% para cumplir con los estándares de calidad, el tratamiento de 80 mT a 60 minutos no es adecuado para mejorar la calidad del bioproducto. Cabe destacar que los efectos del campo magnético son específicos a ciertos rangos de inducción y tiempo, conocido como "efecto ventana", y que exposiciones prolongadas pueden provocar efectos mutagénicos y morfológicos en los microorganismos. [7]

Más Diego y colaboradores en el 2017 [8] afirma que los estudios realizados en laboratorios bajo condiciones bien controladas, apoyan fuertemente la existencia de una relación significativa entre los campos magnéticos y una amplia variedad de procesos biológicos a nivel celular.

Investigación descrita por [5] se plantea el efecto de los campos magnéticos moderados, a menudo se relaciona con cambios en la membrana celular o en la conformación celular, que se reflejan en el aumento del número de células y la viabilidad.

A partir de los resultados obtenidos para el análisis de la concentración de la cepa de *Lecanicillium lecanii* con tratamiento magnético de 80 mT, se obtuvieron los datos representados en la Figura 2.

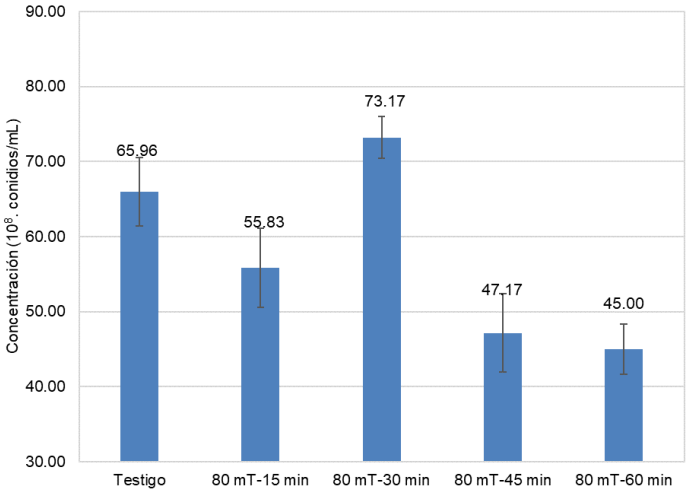



Figura 2: Efecto del tiempo de exposición en la concentración de conidios de *Lecanicillium lecanii* Y-57.

Se observa que para el tratamiento con campo magnético de inducción media de 80 mT el tiempo de 30 min es donde se observan los mejores resultados con una concentración de conidios de *Lecanicillium lecanii* Y-57 de 73,17 · 108 c/mL. Para los otros tiempos analizados 45 y 60 min, se aprecia una ligera disminución no significativa en cuanto a concentración.

En [9] evaluaron el crecimiento del hongo *Verticillium lecanii*, empleando dos inducciones magnéticas, 40 mT y 80 mT y dos tiempos de exposición, 10 y 20 minutos. A 80 mT y 20 minutos de exposición al campo se incrementó la concentración de esporas. La variable tiempo de exposición fue el factor principal para lograr mayores índices de crecimiento.

En [10] describen resultados similares, pero con el biocontrol *Trichoderma harzianum*, donde los campos magnéticos de 80 mT aplicados durante 15 minutos estimulan su crecimiento celular. La aplicación del campo magnético a 80 mT durante 15 minutos en la fermentación sólida, puede aumentar la producción de esporas alrededor de un 50 % con respecto al sistema que no recibe tratamiento magnético, evidenciado por una velocidad de crecimiento obtenida en el estudio cinético realizado de 2,0017 mm/h.

A partir de estas investigaciones se concluye que, para un arreglo experimental determinado de la aplicación del campo magnético, es posible aumentar la eficiencia del proceso, disminuyendo los tiempos de fermentación y aumentando el rendimiento del mismo. Esto implica directamente una mayor producción en menor tiempo y, por tanto, un menor costo. Además, sugieren estudiar estos efectos en el rango de inducción de 10 a 60 mT.

En las Figuras 3 se muestran imágenes de los expermentos realizados para determinar el efecto de la aplicación del campo magnético de 80 mT con diferentes tiempos de exposición sobre la capacidad patogénica de *Lecanicillium lecanii* Y-57 frente a *Aphis gosypii*.



Figura 3: Ensayo de virulencia de *Lecanicillium lecanii* Y-57 sintratamiento magnético (a la izquyierda) y con tratamiento magnético (a la derecha).

Los resultados se muestran en la Figura 4, donde puede apreciarse que, con respecto a la influencia de la aplicación de campo magnético con una inducción de 80 mT en diferentes variantes, evidencian una respuesta positiva en las mismas, donde el mejor resultado se aprecia a los 30 min de exposición de la cepa *Lecanicillim lecanii* (Y-57), mejorado en 17,34 % de mortalidad de Aphis gosypii, con relación a la variante testigo.

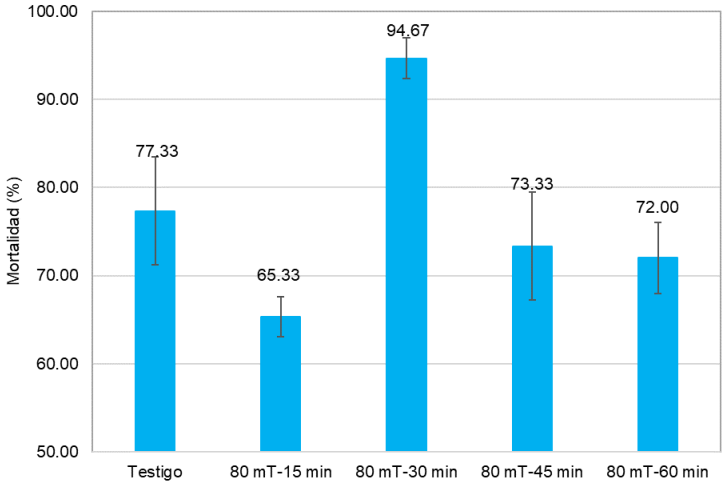



Figura 4: Efecto del tiempo de exposición en la virulencia de *Lecanicillium lecanii* (Cepa Y-57) frente a *Aphis gosypii*.

La capacidad de controlar las plagas, expresada por la virulencia de la cepa, es la característica de mayor importancia, dado que el uso del hongo Lecanicillium lecanii (Cepa Y-57) es como control biológico. Por tanto, este objetivo resulta de mayor interés y es el de mayor peso en la toma de decisiones sobre cuál es el mejor tratamiento para para el mejoramiento de calidad de *Lecanicillium lecanii* (Cepa Y-57) con aplicación del campo magnético.

En [11] se plantea que los microorganismos con la influencia del campo magnético se ven alterados, especialmente en la cromatina, en los niveles de proteínas y RNA y consigo surgen más cantidad de genes que ayudan a aumentar su virulencia y capacidad de sobrevivir.

El análisis estadístico dio un valor-p de 0,0001. Puesto que este valor es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos analizados con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Rangos Múltiples por el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher donde se identificaron tres grupos homogéneos. El grupo 1 está formado por los tratamientos: 80 mT - 15 min, 80 mT - 60 min y 80 mT - 45 min. El grupo 2 lo conforman los tratamientos: 80 mT - 60 min, 80 mT - 45 min y el experimento Testigo. En el grupo 3 se encuentra solamente el tratamiento de 80 mT - 30 min, que presenta diferencias estadísticamente significativas con todos los demás.

## 4. CONCLUSIONES

1. El mejor reporte de viabilidad de Lecanicillium lecanii (Y-57) con la aplicación del campo magnético de 80 mT es de 92.17 % para un tiempo de exposición de 30 min.
2. Lecanicillium lecanii (Y-57) aumenta su crecimiento en 73.17 · 108 c/mL, con la aplicación del campo magnético de 80 mT a una exposición de 30 min.
3. El entomopatógeno Lecanicillium lecanii (Y-57), ejerce una mayor acción patogénica, con la aplicación del campo magnético de 80 mT y una exposición de 30 min.
4. La aplicación del campo magnético de 80mT y una exposición de 30 min influye de forma positiva en los resultados de calidad de la cepa Lecanicillium lecanii (Y-57).

**RECONOCIMIENTOS**

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Territorial CITMA PT223SC001-012 “BIOMAG: Tecnología de producción de biocontroladores de plagas con campo magnético”

**REFERENCIAS**

1. GATO, Y.; PÉREZ, Y.; CARRERAS, B.; BARÓ, Y.; QUESADA, Y.; R., R. Actividad antagónica de cepas autóctonas de Trichoderma spp. frente a fitopatógenos de suelo. Fitosanidad, 2014, 18(1), 45-48.
2. ASENCIO, L.; LOPEZ-LLORCA, L.V.; LOPEZ-JIMENEZ, J.A. Use of light, scanning electron microscopy and bioassays to evaluate parasitism by entomopathogenic fungi of the red scale insect of palms (Phoenicococcus marlatti Ckll., 1899). Micron, 2005, 36(2), 169–175.
3. TÉLLEZ-JURADO, A.; CRUZ-RAMÍREZ, M.G.; MERCADO-FLORES, Y.; ASAFF-TORRES, A. Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. Revista Mexicana de Micología, 2009, 30, 73-80.
4. BUTT, T.M.; JACKSON, C.; MAGAN, N. Fungi as biocontrol agents: progress problems and potential. Edited by CAB International, 2001. ISBN 0-85199-356-7.
5. ZHANG, X.; YAREMA, K.; XU, A. Impact of Static Magnetic Field (SMF) on Microorganisms, Plants and Animals. In: Biological Effects of Static Magnetic Fields. Singapore: Springer Singapore, 2017; pp. 133-172.
6. CAMPOS, M.; MAS DIEGO, S.; GONZÁLEZ, A.; CABEZA D.; MARTINEZ, C. Influencia del campo electromagnético en el Kla en la fermentación en fase sumergida de Trichoderma viride. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, 1999.
7. BUBANJA, I.N.; LONČAREVIĆ, B.; LJEŠEVIĆ, M.; BEŠKOSKI, V.; GOJGIĆ-CVIJOVIĆ, G.; VELIKIĆ, Z., et al. The influence of low-frequency magnetic field regions on the Saccharomyces cerevisiae respiration and growth. Chemical Engineering and Processing – Process Intensification, 2019, 143, 107593.
8. MAS DIEGO, Siannah M., et al. Caracterización del producto de la fermentación sólida de trichoderma harzianum R ifai (A-34) sobre bagazo de caña. *Tecnología Química*, 2017, vol. 37, no 3, p. 417-432.
9. GONZÁLEZ, A.; SERGUERA, M. Estudio preliminar sobre la influencia del campo electromagnético en el crecimiento de Verticillium lecanii por fermentación en estado sólido. Revista Tecnología Química, 2002; 22(2), 51-61.
10. MAS-DIEGO, S.; RODRÍGUEZ, I.; MARTÍNEZ, C.; ÁLVAREZ, G.; FURIGO, J. Fermentación en estado sólido de Trichoderma harzianum bajo campos magnéticos. 2015.
11. ANAYA, Matilde, et al. Influencia del campo magnético sobre el crecimiento de microorganismos patógenos ambientales aislados en el Archivo Nacional de la República de Cuba. *Biomédica*, 2015, vol. 35, no 3, p. 325-336.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL CRECIMIENTO CELULAR DE *BEAUVERIA BASSIANA Bb 1234*

**Meybel Ríos-Hernández[*1], Elizabeth Tamayo-Rosales, Rubit Revilla Medina, Grettel Campos Ríos**

Laboratorio Provincial de sanidad Vegetal. Santiago de Cuba
[1]e-mail: siannah@uo.edu.cu

## RESUMEN

Los microorganismos entomopatógenos constituyen una herramienta importante para el manejo integrado de plagas, tal es el caso de los hongos entomopatógenos que poseen gran potencial como agentes controladores de poblaciones de artrópodos. Dentro de estos, la especie más utilizada comercialmente alrededor del mundo es *Beauveria bassiana* por los resultados favorables que ha mostrado en el control de insectos plagas de diferentes cultivos. La investigación se realizó en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal (LAPROSAV), en un período comprendido de enero a julio del 2022, con el objetivo de evaluar la calidad del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bb 1234) con la aplicación del campo magnético. Se empleó el Diseño de un Factor y se exploró en cuatro niveles del tiempo de exposición al campo magnético: 15, 30, 45 y 60 minutos, para los que se realizaron tres réplicas en cada uno de ellos. La aplicación del campo magnético se realizó al sexto día de inoculación de la cepa, se evaluó el crecimiento, viabilidad y patogenicidad de *B. bassiana* para cada uno de los tratamientos. A los datos particulares obtenidos para cada indicador, se les aplicó un ANOVA de clasificación simple con $p<0,05\%$. Para el tratamiento con campo magnético de inducción de 80 mT con 30 min se obtuvo el mejor resultado en cuanto a concentración. Los valores de viabilidad se mantienen por encima del 85 % y la patogenicidad alcanzó 90 %, superior en un 5 % al tratamiento control, lo que refleja la calidad del producto obtenido.

**PALABRAS CLAVES:** Campo magnético, crecimiento celular, *Beauveria bassiana*

## INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON CELL GROWTH OF *BEAUVERIA BASSIANA* BB 1234.

## ABSTRACT

Entomopathogenic microorganisms are an important tool for integrated pest management, such is the case of entomopathogenic fungi that have great potential as control agents of arthropod populations. Among these, the most commercially used species worldwide is *Beauveria bassiana* due to the favorable results it has shown in the control of insect pests of different crops. The research was carried out at the Provincial Laboratory of Plant Health (LAPROSAV), from January to July 2022, with the objective of evaluating the quality of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bb 1234) with the application of magnetic field. The One Factor Design was used and was explored at four levels of exposure time to the magnetic field: 15, 30, 45 and 60 minutes, for which three replicates were carried out in each one of them. The application of the magnetic field was performed on the sixth day of strain inoculation, and the growth, viability and pathogenicity of *B. bassiana* were evaluated for each of the treatments. A simple rank ANOVA with $p<0.05\%$ was applied to the particular data obtained for each indicator. A simple rank ANOVA with $p<0.05\%$ was applied to the particular data obtained for each indicator. For the treatment with magnetic field induction of 80 mT with 30 min, the best result in terms of concentration was obtained. Viability values remained above 85 % and pathogenicity reached 90 %, 5 % higher than the control treatment, which reflects the quality of the product obtained.

**KEY WORDS:** Magnetic field, cell growth, *Beauveria bassiana*

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuba, como otros países subdesarrollados, no escapa a los efectos debido al uso recurrente de productos químicos en el control de plagas, lo que ha provocado desequilibrios ecológicos en los agroecosistemas, contaminaciones, y aparición de plagas secundarias. Estos efectos se manifiestan con afectaciones a la fauna silvestre además de causar daños a la salud humana. Se crean problemas de resistencia en las plagas hacia los productos químicos y aparecen los perjuicios provocados por la fabricación y uso de los plaguicidas. Estos provocan la contaminación al ambiente y ocasionan riesgos para la salud humana; por ejemplo, un millón de personas se intoxican anualmente por el uso de los mismos [1].

Las empresas comerciales agrícolas fabricantes de productos fitosanitarios buscan y trabajan en formulaciones de bioinsecticidas, a base de extractos naturales y hongos [2]. Al Control Biológico se lo considera como el método de control de plagas más viable, ecológicamente recomendable y auto sostenible. Pero, en la mayoría de los casos el Control Biológico por sí mismo, no provee una supresión económicamente aceptable de una plaga en los sistemas agrícolas. Es por esto que debe ser desarrollado e implementado como un componente del Manejo Integrado De Plagas [3].

En ese sentido, los microorganismos entomopatógenos constituyen una herramienta importante para el manejo integrado de plagas. Tal es el caso de los hongos entomopatógenos que poseen gran potencial como agentes controladores de poblaciones de artrópodos. Entre los géneros más importantes están: *Beauberia*, *Metarhizium*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium*. Dentro de estas, la especie más utilizada comercialmente alrededor del mundo es *Beauveria bassiana* por los resultados favorables que ha mostrado en el control de insectos plagas de diferentes cultivos [4].

El hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* está siendo estudiado de manera intensiva como agente de control biológico, para insectos, artrópodos y otras plagas por su amplia gama de organismos diana [5]. Además de ser un parásito necrótrofo, *B. bassiana* puede ser saprófito facultativo y puede existir en las plantas como endófito [6].

El potencial de este microorganismo en el control biológico de insectos ha permitido su inclusión en diversos programas de manejo integrado de plagas que atacan cultivos de importancia económica en el mundo. En Cuba, actualmente se utiliza en el control biológico de insectos plaga como la broca del café (*Hypothenemus hampei Ferrari*) (Coleoptera: Scolytidae) [7].

La necesidad de la producción industrial de microorganismos biocontroladores de plagas está asociada al empleo masivo de cualquiera de estos agentes lo que implica la reproducción de los mismos a escala industrial, lo cual determina la necesidad de desarrollar y emplear los procesos biotecnológicos correspondientes [8].

En la actualidad es un reto para el país cubrir la demanda de medios biológicos que necesitan las áreas agrícolas, por lo que se buscan alternativas que permitan el incremento y calidad de los bioplaguicidas que aseguren la sostenibilidad de la actividad agrícola.

Estudios realizados han demostrado que la aplicación de un campo magnético a microorganismos tiene un efecto estimulador en el crecimiento micelial y la formación de conidios [9]. Los campos electromagnéticos afectan la dirección de la migración y alteran el crecimiento y la reproducción de los microorganismos, causan cambios en la síntesis de ADN, en la orientación de biomoléculas y biomembranas y alteran el flujo de iones a través de la membrana plasmática, generando como resultado neto una modificación en la velocidad de reproducción celular [10].

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la calidad del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bb 1234) con la aplicación del campo magnético con una inducción de 80 mT en diferentes tiempos de exposición.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, ubicado en Carretera de Siboney Km 6 ½ La Redonda, Municipio de Santiago Cuba. El microorganismo empleado *Beauveria bassiana* (Bb 1234) proveniente del banco de cepas del Instituto Nacional de Sanidad Vegetal (INISAV), La Habana y conservada en el banco de cepas del Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, Santiago de Cuba con una concentración de $10^9$ c/mL y una viabilidad de 99%.

Se utilizó como medio de conservación Saboreaud Dextrosa Agar (SDA, por sus siglas en inglés): a razón de 65 gramos por litro y Se ajustó el pH a 5,5 ± 0,2 con NaOH o HCl 1M y se esterilizó en autoclave durante 15 minutos a 1.2 atm y 121 °C. A. Las cepas se incubaron a una temperatura entre 25 +- 2 °C.

**Tratamiento magnético:** se empleó un imán de campo constante de 80 mT y no homogéneo modelo IP 1000-12 suministrado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Se aplicó campo magnético 80 mT con inducción media, en tiempos de 15, 30, 45 y 60 minutos, a partir del sexto día de inoculación de la cepa, para los que se realizaron 3 réplicas en cada uno de ellos.

**Determinación de la concentración de esporas:** la determinación de la concentración de esporas se realizó mediante el conteo en Cámara de Neubauer. Se hicieron diluciones del cultivo hasta una densidad celular que permita un buen conteo de las células al microscopio óptico [11]. La concentración de esporas se determinó mediante (1).

$$C=K\cdot N\cdot \mathrm{D} \qquad (1)$$

Dónde:
- C: concentración de conidios (esporas o conidios / mL).
- K: constante de la cámara (5 x 104) para la cámara de 25 cuadrantes.
- N: cantidad de esporas contadas en los 5 cuadrantes de la cámara.
- D: cantidad sucesivas de diluciones.

**Prueba de viabilidad:** se realizó por tubo germinativo preparando una suspensión de esporas del cultivo madre *Beauveria bassiana* en 10 ml de agua destilada estéril con Tween-80 al 0,05 % v/v. Se agitaron manualmente, 15 minutos en reposo y se volvió a agitar. Se realizaron diluciones decimales hasta la dilución 104 y se sembró 0,01 ml de la muestra en SDA en cámara húmeda, incubándose a 25 °C de 18 a 24 horas. Luego se realizó la lectura de 100 esporas, contando las no germinadas y calculando por (2).

*% de esporas germinadas = 100 - conteo de esporas no germinadas* (2)

**Patogenicidad:** se desinfectaron 50 adultos de *Cylas fornicarius* de crías de laboratorio en una solución de hipoclorito de sodio al 0.1 % durante 1 minuto, posteriormente se lavaron dos veces con agua destilada estéril para eliminar el exceso de cloro y lo separamos en cinco grupos (con 10 individuos en cada uno). Cuatro de los grupos se trataron con una suspensión del hongo a concentración de 1x $10^7$ conidios / ml, por inmersión de 30 – 50 s de los insectos en esta y el resto con agua estéril solamente constituyendo el control. Los grupos tratados fueron colocados en una placa Petri estéril con agua destilada, para incubar entre 23-26 °C y registrar diariamente los individuos muertos. Luego se proviene a desinfectar los cadáveres en una solución de hipoclorito de sodio al 0.5 % durante 1 minuto, enjuagar y pasar a cámara húmeda e incubar a 28 °C por 7 días. A partir del segundo día cuando ocurre la inmersión del micelio y esporulación del hongo se observó al microscopio para confirmar el agente causante del hongo y rectificar los datos de mortalidad previamente recogidos. Para calcular el porcentaje de mortalidad se empleo (3).

*100 * (Testigo – Tratados) / Testigo* (3)

Procesamiento de datos: se usó el paquete estadístico STATGRAPHICS. Centurión. XV v 15.2.14. La prueba empleada fue la comparación de medias para grupos homogéneos mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) simple con $p \leq 0,05$ seguido por Pruebas de Rangos Múltiples (procedimiento de

diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher) después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los resultados de la viabilidad de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) con aplicación del campo magnético a diferentes tiempos de exposición.

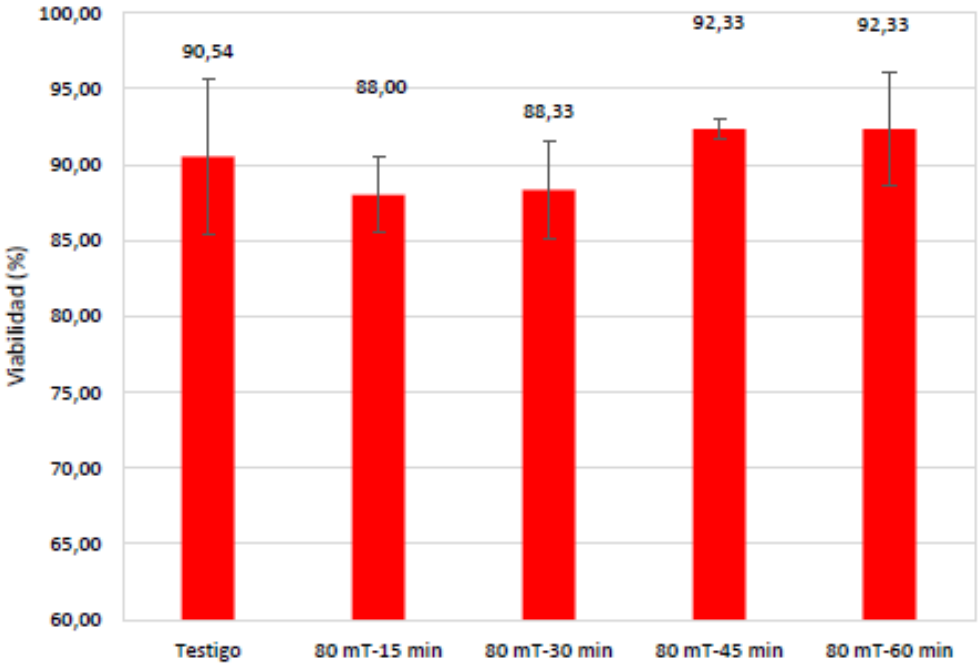



Figura 1: Efecto de diferentes tiempos de exposición en la viabilidad de *Beauveria bassiana* (Bb 1234).

No existen diferencias estadísticamente significativas con respecto a los valores de viabilidad. La viabilidad en todos los casos se mantuvo entre un 88 – 92 %, criterio que nos permite valorar la eficiente calidad del producto obtenido lo que se traduce en beneficios para su uso en la agricultura. Con este resultado podemos afirmar que *Beauveria bassiana* (Bb 1234) puede mantener su acción fungicida por un tiempo prolongado coincidiendo con los resultados obtenidos por Mas Diego, 2006 en *Trichoderma* sp. [12].

En la Figura 3.2 se muestran los resultados de los tratamientos con campo magnético de 80 mT a diferentes tiempos de exposición en la concentración de conidios de *Beauveria bassiana* (Bb 1234).

Se observa que para el tratamiento con campo magnético de inducción media de 80 mT el tiempo de 30 min es donde se obtienen los mejores resultados. Para los otros tiempos analizados no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a concentración.

Al comparar los resultados analizados anteriormente con los trabajos reportados en la bibliografía hay una coincidencia en encontrar efectos estimulantes del campo magnético en el crecimiento celular, aunque en ese caso no se emplearon las mismas condiciones experimentales. Bajo la acción del campo magnético se inducen cambios en la conformación de las membranas, lo cual se traduce en alteraciones en sus propiedades físicas, provocando una alteración de las funciones de los receptores de la membrana [13].

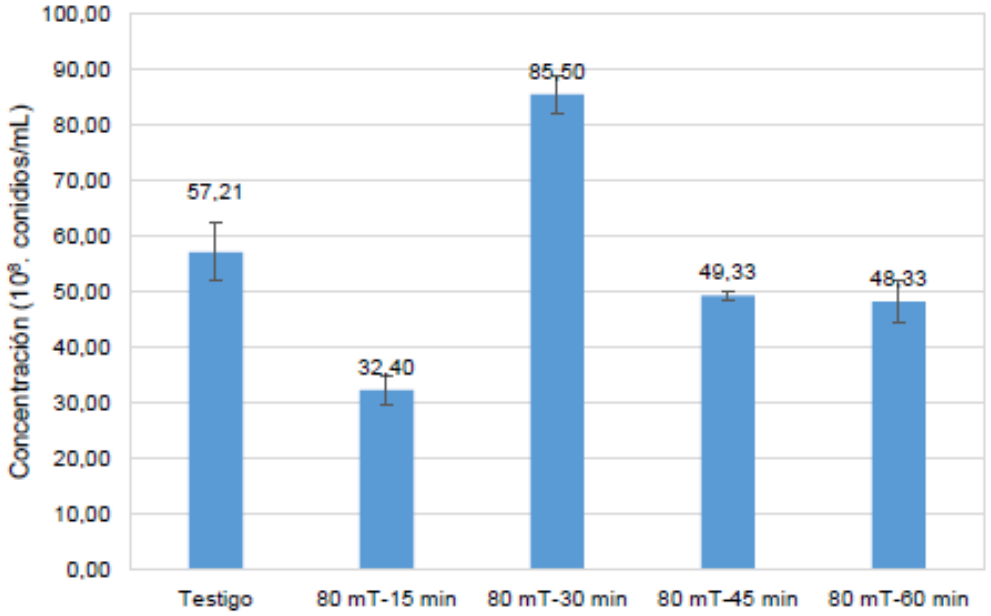



Figura 2: Efecto de diferentes tiempos de exposición en la concentración de conidios de *Beauveria bassiana* (Bb 1234).

En la Figura 3 se refleja el resultado capacidad patógenica de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) con una concentración de $10^9$ c/mL aplicada en los ensayos para el control de *Cylas formicarius Fabricius* conocido como Tetuán del boniato, observándose una mortalidad de 93,33% con la aplicación de *B. bassiana* (Bb 1234) con campo magnético de 80 mT con 30 minutos.

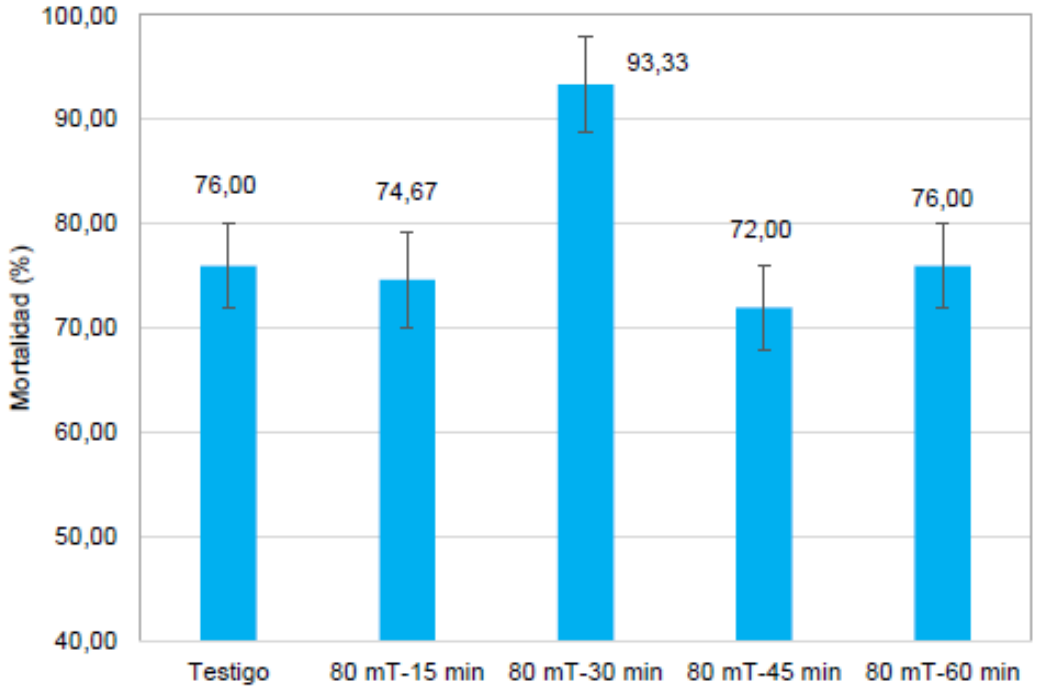



Figura 3: Efecto de diferentes tiempos de exposición al campo magnético en la virulencia de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) para el control de *Cylas formicarius Fabricius.*

*B. bassiana* actúa por contacto y es capaz de penetrar el insecto e invadirlo provocando su muerte por micosis produciendo sustancias tóxicas que ayudan a la penetración y a inhibir los mecanismos de defensa del insecto, con la acción del campo magnético se produce un incremento de la actividad intracelular de *B. bassiana* (Bb 1234), mayor producción de conidios, blastosporas que aumentan la virulencia del microorganismo.

Duque *et al.*, 2019 [14] plantea que los microorganismos con la influencia del campo magnético se ven alterados, especialmente en la cromatina, en los niveles de proteínas y RNA y consigo surgen más cantidad de genes que ayudan a aumentar su virulencia y capacidad de sobrevivir.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis de varianza realizado para los datos de virulencia de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) para el control de *Cylas formicarius Fabricius.*

Tabla 1: Análisis de varianza para los datos de virulencia de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) para el control de *Cylas formicarius* Fabricius.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-p |
|---|---|---|---|---|---|
| Entre grupos | 868.267 | 4 | 217.067 | 11.97 | 0.0008 |
| Intra grupos | 181.333 | 10 | 18.133 | | |
| Total (Corr.) | 1049.600 | 14 | | | |

Puesto que el valor-p de la prueba es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos analizados con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Rangos Múltiples por el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (Tabla 2).

Tabla 2: Prueba de Rangos Múltiples para los datos de virulencia de *Beauveria bassiana* (Bb 1234) para el control de *Cylas formicarius* Fabricius.

| Tratamientos | *Casos* | *Media* | *Grupos Homogéneos* |
|---|---|---|---|
| 80 mT - 45 min | 3 | 72.00 | X |
| 80 mT - 15 min | 3 | 74.67 | X |
| Testigo | 3 | 76.00 | X |
| 80 mT - 60 min | 3 | 76.00 | X |
| 80 mT - 30 min | 3 | 93.33 | X |

En la Tabla 2 de observa que se han identificado dos grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El grupo 1 está formado por los tratamientos: 80 mT - 45 min, 80 mT - 15 min, Testigo y 80 mT - 60 min. En el grupo 2 se encuentra solamente el tratamiento de 80 mT - 30 min, que presenta diferencias estadísticamente significativas con todos los demás.

Los mecanismos por los cuales los campos magnéticos afectan el desarrollo de los microorganismos están sin esclarecer completamente, pero se interpreta que se desarrollan por efecto sobre la membrana plasmática, con posibles repercusiones metabólicas y acción directa sobre las partículas coloidales del medio de cultivo. Se han propuesto varias teorías para explicar el efecto de los campos magnéticos débiles sobre los organismos y todas hacen mención de un fenómeno denominado la resonancia del ciclotrón, como uno de los responsables de dichos efectos [10].

## 4. CONCLUSIONES

1. La utilización del campo magnético permite obtener una mayor proporción de conidios/gramos, siendo esta una característica importante para el desarrollo de un biocontrolador.

2. La aplicación del campo magnético para estimular el crecimiento de microorganismos se debe realizar a inducciones de 80 mT a tiempo de exposición de 30 minutos.

3. El biocontrolador obtenido con campos magnéticos presenta una viabilidad del 88 - 92 %, manteniendo su óptima calidad.

4. La *B. bassiana* (Bb 1234) ejerce su acción patogénica con un 8 % de mortalidad superior al control.

**RECONOCIMIENTOS**

El trabajo fue realizado con financiamiento del Proyecto Territorial CITMA PT223SC001-012 "BIOMAG: Tecnología de producción de biocontroladores de plagas con campo magnético"

**REFERENCIAS**

1. NAJERA, R. M. B.; SOUZA, B. Insectos benéficos. Guía para su identificación. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2010.
2. VIERA, W.; JACKSON, T. Ecuador demonstrates a sustainable way forward for small farmer producers. Chron Horticult, 2020, 60(3), pp. 19-21.
3. GUÉDEZ, C.; CASTILLO, C.; CAÑIZALEZ, L. M.; OLIVAR, R. Control Biológico. ACADEMIA, Trujillo, Venezuela, 2008, ISSN 1690-3226, pp. 50-74.
4. PACHECO HERNÁNDEZ, M. de L.; RESÉNDIZ MARTÍNEZ, J. F.; ARRIOLA PADILLA, V. J. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 2019, 10(56), México. DOI: 10.29298/rmcf.v10i56.496.
5. MURGUIDO, C. A.; ELIZONDO, A. I. El manejo integrado de plagas de insectos en Cuba. Fitosanidad, 2007, 11(3), pp. 23-28.
6. OWNLEY, B.H.; PEREZ, C.; RICHARDSON, M.; HERNANDEZ, A. Entomopathogenic fungi as endophytes: a new approach to control plant diseases. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2010, 103(3), 199-205.
7. ELÓSEGUI, O.; NIEVES, C.; DÍAZ, R.; PADRÓN, N. B.; CARR, A. Comportamiento del hongo entomopatógeno Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. Cepa lbb-1 en Agar sabouraud dextrosa producido en Cuba. *Fitosanidad*, 2003, vol. 7, n.º 2, pp. 49-53.
8. MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS. Resolución 344/2020. Precios minoristas de los insumos, equipos e implementos agrícolas que se venden por las empresas comercializadoras del sistema de la Agricultura. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, GOC-2020-844-EX71, pp. 95-101.
9. MÁS-DIEGO, S. M. Propuesta tecnológica para la producción de un biocontrolador de plagas a partir de Trichoderma harzianum Rifai (A-34) con aplicación del campo magnético. Tesis doctoral, Fac. Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2018. 193 pp.
10. ZAPATA M., J. E.; MORENO O., G.; MÁRQUEZ F., E. J. Efectos de los campos magnéticos sobre el crecimiento de Saccharomyces cerevisiae. *Interciencia*, 2002, vol. 27, pp. 544-550.
11. MÁRQUEZ, M. E.; FERNÁNDEZ-LARREA, O.; JIMÉNEZ, J.; ELÓSEGUI, O.; GÓMEZ, R.; CARRERAS, B.; BARÓ, Y. Formas de obtención de controladores biológicos microbianos para su uso en el sistema de producción agrícola del MINAG. La Habana (Cuba): Centro de Información y Documentación de Sanidad Vegetal (Cidisav), Instituto de Investigaciones de Sanidad de Vegetal (INISAV), 2010.
12. MÁS DIEGO, S. M. Estudio del crecimiento de Trichoderma viride con empleo del campo magnético. Tesis en opción al título académico de Master en Ingeniería Química, Universidad de Oriente, 2006.

13. MÁS, S. M.; GONZÁLEZ, A.; CAMPOS, M.; CABEZA, D. Influencia del campo electromagnético en la propagación de Trichoderma viride mediante fermentación en estado sólido (FES). *Tecnología Química*, 1999, vol. XIX, pp. 64-69.
14. DUQUE, K. B.; RIVERA, J. S.; JOJOA, D. M. G.; ALDANA, A. A. Efecto del campo magnético sobre el crecimiento microbiano. *Microciencia*, 2019, vol. 8, pp. 90-106.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA CALDERA DE BAJA PRESIÓN CON TRATAMIENTO MAGNÉTICO DEL DIÉSEL

**Mónica Berenguer Ungaro[1], Ramón Arias Gilart[1], Melek Campos Sofía[1], Nelson Fernando Bello Rodríguez**

[1] Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Ave. Las Américas s/n, Sede Universitaria "Julio A. Mella", Santiago de Cuba, [2]Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas s/n, Santiago de Cuba

[1]e-mail:monicab@uo.edu.cu

**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo fue realizar una evaluación energética de la caldera de baja presión de la Facultad 2 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba antes y después de la instalación de la tecnología magnética para el tratamiento del combustible diésel. Se utilizó un Analizador de Gases Testo 350 para las mediciones de los gases de escape. Se realizó un análisis del consumo de combustible seis meses antes de instalar la tecnología y tres meses después de instalada. Se realizó un balance energético de la caldera empleando los datos obtenidos antes y después de instalar la tecnología magnética. El empleo de la tecnología magnética en el tratamiento del combustible diésel alimentado a la caldera aumenta su eficiencia un 3,87 % con respecto a cómo operaba sin el tratamiento magnético. Además, disminuyeron las pérdidas de energía asociadas a: la combustión incompleta en alrededor de un 70,12 %; la radiación, convección y conducción en las paredes del horno, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan se redujo en un 36,75 %. El tratamiento magnético del combustible diésel disminuyó las emisiones de gases contaminantes de la caldera y el consumo de combustible en alrededor de un 4 %.

**PALABRAS CLAVES:** Tratamiento magnético, combustión, caldera, emisiones.

# ENERGY EVALUATION OF A LOW PRESSURE BOILER WITH MAGNETIC TREATMENT OF DIESEL

**SUMMARY**

The objective of this work was to carry out an energy evaluation of the low pressure boiler of Faculty 2 of the University of Medical Sciences of Santiago de Cuba before and after the installation of magnetic technology for the treatment of diesel fuel. A Testo 350 Gas Analyzer was used for exhaust gas measurements. An analysis of fuel consumption was carried out six months before installing the technology and three months after it was installed. An energy balance of the boiler was carried out using the data obtained before and after installing the magnetic technology. The use of magnetic technology in the treatment of diesel fuel fed to the boiler increases its efficiency by 3.87% compared to how it operated without magnetic treatment. In addition, energy losses associated with: incomplete combustion decreased by around 70.12%; radiation, convection and conduction on the furnace walls, to hydrogen and unreacted hydrocarbons was reduced by 36.75%. Magnetic treatment of diesel fuel decreased boiler gas emissions and fuel consumption by around 4%.

**KEYWORDS:** Magnetic treatment, combustion, boiler, emissions.

## 1-Introducción

La producción de vapor a nivel mundial tiene diversos usos en procesos industriales y ha creado un auge en la implementación de los generadores de vapor [1]. Estos constituyen un elemento esencial en el funcionamiento de prácticamente todas las industrias al proporcionar la potencia o el calor necesario para los diferentes procesos tecnológicos, dependiendo sus resultados productivos y económicos en gran medida de la confiabilidad, seguridad y eficiencia con que operen las calderas [2].

Las múltiples aplicaciones que tienen los generadores de vapor o calderas, las condiciones variadas de trabajo y las innumerables exigencias de orden técnico y práctico que deben cumplir para que ofrezcan el máximo de garantías en cuanto a seguridad en su manejo, durabilidad y economía en su funcionamiento, ha obligado a los fabricantes de estos equipos a un perfeccionamiento constante [3]. Las calderas son instalaciones industriales que, aprovechando la energía liberada en la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para diferentes aplicaciones industriales y para la generación de electricidad.

En general, los generadores de vapor y los sistemas de distribución asociados se pueden encontrar en una amplia gama de aplicaciones, en Cuba se emplean en las instalaciones de bienes y servicios como los Hospitales, Lavanderías, Combinados Lácteos, Tintorerías y Centrales Termoeléctricas, en otras. También se utilizan en las empresas productoras de níquel, de cemento y en la elaboración de las mezclas asfálticas que se emplean en la construcción y reparación de las carreteras.

La generación de vapor está identificado como uno de los procesos alto consumidor de grandes cantidades de portadores energéticos como la generación de vapor [4], es de vital importancia en las condiciones actuales de nuestro país. La evaluación sistemática de la eficiencia de estos sistemas y la búsqueda de alternativas que posibiliten el ahorro de este tipo de recursos constituyen objetivos priorizados dentro de la agenda y las prioridades de los países.
Entre las alternativas para contribuir a la eficiencia de las calderas [5], se identifican las medidas organizativas y técnicas dirigidas a disminuir el consumo de combustible. Entre estas alternativas se encuentra el tratamiento magnético al combustible [6]. Por todo lo anterior el objetivo de este trabajo es evaluar energéticamente la caldera de la Facultad 2 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba antes y después de la instalación de la tecnología magnética para el tratamiento del combustible diésel

## 2- Materiales y métodos

Para realizar la evaluación energéticamente la caldera sigue la metodología de Pons y colaboradores [7]. Para comenzar la evaluación es imprescindible disponer de la siguiente información:
1. Flujos de combustible alimentado al horno y de vapor de agua generado.
2. Temperatura y presión del agua líquida alimentada y del vapor producido.
3. Temperatura, presión y humedad del aire suministrado.
4. Temperaturas del combustible y de los gases de combustión

El análisis se realiza mediante un Analizador de gases de combustión Testo 350, Figura 1



Fig. 1–Analizador de Gases Testo 350.

La evaluación energéticamente de la caldera se realiza antes y después de instalados los dispositivos magnéticos, en la línea de entrada del combustible.

**3-Resultados**

Se muestran los resultados alcanzas en la caldera con sin y con tratamiento magnético al combustible. Los resultados que se muestran, son el consumo de combustible, dos los gases producto de la combusto el CO y el NOx, y el balance de energía.

**Consumo de combustible**

En la Fig. 2 se observa el consumo en (kg/h) de combustible de la caldera generadora de vapor para la cocción de alimentos de la Facultad 2 de Medicina en Santiago de Cuba. Se hizo un análisis mensual antes y después de instalado el tratamiento magnético (TM), las barras azules representan los meses sin tratamiento y las rojas con el TM.

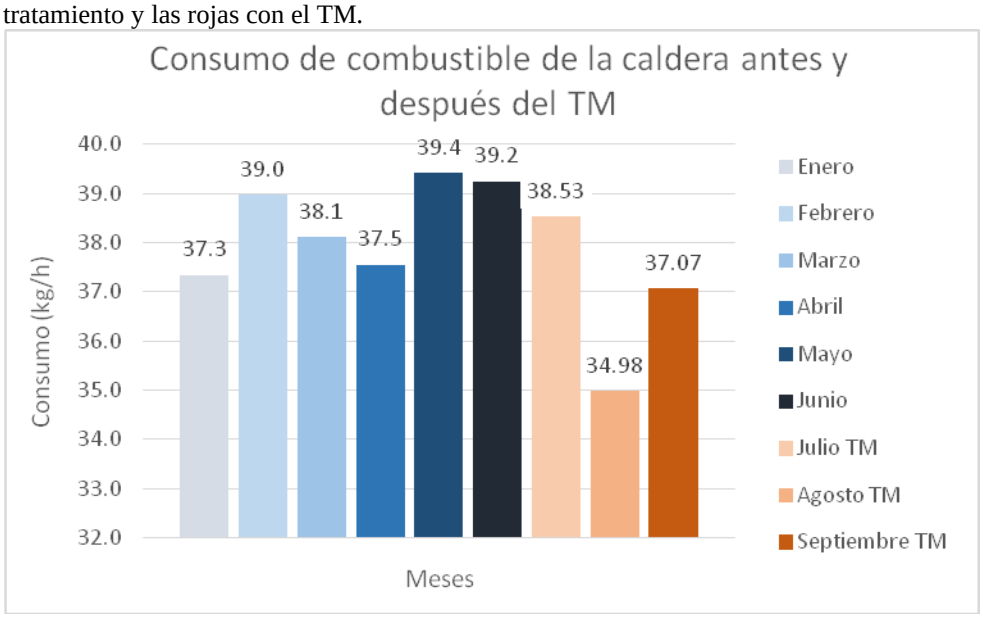



Fig. 2 Consumo de combustible por mes.

En la fig. 2 se observa que en el mes de junio una vez instalado el TM hay una disminución del consumo mensual del combustible. Esto se pude explicar por los efectos que provoca el tratamiento magnético en las propiedades químico-físicas del diésel, como son su tensión superficial y su viscosidad.

**Gases producto de la combusto el CO y el NOx**

Las emisiones de gases a la atmósfera es una de las fuentes contaminantes más perjudiciales para el planeta ya que estas son los causantes de la llamada lluvia ácida, lluvia que contiene varios productos químicos tóxicos dañinos para la vida de los seres vivos, el deterioro de la capa de ozono es otro efecto negativo q trae consigo el calentamiento global. El $CO_2$ es el principal responsable del efecto invernadero por lo que cualquier aporte tecnológico o científico que logre disminuir las emisiones de este gas a la atmósfera, contribuirá de forma importante a una producción más limpia.

El CO es el resultado de una combustión incompleta. El objetivo del diseño de una caldera es lograr una combustión completa para liberar toda la energía disponible en el combustible, si algunas moléculas de

carbono no pueden encontrar algunas moléculas de oxígeno, se convierten parcialmente en monóxido de carbono. En la Fig. 3 se muestra el comportamiento de las emisiones del mismo durante el experimento.

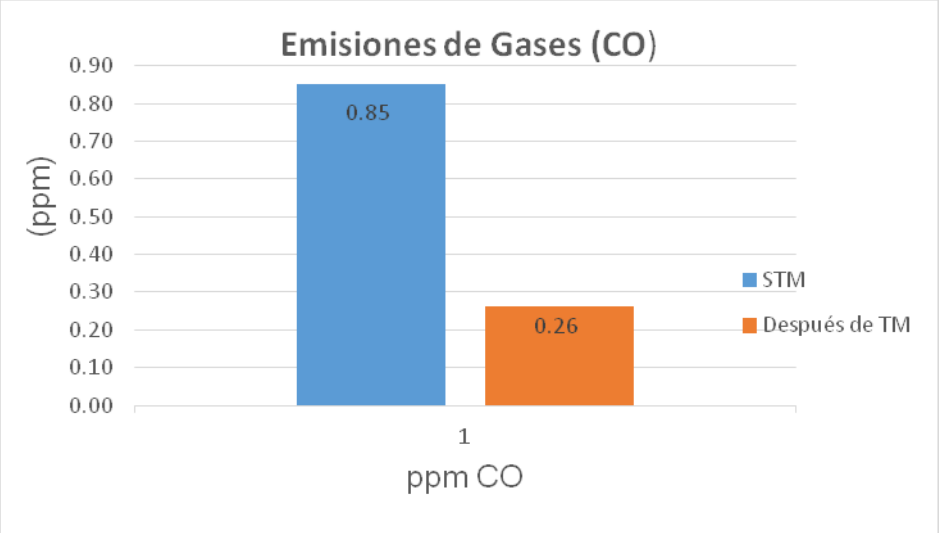



Figura 3 Comportamiento de las emisiones de (CO)

Las variaciones en las emisiones se producen por los cambios que provoca el TM en las propiedades del diésel, lo que se refleja principalmente en la mejora del proceso de atomización y en la homogeneidad de la mezcla aire-combustible, en el gráfico anterior se recalcar que se logró una disminución considerable del CO con significación estadística, lo que indica que hubo menos pérdidas energéticas en el motor por combustión incompleta, estos resultados coinciden con los reportados por Mahmmod y ,Mutez [8]

El NOx de las calderas, está compuesto casi completamente por el óxido nítrico (NO) que deja la chimenea y, generalmente, un 1% o un 2% de ($NO_2$), este ha sido ampliamente estudiado y analizado con la intención de desarrollar medidas de control que ayuden a reducir las emisiones de NOx manteniendo la eficiencia térmica de las calderas. En la Fig. 4 comparamos las emisiones de NOx antes y después del tratamiento magnético.

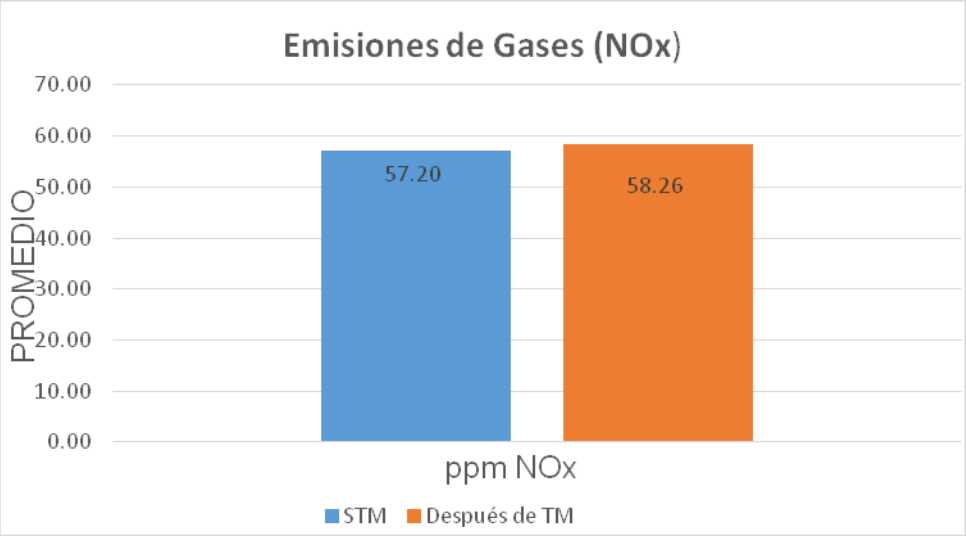



Fig. 4 Comportamiento de las emisiones de (NOx)

En la figura anterior podemos apreciar que luego del TM no existen prácticamente variaciones en las emisiones de este gas. El diésel, respecto a otros combustibles contiene pequeñas cantidades de nitrógeno y se quema con mayor facilidad en el proceso de combustión, emitiendo así gran cantidad de NOx.

**Balance de energía**

A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados de los balances de energía realizados en las dos condiciones, antes y después del tratamiento magnético, Tabla 1.

Tabla 1 Resumen de los balances de energía para la caldera en las dos condiciones analizadas

| Pérdidas | Diésel sin TM | | Diésel con TM | |
|---|---|---|---|---|
| Qi | kJ/kg | % | kJ/kg | % |
| Q1 | 29413.9 | 76.46 | 30904.3 | 80.33 |
| Q2 | 28.25 | 0.0073 | 28.4796 | 0.07 |
| Q3 | 3336.36 | 8.67 | 3362.36 | 8.74 |
| Q4 | 203.16 | 0.52 | 210.744 | 0.54 |
| Q5 | 4947.49 | 12.86 | 5139.15 | 13.35 |
| Q6 | 0.081 | 0.00021 | 0.02434 | 0.000063 |
| Q7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Q8 | 4670.76 | 12.14 | 2954.94 | 7.68 |

Leyenda:
Q1: Energía utilizada en la generación del vapor
Q2: Energía perdida debido a la humedad del combustible
Q3: Energía perdida debido al agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible
Q4: Energía perdida debido al agua del aire
Q5: Energía perdida debido a los productos gaseosos secos
Q6: Energía perdida debido a la combustión incompleta
Q7: Energía pérdida debido al carbono no quemado
Q8: Energía pérdida debido a radiación, convección y conducción en las paredes del horno, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan

Resumidos los Balances de Energía podemos afirmar que la caldera muestra mayor eficiencia operando con el Diésel después del TM, aumentando su eficiencia un (3.87 %) con respecto a cómo operaba sin el TM. La eficiencia se expresa en términos de Q1.
Energéticamente el TM trajo beneficios, ya que disminuyeron las pérdidas con respecto a:

- Energía perdida debido a la combustión incompleta (Q6), se redujo en un (70,12%)
- Energía pérdida debido a radiación, convección y conducción en las paredes del horno, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan (Q8), se redujeron en un 36.75 %.

Como se observa la aplicación del tratamiento magnético al combustible diésel en esta caldera mejoro considerablemente los indicadores energéticos de la caldera. Es por ello que esta tecnología constituye una alternativa viable para las calderas de nuestro país, ya que mejora la eficiencia dl proceso de combustión y disminuye las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
Estos cambios se explican debido a los cambios que experimenta el combustible al atravesar los campos magnéticos, existen varias referencias que explican que este tipo de tratamiento modifica las propiedades químico-físicas, disminuyendo la tensión superficial y la viscosidad. Con estos cambios se obtiene una mejor atomización del combustible, se forman gotas mas pequeñas lo que posibilita una mezcla más homogénea entre el combustible y el aire. Todos estos factores producen una combustión mas completa, un ahorro de combustible y menores emisiones de gases contaminantes

**Conclusiones**

1. El empleo de la tecnología magnética en el tratamiento del combustible diésel alimentado a la caldera aumenta su eficiencia un 3,87 %. Además, disminuyeron las pérdidas de energía provocadas por la combustión incompleta en alrededor de un 70,12 % y la energía pérdida debido a radiación, convección y conducción en las paredes del horno, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan se redujo en un 36,75 %.
2. El efecto del tratamiento magnético del combustible reduce las emisiones de gases de la caldera y el consumo de combustible en alrededor de un 4 %.
3. Estos resultados aportan evidencias industriales prácticas del impacto energético y ambiental de la tecnología magnética en el tratamiento del combustible en calderas.

**RECONOCIMIENTOS**
Los autores desean agradecer al PT-223-SC-002-002 Tecnología magnética, una alternativa para el desarrollo sostenible de la eficiencia energética

**REFERENCIAS**

1 La producción de vapor a nivel mundial tiene diversos usos en procesos industriales y ha creado un auge en la implementación de los generadores de vapor. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612015000300009&script=sci_arttext&tlng=en
2 JIMÉNEZ BORGES, Reinier; MADRIGAL MONZÓN, José Alejandro; CABELLO ERAS, Juan José. Selección de un colector solar para aumentar la temperatura del agua de alimentación al generador de vapor de la Universidad de Cienfuegos. Revista Universidad y Sociedad, 2015, vol. 7, no 2, p. 64-71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202015000200010&script=sci_arttext&tlng=en
3 REYES-CRUZ, Sergio, et al. Calderas y sus clasificaciones. TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, 2023, vol. 10, no 20, p. 14-16. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/9850
4 CASTILLO-HECHAVARRÍA, Mirurgia, et al. Eficiencia energética según la NC ISO 50001 en la Ronera Santiago de Cuba. Hombre, Ciencia y Tecnología, 2022, vol. 26, no 3, p. 1-10. http://hct.cigetgtmo.co.cu/revistahct/index.php/htc/article/view/1282
5 PANDO, Gabriel, et al. Afectación de variables operativas en el consumo de combustible de una caldera. Revista Iberoamericana de Ciencias, 2019. http://www.reibci.org/publicados/2019/feb/3300101.pdf
6 GILART, Ramón Arias, et al. Mejoras en las emisiones de gases y en la eficiencia de una caldera con la introducción de la tecnología magnética. Agroindustria, Sociedad y Ambiente, 2022, vol. 2, no 19, p. 23-36. https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/4218
7 Pons Hernández, Antonio. Termodinámica para Ingenieros Químicos editorial by Pueblo y Educación.Edition ed. (Cuba 1987)
8 SALIH, Adel Mahmmod; AHMED, Abdul-Rahman Mutez. The effect of magnetic field on the boiler performance fueled with diesel. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2016, vol. 7, no 2, p. 406-410.

21 del 25 al 29 de noviembre de 2024 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# FACTIBILIDAD DEL USO DE LA TECNOLOGÍA MAGNÉTICA PARA EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA TERMOELÉCTRICA ¨ANTONIO MACEO¨

**Dr. C. Yilian Rodríguez Clavijo, Dr. C. Mónica Berenguer Ungaro, Dr. C. Melek Campos Sofía, MsC. Lyxy Rafaela Rivera Rodríguez**.

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Ave. Las Américas s/n, Sede Universitaria "Julio A. Mella", Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba

## RESUMEN

Los estudios de factibilidad constituyen una importante herramienta de análisis para definir el alcance, capacidades y desafíos de una inversión. En Cuba, este es un tema de especial interés debido al contexto complejo y dinámico en el que se desarrolla la economía, que afecta entre muchos sectores la inversión en proyectos de ciencia e innovación. Existen diversos métodos para la realización de este tipo de análisis, como es el caso del tradicional estudio costo beneficio. Estos se basan, fundamentalmente, en mostrar beneficios económicos que puedan reflejarse en los estados financieros, lo cual limita la visión de otras dimensiones de impacto que se puedan generar. Por tal motivo, en este trabajo se presenta el estudio de factibilidad realizado al proyecto territorial ¨Incremento de la eficiencia energética en la termoeléctrica Antonio Maceo con el uso de la tecnología magnética¨. Se utilizó como método la tasa de retorno social de la inversión (SROI), que permite el análisis de factores sociales, económicos y ambientales de forma integrada, para planificar y medir el progreso general y la eficacia del proyecto. Destaca además, la utilización de la información de propiedad industrial para el análisis del mercado y fundamentación de la novedad. Los resultados obtenidos permitieron demostrar la factibilidad de la propuesta desde un enfoque socialmente responsable.

**Palabras clave**: factibilidad, inversión, proyectos, innovación

## ABSTRACT

Feasibility studies are an important analytical tool to define the scope, capabilities and challenges of an investment. In Cuba, this is a topic of special interest due to the complex and dynamic context in which the economy develops, which affects investment in science and innovation projects among many sectors. There are various methods for carrying out this type of analysis, such as the traditional cost-benefit study. These are based, fundamentally, on showing economic benefits that can be reflected in the financial statements, which limits the vision of other dimensions of impact that can be generated. For this reason, this work presents the feasibility study carried out on the territorial project "Increasing energy efficiency in the Antonio Maceo thermoelectric plant with the use of magnetic technology." The social return on investment (SROI) rate was used as a method, which allows the analysis of social, economic and environmental factors in an integrated manner, to plan and measure the general progress and effectiveness of the project. Also noteworthy is the use of industrial property information for market analysis and the justification of the novelty. The results obtained demonstrated the feasibility of the proposal from a socially responsible perspective.

**KEYWORDS:** feasibility, investment, projects, innovation

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas estratégicos del Ministerio de Energía y Minas en Cuba es el energético, por lo que se creó el Grupo Temporal de Trabajo del Crudo cubano GTT. Entre los problemas principales atendidos se encuentra el de la termo-conversión con el uso de las emulsiones del combustible pesado cubano, y su efecto en la generación de vapor. Diversos estudios se han desarrollado sobre este tema, en particular, en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Entidad de Ciencia Tecnología e Innovación (ECTI), adscripta a la Universidad de Oriente (UO). En esta institución se han realizado investigaciones vinculadas al uso del campo magnético para el tratamiento del agua, emulsiones de petróleo, para reducir la viscosidad de muestras de crudo cubano y, en algunos casos, para mejorar el proceso de separación del agua.

Para el desarrollo de estas investigaciones se tiene en cuenta la política del país en materia de eficiencia energética y uso racional de recursos energéticos, así como la necesidad de aplicación de los resultados de ciencia e innovación, con la introducción o aplicación de nuevas tecnologías, en correspondencia con el PNDES en los sectores estratégicos Electro-energético y Servicios Profesionales, así como con los Objetivos 7, 8, 9, 12, 13 y 15 de Desarrollo Sostenible (ODS 2030). Considerando que la soberanía energética es una prioridad en el país, y que la aplicación de la tecnología magnética es una de las vías para contribuir a la eficiencia energética en diferentes sistemas industriales, se presentó el proyecto: Incremento de la eficiencia energética en la termoeléctrica ¨Antonio Maceo¨ con el uso de la tecnología magnética. La propuesta se realizó al Programa Territorial: Desarrollo Energético Integral y Sostenible en la provincia Santiago de Cuba.

Uno de los requisitos para la aprobación de los proyectos que se presentan a estas convocatorias, es que deben ser de innovación, por lo que se requiere de la realización del estudio de factibilidad. En este sentido es importante reconocer, que si bien existen métodos para el desarrollo de este tipo de análisis, prevalecen algunas limitaciones, entre las que cabe mencionar: (a) Las concepciones clásicas del costo-beneficio (CBA, por sus siglas en inglés) y costo eficiencia son limitadas porque no permiten la interacción entre un número extenso de objetivos de evaluación, así como no describen una efectiva monetización (hasta donde sea razonable) de los efectos de las intervenciones (Aguilera et al., 2011). (Martin Barroso et al. 2019); (b) La definición tradicional de rentabilidad se basa en un análisis puramente económico, donde el objetivo es que los ingresos superen a los costos para cubrirlos y, además, generar excedente (Fontaine, 2008), (Sapag, 2011), cuya regla fundamental la proporciona el Valor Actual Neto (en inglés NPV) (Zai et al., 2017).

Por lo antes expuesto, la estrategia mundial del Desarrollo Sostenible (DS), ilustrada en el Triple Bottom Line de Elkington (1994), exige que las tres dimensiones sociales y ambientales tengan la misma importancia que las económicas, en sintonía con la sostenibilidad de las inversiones. La macro-teoría que define a este campo novedoso de investigación es la responsabilidad social corporativa o empresarial (en inglés CSR), teniendo su especificidad en la Inversión Socialmente Responsable (en inglés SRI). (Martin Barroso et al. 2019). Dentro de los autores más destacados en el campo de la rentabilidad sostenible, no pueden dejarse de mencionar a Frank Figge y Tobias Hahn, tanto por el número de publicaciones científicas sobre el tema como por la cantidad de citaciones que han recibido de otros autores.

En este sentido se han destacado los estudios: Figge & Hahn (2005), Figge & Hahn (2008), Hahn & Figge (2011), Hahn et al. (2018). Esta rentabilidad puede considerarse como un concepto orientado al valor, el cual se desdobla en tres tipos de capitales: económico, social y ambiental (Figge & Hahn, 2005). La novedad fundamental es que no existe subordinación hacia lo económico, situación muy común en la teoría financiera tradicional. Como expresaran Hahn et al. (2018), existen limitaciones importantes cuando se priorizan a los beneficios económicos sobre los problemas sociales y medioambientales. Los indicadores fundamentales que se han localizado asociados a la rentabilidad sostenible son:

- El Retorno Social de la Inversión (en inglés SROI), analizado de manera destacada por Sáenz & Ventura (2014), Banke et al. (2015). Este es un indicador enfocado en el valor en lugar de dinero, o sea, cada unidad monetaria de inversión cuánto genera en valor social, aunque se mida en unidades monetarias.
- El Valor Actual Neto Sostenible (en inglés NPSV) y la Tasa de Rentabilidad Sostenible (en inglés RSR), analizados con destaque para Liesen et al. (2013). Estos indicadores examinan si el valor presente de los retornos futuros, relacionados con el uso de recursos sociales y ambientales, está en sintonía con los objetivos definidos en la estrategia de sostenibilidad del inversor. (Martin Barroso et al. 2019)

Con estos referentes, se asume que la gestión empresarial dejó de enfocarse en el crecimiento económico, así como en la mitigación y prevención de impactos. Por el contrario, en la actualidad se avanza hacia la ruta del desarrollo sostenible y a la generación de valor social, que implica comprender la importancia que las personas asignan a cambios en el bienestar; de manera que estas percepciones o valoraciones sean utilizadas para tomar decisiones y realizar inversiones de impacto. De esta forma, se pueden asignar recursos de manera más efectiva.

Más allá de crear valor financiero, el valor social, cuando se integra en la cultura organizacional y en la planeación y evaluación de proyectos específicos, optimiza el trabajo al considerar un valor más amplio, incluyendo impactos en personas y el planeta. En resumen, el valor social es respetar, escuchar y utilizar percepciones para optimizar el valor, ser responsable con aquellos afectados y tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos. (Social Value International) (Moreno Torres, MP & Sandoval Parra, CC, 2024)

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Considerando los referentes teóricos analizados, para el desarrollo de este estudio se utilizó como método el Retorno Social de la Inversión (SROI), que es una herramienta que permite medir y cuantificar el impacto social, siguiendo principios de medición del valor extra-financiero en relación a los recursos invertidos. El SROI a pesar de estar todavía en un proceso de perfeccionamiento se centra en los impactos críticos a los grupos de interés, lo que permite cuantificar y rentabilizar el cambio que crea un proyecto u organización en la sociedad" (Medina & García, 2019). Sin embargo, se debe tener cuidado con los sesgos y las interpretaciones que da este método. (Santander-Zúñiga, BA et al. 2022).

El SROI mide el cambio de una forma que es relevante para los grupos de interés que lo experimentan o contribuyen con él. Cuenta cómo se genera el cambio midiendo las salidas desde el punto de vista social, medioambiental y económico, y usa términos monetarios para representar dichas salidas. Esto permite calcular el ratio costo-beneficio de un programa, proyecto o conjunto de actividades específicas. Un análisis SROI puede satisfacer una serie de propósitos.

Este método puede ser usado como una herramienta para planificación estratégica y mejora, para comunicar el impacto y atraer inversión, o bien para tomar decisiones de inversión. El SROI fue desarrollado con base en la contabilidad social y el análisis de costo-beneficio. Para este estudio se toman como referencias los estudios realizados por Ricucc, Balet, Molteni y Serravalle; 2020 y Carballo; 2021. El método incluye varias etapas, en este trabajo, se detallan tres de ellas: la creación del mapa de impactos, la determinación del impacto y asignación de valor y el cálculo SROI.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Creación del mapa de impactos

La definición del mapa de impactos o cadena de creación de impactos es una herramienta que provee a la institución de información necesaria para el monitoreo y control de los insumos, las actividades y procesos, los resultados y los impactos. En la siguiente figura se muestra el mapa de impactos del proyecto que se evalúa.

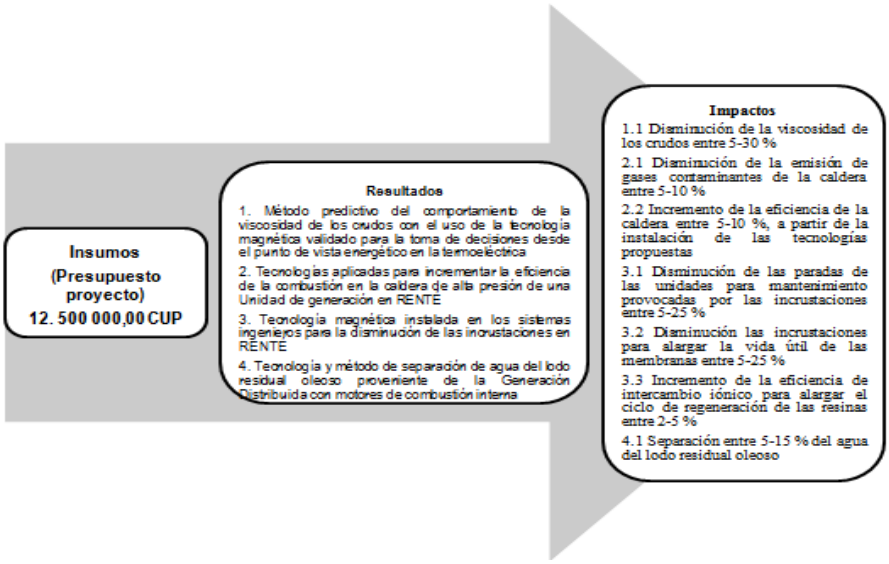



**Figura 2. Mapa de creación de valor del proyecto**
**Fuente: Adaptado de Narrillos, 2020**

### 3.2 Determinación del impacto y asignación de valor

Para la determinación del impacto y asignación de valor se requiere de la estimación de los proxies financieros y del valor de los impactos. Los proxies son valores financieros aproximados que permiten presentar la importancia relativa de los cambios experimentados por un grupo de interés. Los cálculos utilizados se basan esencialmente en el método de monetización de potencial ahorro de coste o valor de los recursos re-asignados, implicando la identificación de beneficios substitutos en el mercado que generarían el mismo resultado o un resultado similar en cada impacto. a. En la tabla 1 se muestran los resultados de la estimación del valor de los impactos asociados al proyecto.

**Tabla 1. Estimación del valor de los impactos**

| **Impactos** (Cambios) | **Valor (CUP)** | **Proxie financiero** | **Fuente** |
|---|---|---|---|
| Disminución de la viscosidad de los crudos entre 5-30 % | 8.499.456.000,00 | Ahorros por concepto de mejora de la combustión del crudo | Registros de trabajo de la central |
| Disminución de la emisión de gases contaminantes de la caldera entre 5-10 % | | | |
| Incremento de la eficiencia de la caldera entre 5-10 %, a partir de la instalación de las tecnologías propuestas | 10.927.872.000,00 | Ahorros de combustibles como consecuencia de una mayor generación de vapor | |
| Disminución de las paradas de las unidades para mantenimiento provocadas por las incrustaciones entre 5-25 % | 6.071.040.000,00 | Ahorro por alargamiento de las paradas provocadas por las incrustaciones | |
| | 202.368.000,00 | Disminución de los gastos por mantenimiento | |
| Separación entre 5-15 % del agua del lodo residual oleoso | 9.106.560.000,00 | Ahorros por mejora de la calidad del lodo para ser utilizado en la caldera | |
| **Total** | **34.807.296.000,00** | | |

3.2.1 (Cálculo del peso muerto y la atribución)

En el análisis SROI, es necesario establecer el impacto, para lo que se calcula en términos de porcentaje el peso muerto y la atribución. Cuanto más incrementan el peso muerto y la atribución, la contribución al outcome decrece. El peso muerto expresa la cantidad de outcome que habría pasado de todas maneras, aunque la intervención no hubiese ocurrido. La atribución expresa la cantidad de outcome que se atribuye a la intervención de otros. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la monetización de los impactos.

**Tabla 2. Determinación del impacto**

| **Proxie financiero** | **Peso muerto (a)** | **Atribución (b)** | **Monetización** | |
|---|---|---|---|---|
| | **%** | | Valor 0 | Valor 1 Valor 0-(a)-(b) |
| | Qué sucedería sin la intervención | Quién más contribuirá al cambio | | |
| Ahorros por concepto de mejora de la combustión del crudo | 0 | 0,1 | 8.499.456,00 | 7.224.537, 60 |
| Ahorros de combustibles como consecuencia de una mayor generación de vapor | 0 | 0,1 | 10.927.872, 00 | 9.288.691, 20 |
| Ahorro por alargamiento de las paradas provocadas por las incrustaciones | 0 | 0,1 | 6.071.040,00 | 5.160.384,00 |
| Disminución de los gastos por mantenimiento | 0 | 0,1 | 202.368,00 | 172.012.80 |
| Ahorros por mejora de la calidad del lodo para ser utilizado en la caldera | | 0,1 | 9.106.560,00 | 7.740.576,00 |
| | | **Total** | **34.807.296,00** | **29.586.201, 60** |

**4.3 Cálculo SROI**

El cálculo del SROI tiene carácter evaluativo o prospectivo, en dependencia del momento en el que se realiza el análisis. En ambos casos se debe determinar el valor de los impactos y el valor de la inversión.

***Ratio SROI*= (Valor actual total del impacto/ inversión total)**

- Para un análisis SROI evaluativo se divide la suma del total de los impactos entre la suma total de la inversión (Ariza-Montes et al., 2021).

***SROI Evaluativo= Total impactos/ Total inversión***

- Para un análisis SROI prospectivo se debe actualizar el valor de los impactos con el valor actual neto, así:

***SROI Prospectivo: Valor impactos/ Valor inversión***

Por las características de este análisis de prefactibilidad, se utiliza el SROI prospectivo. El resultado se muestra en la figura 2.

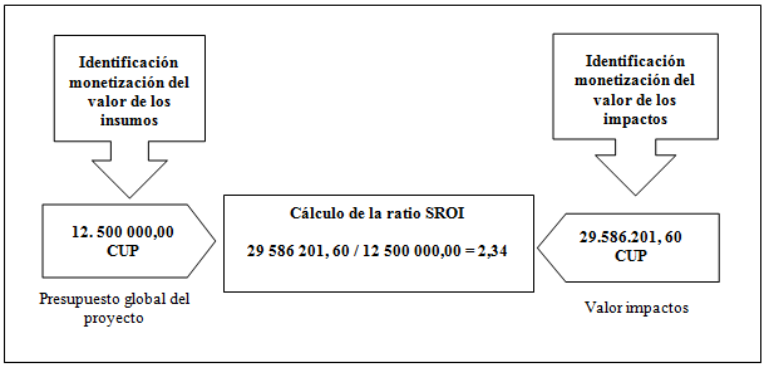



**Figura 2. Cuadro resumen del cálculo del SROI**
**Fuente: Adaptado de Ricucci y cols., 2020**

El ratio SROI que resulta del análisis es 2,34, es decir una cantidad de 2,34 CUP de retorno social por cada 1 CUP invertido. Esto significa que el valor social creado por el proyecto es 2,34 veces mayor que el valor de la inversión (12.500 000,00 CUP). Por lo anterior, se obtiene como resultado del estudio de factibilidad que el proyecto ¨Incremento de la eficiencia energética en la termoeléctrica ¨Antonio Maceo¨ con el uso de la tecnología magnética¨ es factible.

## 4 CONCLUSIONES

La estructura del análisis realizado aporta un nuevo y necesario enfoque para la realización de los estudios de factibilidad de los proyectos de innovación en el CNEA, destacando la utilización del método SROI, que permite un enfoque integrador para la estimación de los valores económicos, sociales y ambientales que genera un proyecto. La propuesta contribuye a elevar la responsabilidad social en la entidad, lo que a su vez repercute en la reputación y relevancia institucional.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue realizado con financiamiento de los proyectos: PT-223-SC-002-007. Incremento de la eficiencia energética en la termoeléctrica Antonio Maceo con el uso de la tecnología magnética y al PNAP223SC14002-16. Perfeccionamiento de la gestión institucional en el CNEA.

## REFERENCIAS

Abbas, T. (2019). Étude de faisabilité d'une centrale de production d'électricité et de chaleur à partir de la biomasse avec un réseau de chauffage urbain à l'Île Anticosti (Doctoral dissertation, Université du Québec à Rimouski).

Barreno Torres, C.D.R (2019). Metodología para la medición del beneficio económico en el sector turístico (Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Carrera Organización de Empresas)

Barroso, A. M. M., & Ferreiro, G. L. (2020). Comportamiento de la Evaluación de la Sostenibilidad Económica en proyectos renovables de Sancti Spíritus. Análisis crítico/Behavior of Economic Sustainability Evaluation in Sancti Spiritus renewable projects. Criticalanalysis. Revista Economía y Desarrollo (Impresa), 162(3)

Barroso, A. M. M., Ferreiro, G. L., & Valera, M. S. (2020). De la rentabilidad tradicional hacia la rentabilidad sostenible en la inversión energética renovable. Economía y Desarrollo, 163(1).

Campos M. “Estudio del efecto del campo magnético estático sobre petróleo y emulsiones: potencial tecnológico”. Registro de autor No: 2028-06-2018. Fecha 21/06/2018

Chuqui Murillo, J. J. (2023). Análisis de factibilidad e implementación de un sistema fotovoltaico en la comuna de masa 2 (Bachelor's thesis).

de Brux, J., Geoffron, P., Joly, P. B., Lahidji, R., Percebois, J., & Quinet, É. (2021). Déchets radioactifs: retour sur l'évaluation socio-économique du projet Cigéo. Revue de l'Energie, (659).

Evdokimov IN y Kornishin KA. Apparent Disaggregation of Colloids in a Magnetically Treated Crude Oil. Energy Fuels 23: (8) 4016-4020. 2009

Gilart, R. A., Casas, F. F., Lores, Y. R., García, R. C., & Campos, S. M. Mejoras en las emisiones de gases y en la eficiencia de una caldera con la introducción de la tecnología magnética. Agroindustria, Sociedad y Ambiente, 2(19), 23-36. 2022

Gonçalves JL, Bombard AJF, Soares DAW y Alcantara GB. Reduction of Paraffin Precipitation and Viscosity of Brazilian Crude Oil Exposed to Magnetic Fields. Energy Fuels 24: (5) 3144-3149. 2010

Gutleber, J. (2024). Progrès de l'étude de faisabilité du Futur collisionneur circulaire (FCC).

Hasaani AS, Hadi, Zaid L., Rasheed, Khalid A. Experimental study of the interaction of magnetic fields with flowing water. International Journal of Basics and Applied Science 3: (3) 1-8. 2015

Hasan SW, Ghannam MT y Esmail N. Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation. Fuel 89: (5) 1095-1100. 2010

Homayuni F, Hamidi AA, Vatani A, Shaygani AA y Faraji Dana R. The Viscosity Reduction of Heavy and Extra Heavy Crude Oils by a Pulsed Magnetic Field, Petroleum. Science and Technology 29: (23) 2407-2415. 2011

IMADAN, A. I., SEMASSOU, G. C., TOSSA, A. K., & SALEY, H. A. (2024). Étude de faisabilité technico-économique d'installation d'une filière de régénération de batteries stationnaires solaires au plomb acide au Bénin. Afrique SCIENCE, 24(2), 122-131.

Jiang, C., Guo, L., Li, Y., Li, S., Tian, Y., Ma, L., & Luo, J. Magnetic field effect on apparent viscosity reducing of different crude oils at low temperature. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 629, 127372. 2021

Jing, J., Shi, W., Wang, Q., & Zhang, B. Viscosity-reduction mechanism of waxy crude oil in low-intensity magnetic field. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 44(2), 5080-5093. 2022

Klassen VI. Magnetic treatment of water systems. Chimia, Moscow. 1978

Kulkarni AD y Wani KS. Magnetic Field Conditioning: An Energy Efficient Method for Crude Oil Transportation. published in" Pratibha: International Journal of Science, Spirituality, Business and Technology 2: (1) 36-39. 2013

Loh W, Mohamed RS y dos Santos RG. Crude oil asphaltenes: colloidal aspects. En: Encyclopedia of Surface and Colloid Science, Second Edition, pp. 1-18. 2007

Loskutova YV y Yudina N. Effect of constant magnetic field on the rheological properties of high-paraffinicity oils. Colloid Journal 65: (4) 469-474. 2003

Loskutova YV y Yudina N. Rheological behavior of oils in a magnetic field. Journal of Engineering Physics and Thermophysics 79: (1) 105-113. 2006

Loskutova YV y Yudina NV. Effect of constant magnetic field on the structural and mechanical properties of paraffin-base crude oils. Petroleum Chemistry 44: (1) 58-62. 2004

Loskutova YV y Yudina NV. Влияние магнитного поля на структурно-реологические свойства нефтей. Известия Томского политехнического университета Т. 309. № 4. 2006

Loskutova YV, Yudina NV y Pisareva SI. Effect of Magnetic Field on the Paramagnetic, Antioxidant, and Viscosity Characteristics of Some Crude Oils. Petroleum Chemistry 48: (1) 51-55. 2008

Moreno Torres, M. P., & Sandoval Parra, C. C. (2024). Análisis prospectivo SROI–estudio aplicado a proyecto de generación de energía renovable.

N. S. Musina. TAM. Application of Magnetic Treatment to Changing the Composition and Physicochemical Properties of Crude Oil and Petroleum Products. Zhurnal Analiticheskoi Khimii 71: (1) 29-36. 2016

Pang XF. The experimental evidences of the magnetism of water by magnetic-field treatment. IEEE Transactions on Applied Superconductivity 24: (5) 1-6. 2014

Pivovarova NA. Influencia del campo magnético en la naturaleza de los sistemas dispersos de petróleo. RSU de Petróleo y Gas, Inc Astrakhangazprom Rusia. 2006

Pivovarova, N. A. Use of wave effect in processing of the hydrocarbonic raw material. Petroleum Chemistry, 59, 559-569. 2019

Santander-Zuñiga, B. A., Valencia-Botero, D. F., & Hernández, H. A. (2022). Metodologías para la evaluación de proyectos sociales en las zonas rurales. Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 34(2), 462-472.

Scailquin, R., & Hermans, J. " Étude de faisabilité et de rentabilité du projet entrepreneurial: Mamie Colette.

Shiryaeva R, Kudasheva FK y Gimaev R. Effect of nonionogenic surfactants and a magnetic field on the rheological properties of highly viscous crude oils. Chemistry and Technology of Fuels and Oils 44: (3) 172-175. 2008

Shiryaeva RN, Kudasheva FK, Gimaev RN y Sagitova CK. Research Rheological Properties of Crude Oils with a High Resin and Asphaltene Content. Effect of an Electromagnetic Field and Modifiers. Chemistry and Technology of Fuels and Oils 42: (3). 2006

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DE UN CAMPO MAGNÉTICO ESTATICO EN EL PROCESO DE COAGULACION

# INFLUENCE OF A STATIC MAGNETIC FIELD ON THE COAGULATION PROCESS

Coureoneaux C.[1], Ribeaux G.[2], Del Toro D.[3]
[1]Laboratorio Farmacéutico Oriente (LBF), Biocubafarma, [2]Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, [3]Facultada de Ingeniería Química y Agronomía (FIQA), Universidad de Oriente
ribeaux@uo.edu.cu

## RESUMEN

En la investigación se realiza el análisis de las propiedades de la muestra sin exposición al Campo Magnético (CM) antes y después de la prueba de jarras (PJ), luego con la aplicación del CM a la muestra y la adición del coagulante, la dosis del agente coagulante que se utilizó fue la mínima permisible de Sulfato de Aluminio para agua potable según las normas (NC 827 - 2012). La evaluación del comportamiento antes y después de la PJ y analizar la influencia del TM en el proceso de coagulación-floculación. El experimento mostró similitud con la información existente sobre el campo magnético en la bibliografía consultada, se evidenciaron transformaciones sobre las características de muestra, rápida formación de flóculos, aumento de la velocidad de sedimentación, disminución del tiempo de sedimentación, ahorro de energía, reducción de productos químicos, mejora de condiciones de trabajo, costo de producción y un impacto favorable al medio ambiente.
**Palabras claves**: Magnetismo; Campo magnético; Tratamiento magnético Coagulación-Floculación; Sedimentación.

## ABSTRACT

In the research, the analysis of the properties of the sample is carried out without exposure to the Magnetic Field (CM) before and after the jar test (PJ), then with the application of the CM to the sample and the addition of the coagulant, the dose The coagulant agent used was the minimum allowable amount of Aluminum Sulfate for drinking water according to the standards (NC 827 - 2012). The evaluation of behavior before and after PJ and analyze the influence of TM on the coagulation-flocculation process. The experiment showed similarity with the existing information on the magnetic field in the consulted bibliography, transformations were evident in the sample characteristics, rapid formation of flocs, increase in sedimentation speed, decrease in sedimentation time, energy savings, reduction of chemical products, improvement of working conditions, production costs and a favorable impact on the environment.
**Keywords**: Magnetism; Magnetic field; Coagulation-Flocculation magnetic treatment; Sedimentation

## INTRODUCCIÓN

La ciencia y la tecnología juegan un papel fundamental en el desarrollo de las industrias, en este caso en la industria farmacéutica, aumentando la calidad y eficiencia de los procesos productivos. El agua utilizada en la industria farmacéutica es preparada a partir del agua potable apta para el consumo humano. Por tanto, un primer nivel de descontaminación es el que establecen las normas estatales o autonómicas aplicables en cada zona para obtener agua potable [1]. Es de suma importancia la consideración de diseñar un sistema de tratamiento de agua que disminuya la acción negativa sobre el medio ambiente y su entorno social.

En el caso que se analiza como bien se plantea el sistema de tratamiento de agua por intercambio iónico consta de muchos años de explotación, su funcionamiento no es eficiente, las aguas residuales de su regeneración y enjuagues son vestidas directamente en el suelo sin ningún tratamiento. La contaminación de las aguas subterráneas se produce por la migración de contaminantes hacia los acuíferos los que alteran las propiedades fisicoquímicas de las aguas perjudicando su calidad. La contaminación del suelo provoca una reacción en cadena, altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica que contiene y su capacidad para actuar como filtro. También se contamina el agua almacenada en el suelo y el agua subterránea, provocando un desequilibrio de sus nutrientes. El electromagnetismo ha sido utilizado para diferentes tipos de tratamientos, entre ellos los procesos de sedimentación y coagulación contribuyendo a mejorar la eficiencia del proceso y ahorro de coagulante. [2-4]

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron el laboratorio de la planta Potabilizadora de Santiago de Cuba, se empleó el método de la prueba de jarra utilizando los equipos necesarios para dicha prueba: Floculador, 6 Beaker de 1000 ml, solución de sulfato de aluminio al 1% y  Turbidimetro. Ver figura 1.

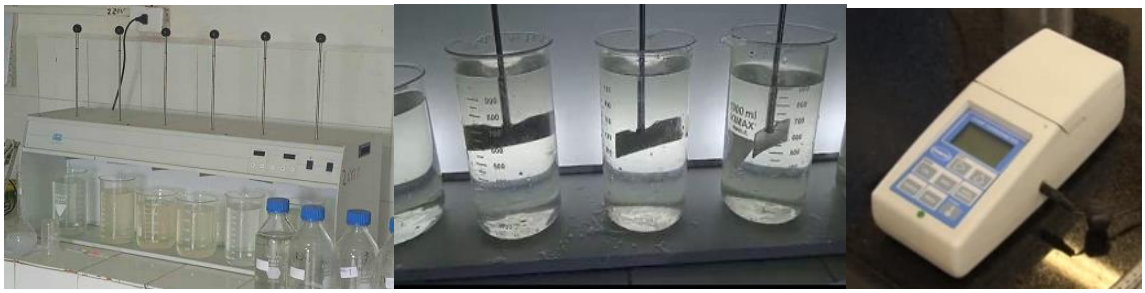


Figura 1: Equipamiento utilizado para la prueba de jarra.

En la figura 2 se muestra el dispositivo acondicionados magnético empleado y un mapa de simulación de la caracterización del mismo, el valor de inducción magnética B en la zona de trabajo es de aproximadamente 0.4 T con 4 pases según la disposición del conducto.

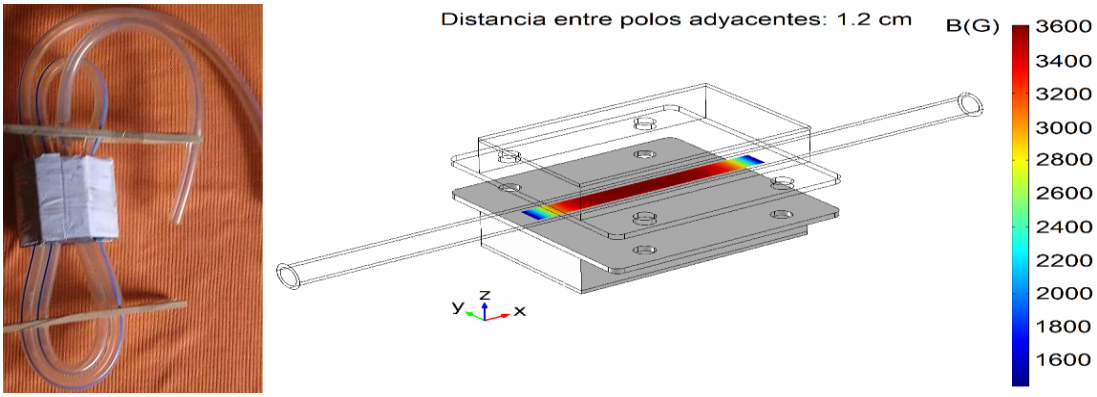



Figura 2. Dispositivo magnético empleado y mapa de escala de valores de inducción de CM para una distancia entre polos de 1,2 cm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede observarse en la tabla I menores valores de turbidez como parámetro de interés, se observaron con campo magnético utilizando la mínima dosis de coagulante (15 mg/L) apareciendo los flóculos con mayor rapidez.

Tabla I: Resultados de los valores de turbidez obtenidos con y sin CM según dosis optima de coagulante.

| | Ac | AG-15 | AG-20 | AG-25 | AG-30 | ATM-15 | ATM-20 | ATM-25 | ATM-30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 7.20/7.37 | | | 7.25/7.31 | 7.29/7.24 | 7.59/7.58 | 749.7.50 | 7.44/7.43 | 7.43.7.41 |
| Cond | 379.3/380.3 | | | 377.2/377.8 | 3.81.6/383.9 | 383.6/380.9 | 331.9/381.3 | 387.4/385.2 | 391.2/394.4 |
| Tb | 32.5 | 4.44 | 4.42 | 3.42 | 2.89 | 3.42 | 3.83 | 3.36 | 3.24 |
| Color | 200 | 30 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| IFF | | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| TFS | | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |

Ac agua cruda, A G-15 agua cruda con 15 mg/L de Sulfato de Aluminio, AG-20 agua cruda con 20 mg/L de Sulfato de Aluminio, AG-25- agua cruda con 25 mg/L de Sulfato de Aluminio, AG-30 agua cruda con 30 mg/L de Sulfato de Aluminio, ATM-15 agua TM con 15 mg/L de Sulfato de Aluminio, ATM-20 agua TM con 20 mg/L de Sulfato de Aluminio, ATM-25 agua TM con 25 mg/L de Sulfato de Aluminio, ATM-30 agua TM con 30 mg/L de Sulfato de Aluminio, IFF inicio de formación de flóculos, TFS flóculos sedimentados.

Los resultados presentados demuestran que un campo magnético estático es capaz de influenciar el proceso de sedimentación y coagulación. En este fenómeno las partículas coloidales son las causantes de la turbiedad del agua, para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación, el cual es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, facilitando su aglomeración, para lo cual deben ser anuladas las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, es decir, que ocurra una compresión de la doble capa permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos, se infiere que esto sea lo que esté provocando el campo magnético tal y como se plantea en [5,6], donde refieren que la fuerza de Lorentz pudiera provocar la condensación de la capa de Stern (Capa comprimida) a costa de la capa de Gouy-Chapman (Capa difusa), ver figura 3. La neutralización de la superficie cargada de la partícula dispersada puede ser valorada sobre la base de la teoría de la doble capa eléctrica. Al finalizar el tratamiento magnético pudiera haber una tendencia a que los contraiones en exceso en la capa de Stern se distribuyan uniformemente. Este proceso pudiera durar desde horas hasta días y conducir a la heterocoagulación de las partículas. La homogenización de la capa de Stern, finalizado el tratamiento magnético, intensificaría la agregación de la fase sólida por homocoagulación. Es importante señalar que precisamente la compresión de la doble capa es uno de los mecanismos que propician la coagulación.

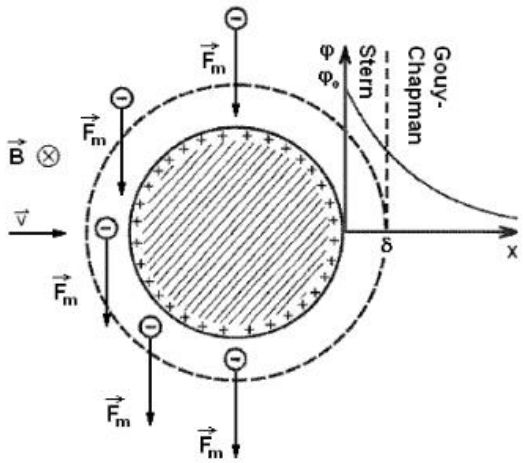



Figura 3: Efecto de la componente magnética de la fuerza de Lorentz sobre la capa de Stern (Capa comprimida) en el tratamiento magnético.

## CONCLUSIONES

En el caso de la turbidez al pasar el agua por el campo magnético hubo una disminución de su valor. El TM tiene influencia significativa en los procesos de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas, propiciando una disminución en la dosis de coagulante (sulfato de aluminio) a aplicar.

## REFERENCIAS

1. Andía Cárdenas, Y. (2000). Tratamiento de aguas: Coagulación y Floculación. Lima: SEDAPAL.
2. Cefalas, A., Kobe, S., Drazic, G., Sarantopoulou, E., & Kollia, Z. (2008). Nanocrystallization of $CaCO_3$ at solid/liquid interfaces in magnetic field: A quantum approach. Applied Surface Science, 254.
3. Danielewicz-Ferchmin, I., & Ferchmin, A. (2004). Water at ions, biomolecules and chargedsurfaces. Phys. Chem. Liquids, p.42.
4. García, Y., & Rodríguez, A. (2006). Efecto del magnetismo en la sedimentación y recuperación de cobalto en procesos con tecnología Caron. Universidad de Oriente, Cuba.
5. Lipus, L. C. (2001). Dispersion Destabilization in Magnetic Water Treatment Journal of Colloid and Interface Science 236, 2001. Journal of Colloid and Interface Science, 236.
6. Rivero, Y. (2003). Utilización de floculantes y el campo magnético en soluciones acuosas. Universidad de Oriente, Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

**Nuria de los Ángeles Vaillant López[1], Talía Olivero Fortune[2], Gabriela Carreras Fernández[3], Guillermo Ribeaux Kindelán[4]**

[1] [3]Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana. Calle 114 #11901 e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[2] Empresa Contratista General de Obras de Varadero. ARCOS. UGDC ARCOS. UGDC # 1. Varadero, Matanzas, Cuba.
[4]Centro de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: nuryvaillant@gmail.com

**RESUMEN**

La aplicación del tratamiento magnético (TM) al agua cruda en la potabilización del agua, principalmente para los procesos de coagulación, floculación y sedimentación constituye una nueva tecnología por su efectividad económica y técnica. En este trabajo se evalúa el efecto del campo magnético (CM) en los procesos de coagulación - floculación, la influencia en la formación de los flóculos a diferentes dosis de sulfato de aluminio, y la sedimentación utilizando la Prueba de Jarras, para agua cruda previa a su tratamiento de potabilización. Se concluye que existe influencia directa del CM en cada una de las propiedades estudiadas antes y después de realizada la Prueba de Jarras (aumento de pH al aplicar CM, disminución de conductividad, pH y turbidez luego de la Prueba de Jarras) bajo las condiciones establecidas de niveles de inducción de CM aplicados (330, 276 y 240 mT). Se demuestra que el TM incide en los procesos de coagulación-floculación para la potabilización de aguas, propiciando una disminución en la dosis del coagulante aplicado en un 27%.

**PALABRAS CLAVES:** Prueba de Jarras, pH, turbidez, conductividad, tratamiento magnético.

# INFLUENCE OF MAGNETIC TREATMENT ON THE COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS FOR WATER PURIFICATION

**ABSTRACT**

The application of magnetic treatment (MT ) to raw water in water purification, mainly for the processes of coagulation, flocculation and sedimentation, is a new technology due to its economic and technical effectiveness. In this work, the effect of the effect of the magnetic field (MF) on the coagulation - flocculation processes, the influence on the formation of floccules at different doses of aluminium sulphate, and sedimentation using the Jar Test, for raw water prior to its potabilisation treatment. It is concluded that there is a direct influence of the MF on each of the properties studied before and after the Jar Test (increase in pH when applying MF, decrease in conductivity, pH and turbidity after the Jar Test), under the established conditions of CM induction levels applied. CM induction levels applied (330, 276 and 240 mT). It is shown that MT has an impact on the coagulation-flocculation processes for the potabilisation of water, leading to a reduction in the dose of coagulant applied by 27%.

**KEY WORDS:** Jar Test, pH, turbidity, conductivity, magnetic treatment.

## 1. INTRODUCCIÓN

En naciones en vías de desarrollo como Cuba, las limitaciones económicas para la implantación de sistemas convencionales de potabilización y de depuración, hacen que el volumen de efluentes tratados no sea suficiente, por lo que la búsqueda y aplicación de nuevas tecnologías y formas de tratamiento de agua más limpias, ecosostenibles, eficientes, y sin necesidad del uso de productos químicos con impacto medioambiental, se ha convertido en necesidad imperante de las últimas décadas.

El estudio de la influencia de tecnologías limpias como el tratamiento magnético (TM) en los diferentes procesos de los sistemas de tratamiento de aguas, ha ido ganando popularidad, debido a su efectividad económica y técnica. Se conoce que los efectos del TM en sistemas acuosos provocan variaciones en la cinética de los procesos físico-químicos. En el plano internacional, existen investigaciones que demuestran la capacidad del TMA para inducir cambios en el pH, tensión superficial, solubilidad, turbidez, conductividad, capacidad calorífica, comportamiento del potencial Z, y la susceptibilidad magnética. [1-6]

En Cuba, la ciencia relacionada con el TM y derivada hacia la vertiente de sistemas ingenieros ha mostrado su efectividad en la prevención de incrustaciones calcáreas en redes y tuberías, calderas, sistemas de enfriamiento, como separadores de partículas ferromagnéticas, en la industria azucarera, industria del petróleo, en el riego agrícola, y para la alimentación animal, fundamentalmente. [7-10] Otras novedosas aplicaciones del TM al agua son examinadas por la comunidad científica: efectos bactericidas y alguicida, absorción de metales pesados, eliminación de organismos patógenos y como ayudante en los procesos de coagulación. [11], estudios que se muestran como un abanico de posibles nuevas aplicaciones en nuestro país, que podrían contribuir con el desarrollo de procesos inherentes al agua, como la coagulación floculación, la vaporización y la desinfección, entre otros.

El tratamiento magnético consiste en hacer pasar un campo magnético (CM), producido generalmente por imanes permanentes a través de un fluido a determinada velocidad y distribución espacial. Cuando el agua circula por el CM creado por los acondicionadores magnéticos, sobre los iones de las sales que están disueltos en el agua, inciden las líneas del CM, surgiendo fuerzas que los mueven de su posición de equilibrio y, por lo tanto, el agua modifica algunas de sus propiedades físico-químicas. [9].

No existen dudas de la efectividad en la aplicación del TM, pero se perciben discrepancias en la interpretación del fenómeno que se observa, por lo que se multiplican las reservas en la explicación teórica de la influencia del CM sobre las propiedades de los sistemas acuosos. Este asunto se complejiza si se tiene en cuenta la influencia de parámetros externos como la temperatura, el material de las tuberías y el amplio rango de frecuencias, intensidad, tiempo de exposición y velocidad del fluido, entre otros.

En la década de los 90 del siglo pasado se realizaron algunos estudios enfocados en estudiar el efecto del TM en los procesos de coagulación-floculación tanto en aguas destinadas al consumo humano como en aguas residuales, sin embargo, en el siglo XXI se encuentran investigaciones aisladas sobre el tema. No obstante, en su mayoría, se muestran resultados interesantes concernientes fundamentalmente al ahorro de coagulantes químicos. [12-14]

La **coagulación – floculación** es uno de los tratamientos realizados en los procesos de potabilización y tratamiento de aguas residuales. Se utiliza para lograr la remoción de turbiedad orgánica e inorgánica, color verdadero y aparente, sustancias productoras de sabor, bacterias y organismos patógenos susceptibles de ser separados, y la destrucción de algas y plancton en general. Como la mayoría de los coloides están cargados negativamente, son estables debido a la repulsión electrostática las partículas. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan.

La coagulación floculación persigue la desestabilización de los coloides a través del empleo de coagulantes (principalmente agentes químicos) que neutralizan la carga eléctrica negativas de los coloides para formar por aglomeración flóculos de mayor tamaño y baja solubilidad que si precipitan. Varios factores afectan el proceso: pH (por el rango de PH en q es más efectivo el coagulante), tiempo de contacto (el reactivo debe difundirse y neutralizar las cargas de todo el coloide antes de la formación de los flóculos), el gradiente de velocidad (debe estar en los rangos adecuados según etapa de mezcla en que se encuentre), concentración del coagulante, temperatura (las bajas disminuyen la efectividad del proceso), y la calidad del agua.

No existe fórmula alguna que permita calcular a priori la concentración de coagulante necesaria para cada tipo de agua, por lo que debe recurrirse a métodos empíricos para su determinación. Por esa razón, se realizan pruebas (Ensayo de Jarras o Jar –Test) utilizando diferentes concentraciones de coagulantes y

floculantes a fin de evaluar los rendimientos de depuración esperables, y las dosis de reactivos necesarias para ello. Durante el desarrollo de estos ensayos, se efectúa la determinación de la calidad del agua clarificada, volumen de fango producido y velocidad con que decantan los flóculos. Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial: gradiente hidráulico; tiempo en la mezcla lenta y mezcla rápida; punto de aplicación, orden y tiempo de dosificación de los reactivos.

Teniendo en cuenta la importancia de los procesos de coagulación floculación en el tratamiento de aguas para potabilización y el tratamiento de aguas residuales, y la necesidad en el ahorro o diminución de reactivos químicos por su incidencia negativa en el medioambiente, este trabajo de investigación explora la posible influencia del TM en este proceso como vía para el ahorro económico y la ecosostenibilidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Sistema experimental

El sistema experimental del presente estudio estuvo conformado por una bomba peristáltica (Thermo Fisher Scientific, FH 100) con precisión ± 0,5 % escala completa, velocidad de 4 a 400 rpm, para generar el flujo del fluido a 35 rpm; una tubería de silicona de 2,85 m de longitud y 0,7 cm de diámetro interior, dos vasos de precipitado con capacidad de 5 000 ml cada uno. El caudal es de $3{,}23*10^{-6}$ $m^3/s$, y la velocidad de circulación del flujo 0,083 m/s. Se utilizan dos pares de imanes permanentes (acondicionadores magnéticos) con polos norte y sur, ubicados uno frente al otro para generar un CM homogéneo. El tamaño de cada uno de los imanes es de 5 cm x 3 cm x 0,1 cm (largo, ancho y alto) y la separación entre cada par fue de 6,5 cm orientados en repulsión. (Fig. 1)

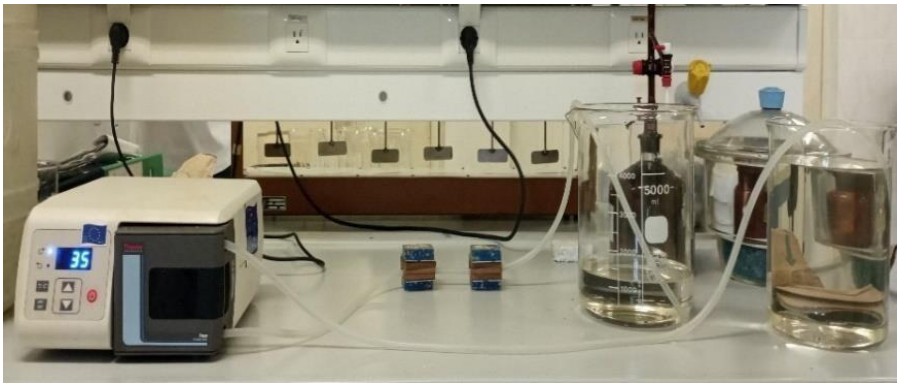



Figura 1: Sistema experimental para el tratamiento magnético

El coagulante utilizado es el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ sólido tipo A. En la preparación del coagulante se utilizaron 0,2 gramos de $Al_2(SO_4)_3$ diluidos en 100 ml de agua destilada. Para realizar la Prueba de Jarras se utiliza un floculador Tester-Floculateur de 6 paletas, cada una de 6cm largo x 2,5cm ancho (Fig. 2). Se utilizaron 6 jarras de 800ml a 150 rpm durante 5 minutos para la mezcla rápida, y 30 rpm durante 20 min para la mezcla lenta. Se deja reposar durante 30 min y se procede a determinar la dosis óptima de coagulante. Las concentraciones de coagulante utilizadas en las jarras son: 5.5 mg/l, 6.0 mg/l, 6.5 mg/l, 7.0 mg/l, 7.5 mg/l y 8.0 mg/l. Para los pesajes se utiliza balanza analítica RE-ZERO HR-200.

Para definir el resultado de la Prueba de Jarras se analizaron las características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos; la calidad del sobrenadante: claridad o transparencia; observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido, decantado, semidecantado, entre otros.




Figura 2: Tester-Floculateur de 6 paletas

Los acondicionadores magnéticos pertenecen a la marca NOVAMAG diseñados y construidos por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), son dispositivos constituidos a base de imanes de tierras raras, hechos de una aleación de neodimio ($Nd_2$), hierro ($Fe_{14}$) y boro (B), y fueron acreditados en los laboratorios de caracterizaciones magnéticas del CNEA.

Cada una de las muestras se analizó para un valor de intensidad de CM diferente: 330 miliTesla (mT) con separación entre caras polares de 0,9 cm (ATM); 276 mT con separación entre caras polares de 1,5 cm (BTM) y 240 mT con separación entre caras polares de 2,0 cm (CTM). En las figuras 3, 4 y 5 se pueden observar los mapas de las escalas de valores de inducción de CM en la zona de trabajo para las distancias entre las caras polares de 0,9 cm; 1,5 cm y 2,0 cm respectivamente, obtenidos mediante simulación haciendo uso del software profesional 3D COMSOL, 2D FEEM que utiliza para resolver problemas de tipo magnético las ecuaciones de Maxwell en forma diferencial, utilizando el método de los elementos finitos (MEF). No obstante, los valores de intensidad de CM fueron medidos con un Gaussímetro de efecto Hall de la marca LakeShore (modelo 41). (B=intensidad de CM, D=separación entre caras polares)

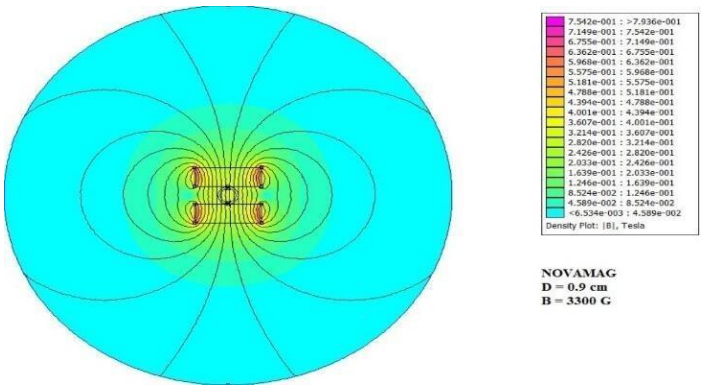



Figura 3 Mapa de escala de valores de inducción de campo magnético en la zona de trabajo para una distancia entre polos de 0,9 cm. (3300 Gauss = 330 mT)

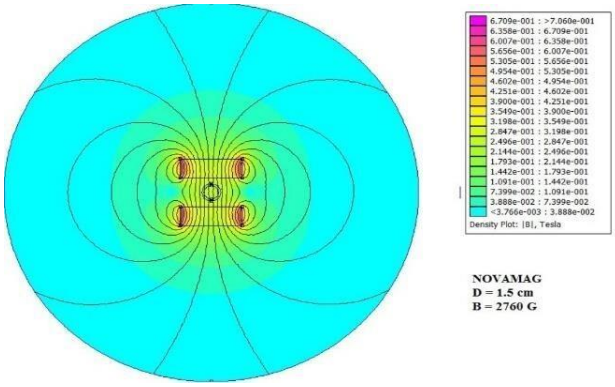



Figura 4: Mapa de escala de valores de inducción de campo magnético en la zona de trabajo para una distancia entre polos de 1,5 cm. (2760 Gauss = 276 mT)

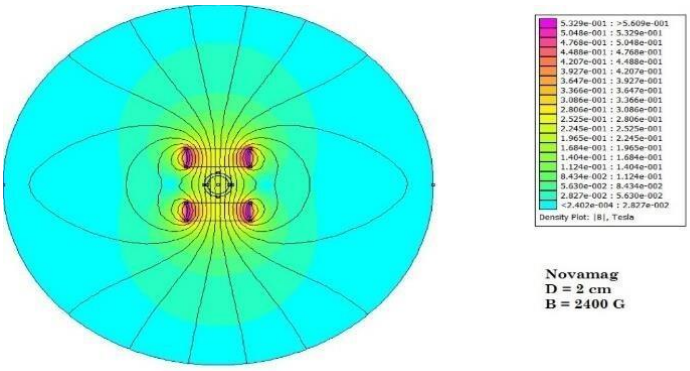



Figura 5: Mapa de escala de valores de inducción de campo magnético en la zona de trabajo para una distancia entre polos de 2,0 cm (2400 Gauss = 240 mT)

Cabe destacar que independientemente de que la simulación del software es más precisa, los valores de intensidad de CM medidos manualmente con el gaussímetro y declarados en los experimentos, están dentro del rango de valores de inducción de CM obtenidos por el software en la zona de trabajo.

**Procedimiento experimental**

Para determinar el efecto de CM en la dosis óptima de coagulante a aplicar durante el proceso de coagulación-floculación en agua para potabilización, se tomaron muestras de agua cruda en la planta potabilizadora Norte-Habana proveniente de los embalses “Zarza-Coca” y “Bacuranao”.

Para el estudio se utilizaron cuatro muestras de 5 000 ml de agua, la muestra patrón no se sometió a tratamiento magnético (STM), las otras tres fueron sometidas a a tres intensidades de CM (ATM, BTM y CTM) impulsadas por la bomba peristáltica con una velocidad de rotación contante de 35 rpm. La Tabla 1 muestra los valoresde intensidad utilizados y su nomenclatura. La temperatura de las muestras no fue controlada por lo que se mantuvo igual a la temperatura ambiente del medio (22 ± 1 °C).

Tabla 1: Parámetros de intensidad utilizados y su nomenclatura

| Separación entre caras polares (cm) | Intensidad (mT) | Nomenclatura |
|---|---|---|
| 0.9 | 330 | ATM |
| 1.5 | 276 | BTM |
| 2 | 240 | CTM |

Se determinó la concentración óptima de coagulante a utilizar para STM y las muestras ATM, BTM y CTM durante la coagulación-floculación, así como el comportamiento de la turbiedad, el pH y la conductividad para todas las muestras, antes y después del TM.

La **turbidez** en el agua (efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua) puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. El método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico donde se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida.

Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y para determinar la potabilidad del agua. La turbiedad se determina con turbidímetro marca DINKO D-110.

El **pH** es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El valor de pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, este parámetro afecta la solubilidad de los precipitados formados por coagulante, así como el tiempo requerido para la formación del floculo y la carga sobre las partículas coloides. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados.

El pH óptimo de coagulación en el caso del ($Al_2(SO_4)_3$ $18H_2O$) se encuentra entre 5,5 – 8 [15], y pequeñas desviaciones de este valor producen un aumento desmesurado en el valor del aluminio residual. Si el pH no se encuentra dentro de este rango, se corrige adicionado un álcali como cal o soda cáustica o agregando un ácido, clorhídrico o sulfúrico. En esta investigación no fue necesario corregir el pHpara la muestra patrón, pero se debió corregir para las muestras con TM (ácido sulfúrico 0.1 molar para ajustarlo en el rango pH= 7). En los experimentos realizados el pH se mide con pHmetro marca pH 50+ DHS.

La **conductividad** eléctrica del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica a través de los iones de sales disueltos. Se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza µS/cm a una temperatura de 25°C. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua. Su monitorización permite conocer las características y los cambios en la mineralización del agua y ofrece información sobre el estado de la dureza del agua y el total de sólidos disueltos. Para el análisis de este parámetro se utiliza un conductímetro marca COND 51+ .

La investigación se llevó a cabo en varias etapas

- Análisis de las propiedades a estudiar en la muestra patrón (STM) y las muestras ATM, BTM y CTM antes de realizar la Prueba de Jarras (pH, conductividad, turbiedad).
- Realización de la Prueba de Jarras a STM, obtención de la dosis óptima de coagulante y determinación de pH, conductividad y turbiedad.
- Aplicación del CM a las muestras ATM, BTM y CTM.
- Realización de la Prueba de Jarras a las muestras ATM, BTM y CTM. Obtención de la dosis óptima de coagulante para cada una y determinación de pH, conductividad y turbiedad.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Dosis óptima de coagulante**

El control de la dosis óptima de coagulante para cada una de las muestras se midió teniendo en cuenta parámetros de origen físico como la velocidad de formación de los flóculos y caracterización de los mismos, turbidez, color y claridad del sobrenadante.

Como se puede apreciar en la figura 6, existe una variación en la obtención de la dosis óptima de coagulante ($Al_2(SO_4)_3$). La disminución es superior en las muestras con mayores intensidades ATM (330 mT) y BTM (276 mT), donde se obtiene una disminución del 27 % del volumen de coagulante a utilizar en relación con la muestra STM, lo que se traduce en un evidente ahorro de reactivos químicos. Es notable, además, que la formación de flóculos comienza a observarse antes en el agua con TM.

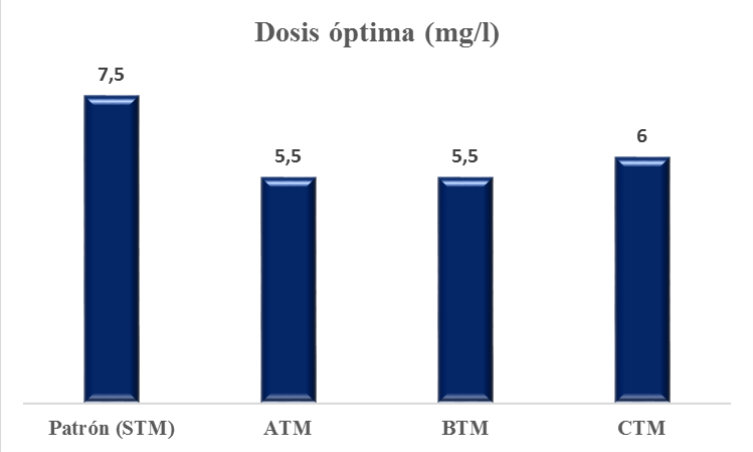



Figura 6: Influencia del TM en la obtención de la dosis óptima de coagulante.

Las repulsiones mutuas entre partículas adyacentes impiden la unión de grandes aglomerados y rápidas sedimentaciones. En los tratamientos de agua se debe, por el contrario, minimizar las fuerzas de repulsión entre las partículas que las enturbian, para que se formen grandes aglomerados que sedimenten y filtren fácilmente. El efecto de los coagulantes de aluminio no se produce por los iones de Aluminio $3^+$ sino por sus productos de hidrólisis. Bajo condiciones favorables de pH, temperatura y tiempo de añejamiento, los productos de hidrólisis de iones metálicos poseen una mayor carga que las de los iones metálicos mismos, y se adsorben más fuertemente sobre dispersiones coloidales.

El agua es un líquido polar por lo que sus moléculas tienen la propiedad de poseer un momento bipolar permanente y son capaces de orientarse en un CM debidamente aplicado produciendo un gran incremento en su polarización. La influencia del TM pareciera causar la polarización de los iones y su direccionamiento, que da como resultado una mayor probabilidad de que aparezcan un mayor número de centros de precipitación, se rompen las cargas eléctricas que mantienen a las partículas separadas (el mismo principio de los coagulantes) promoviendo la floculación y la decantación.

De manera general, los estudios realizados demuestran que al aplicar un CM en el agua durante la fase de coagulación-floculación, se logra una disminución de la carga superficial de las partículas y una reducción de la energía de repulsión entre ellas. Esto facilita la formación de flóculos y la aglomeración para formar flóculos más grandes y pesados que se pueden separar fácilmente del líquido a través de la sedimentación o la flotación. Además, pareciera que el TM puede mejorar la eficiencia de los coagulantes utilizados en el proceso de tratamiento de agua.

Waleed y colaboradores también estudian la influencia del CM en la eficiencia del proceso de coagulación para eliminar la turbidez y disminuir la dosis óptima de coagulante, haciendo uso de sulfato de alúmina como uno de sus coagulantes químicos y aplicando diferentes valores de intensidad. Los resultados mostraron que el CM afecta clara y fuertemente a la hora de aumentar la eficiencia de la eliminación de las impurezas del agua (turbiedad reducida de 662 NTU a 0,36 NTU y de 45,25 NTU a 0 NTU), y sobre la reducción del coagulante químico (reducción de la dosis óptima de unos 10 mg/L). El demuestra que la eficiencia del proceso de coagulación aumenta en gran medida con el CM y que es posible reducir la dosis óptima de coagulante mediante el uso de un CM adecuado. [12]

Bajo las condiciones experimentales de la investigación de Martínez, se demuestra que la aplicación de esta tecnología en los procesos de potabilización de agua representa un ahorro de reactivo químico en el proceso de floculación de entre 15 y 20 % de $Al_2(SO_4)_3$ que pueden representar un efecto económico de más de $ 2 000 en MN y 3 000 en USD. También se constata que la formación de los flóculos del agua con TM comienza a observarse antes que el agua sin TM. [16]

Nur Syamimi Zaidi define que el CM en combinación con otros procesos, puede mejorar la eficiencia de la tecnología de purificación. Agrega que este tratamiento físico ayuda a evitar el uso de productos químicos como polifosfatos o sustancias corrosivas, que son caras y pueden ser perjudiciales para la vida humana o perjudiciales para el medio ambiente. [17]

Empero, las evidencias proporcionadas por Higashitani respecto los efectos de un CM sobre la aparición de coagulación no están de acuerdo con las observaciones informadas anteriormente. La tasa de coagulación se redujo en 10% cuando se implementó una densidad de flujo magnético superior a 400 mT durante 10 minutos. No se registró una mejora adicional del efecto, incluso cuando se incrementó la dosis magnética. Diferencias en los materiales de las partículas y fracciones de tamaño en términos del radio de partícula expuesto bajo el CM pueden ser posibles razones para estos hallazgos contradictorios. [13]

**Conductividad, pH, y turbidez**

Por los valores obtenidos en los análisis experimentales según se muestra en las figuras 7, 8 y 9, el CM influye significativamente en la conductividad, turbidez y pH del agua.

En comparación con los valores iniciales de **pH** de las muestras con TM, se pudo observar un aumento en el comportamiento de este parámetro (31 – 36%), con el aumento de la intensidad del CM. Por esa razón, antes de la Prueba de Jarras se debió corregir a pH=7, valor en el rango de pH óptimo para el coagulante utilizado. La Fig. 7 muestra de forma comparativa los cambios de pH en la muestra patrón y las muestras con TM.

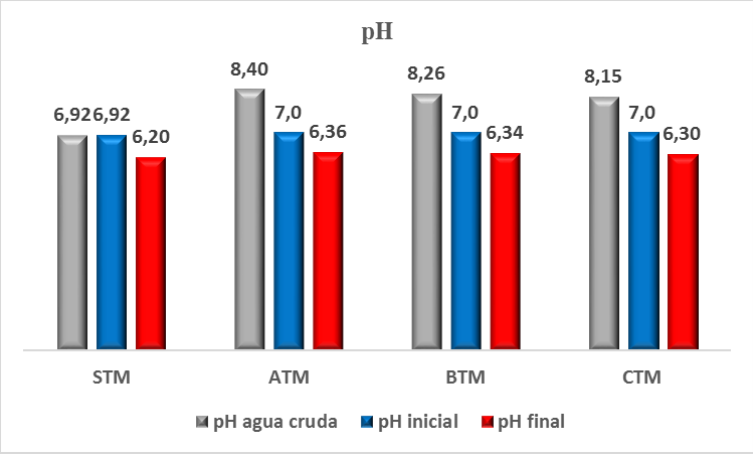



Figura 7: Análisis comparativo del pH inicial y final de las muestras analizadas.

Todas las muestras exhibieron disminución de pH, aunque la muestra patrón lo hizo con porciento superior (10.4%). El $Al_2(SO_4)_3$ es ácido en el agua y puede reducir la alcalinidad total y el pH al neutralizar los compuestos de carbonato y bicarbonato con una mayor disminución del pH cuando se aplica al agua con baja alcalinidad total inicial.

El parámetro de la **conductividad** en las muestras analizadas luego de la prueba de jarras, tendió a disminuir para cada una de las intensidades del CM (entre 4,7 y 12,2%) y la muestra patrón (4.9%) respecto a los valores iniciales. Para 330 mT (ATM) la disminución fue superior.
También se pudo observar que a medida que disminuye la intensidad del CM aplicado a cada una de las muestras, los valores finales de este parámetro disminuyen en porcientos superiores respecto a la muestra patrón, y a las muestras iniciales, luego del TM y antes de la Prueba de Jarras, siendo la conductividad de la menor intensidad (CTM) un 16.4 % menor con relación a la muestra en blanco (STM). (Fig. 8)

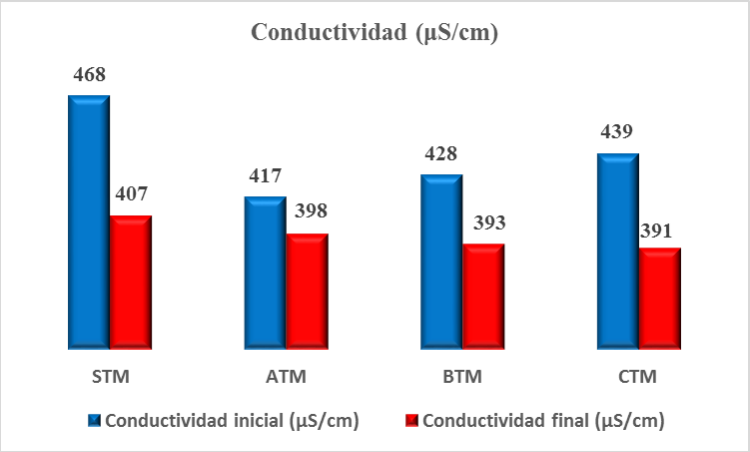



Figura 8: Análisis comparativo de la conductividad inicial y final de las muestras analizadas.

La **turbiedad** de las muestras analizadas luego del TM y antes de la Prueba de Jarras disminuyó respecto al patrón. Luego de la Prueba de Jarras fue más evidente la tendencia descendente con el aumento del CM aplicado. Para 330 mT (ATM) en la jarra seleccionada como la dosis óptima, la turbiedad disminuyó un 30% respecto a la muestra patrón. (Fig. 9). No obstante, en las muestras con TM el descenso de la turbiedad final respecto a la turbiedad inicial fue menor (10-16.8%) que la disminución que mostró la muestra patrón luego de la Prueba de Jarras (41.8%).

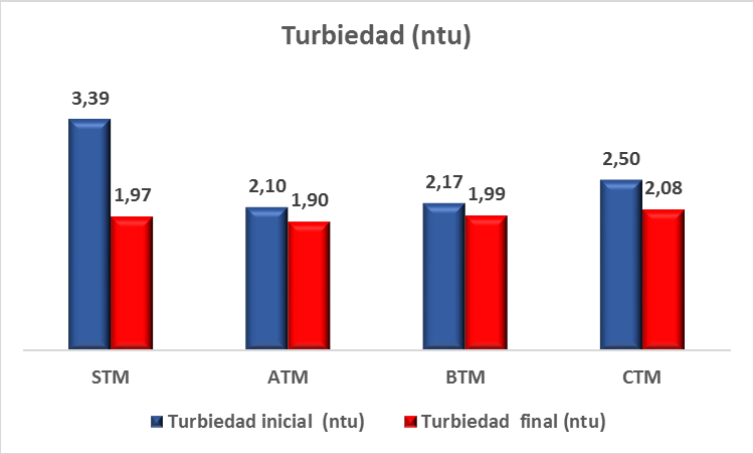



Figura 9: Análisis comparativo de la turbidez inicial y final de las muestras analizadas.

**Análisis de Resultados**

Los resultados obtenidos para la dosis óptima de coagulante, el pH, la turbidez y la conductividad corroboran lo encontrado en la literatura científica y corroboran estudios anteriores de esta autora. [1]

Cuando Miao Xuefei investigó la efectividad de los campos electromagnéticos en la prevención del calcio en agua de refrigeración obtuvo que las conductividades de la solución disminuyeron entre un 17% y un 25% de sus valores iniciales en los casos con TM, dependiendo de las diferentes frecuencias de pulsos eléctricos utilizados, mientras que en el caso no tratado se redujo en un 31%. [18]

Hon Siau Shi investigó varios parámetros como pH, turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), en agua sin TM y agua con 3 densidades de flujo magnético y velocidades de flujo diferentes, donde se obtuvo que el campo magnético redujo la turbidez y los SST de la muestra de agua alrededor del 50% y 20% respectivamente. [19]

Los experimentos de Karel Bartušek y colaboradores muestran que la exposición de una muestra de agua desmineralizada a un CM con gradiente en espiral durante 5 minutos dará como resultado una disminución de la conductividad iónica del agua, que probablemente se deba tanto a una variación en la disposición de las moléculas de agua como al campo electromagnético alterado en sus proximidades. [20]

## 4. CONCLUSIONES

Los estudios realizados demuestran que existe influencia directa del CM en cada una de las propiedades examinadas (conductividad, pH y turbidez) antes y después de aplicada la Prueba de Jarras bajo las condiciones establecidas de niveles de inducción de CM aplicados. Para 330 mT la influencia fue superior.

En las condiciones experimentales trabajadas, se demuestra que el TM incide en los procesos de coagulación-floculación para la potabilización de aguas, propiciando una disminución en la dosis del coagulante aplicado. Las muestras tratadas con intensidades de 276 mT y 330 mT, resultaron ser las óptimas en cuanto a mayor reducción de dosis de $Al_2(SO_4)_3$, con una disminución del 27 % del volumen de coagulante a utilizar en relación con la muestra patrón, lo que puede representar un ahorro considerable en el consumo de los productos químicos (coagulantes) empleados en la coagulación-floculación.

La aplicación de la tecnología del TM en la potabilización del agua, contribuye con el aumento de la calidad de la misma y la ecosotenibilidad, a través del ahorro económico y una menor incidencia de productos químicos en el medio ambiente.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. VAILLANT LÓPEZ N., VELAZQUEZ DÍAZ R. & RIBEAUX KINDELÁN G. "Influencia del tratamiento magnético en la turbidez, conductividad y pH del agua". *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2024, vol 45 núm.2, pp. 29-39. Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba. ISSN: 2788-6050, ISSN-L: 1680-0338. https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/661.
2. VAILLANT LÓPEZ N., CARRERAS FERNÁNDEZ G. & RIBEAUX KINDELÁN G. "Efectos del campo magnético en la dureza total, calor específico y punto de ebullición del agua". *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2022, vol 43 núm.4, pp. 76-87. Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba. ISSN: 2788-6050, ISSN-L: 1680-0338. https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/611
3. PARSONS S, WANG B-L., JUDD S.J and STEPHENSON T. "Magnetic treatment of calcium carbonate scale—effect of pH control" *Water Research* February 1997. Volume 31, (2), 339-342 pp. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00238-2
4. WANG, Y., WEI H., AND LI Z. "Effect of magnetic field on the physical properties of water" in *Results in Physics*, 2018, vol. 8. pp. 262-267. ISSN 2211-3797 https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022 www.journals.elsevier.com/results-in-physics
5. ACEA, C.M. "Efecto del tratamiento magnético sobre la temperatura de ebullición", *Revista Ingeniería Energética*, 2005, vol. 26, núm. 1, pp. 3-5 E-ISSN: 1815-5901. https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/139/
6. CHIBOWSKI E. AND SZCZEŚ A. "Magnetic water treatment-a review of the latest approaches". *Chemosphere*. 2018, vol 203, pp. 54-67. *Elsevier Ltd. ScienceDirect*, Online ISSN: 1879-1298. Print: ISSN: 0045-6535. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160
7. ARIAS GILART R., BERENGUER UNGARO M., VÁZQUEZ NIGORENKO J.A. SILVEIRA FONT J. Y ALFARO RODRÍGUEZ C.E. "Disminución de las emisiones de monóxido de carbono con el tratamiento magnético del combustible". *Centro Azúcar*, 2018. 45:21-31. ISSN: 2223-4861. https://centroazucar.uclv.edu.cu/
8. CAMPO SOFIA M.. MORO-MARTÍNEZ A., LEÓN-CAÑET M., SILVEIRA-FONT Y. Y FALCÓN-HERNÁNDEZ J. "Tratamiento magnético sobre parámetros físico-químicos de muestras de petróleo", *Tecnología Química* 2015. 35 (3): 271-281. ISSN: 0041-8420 ISSN electrónico: 2224-6185. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543785001
9. RIBEAUX KINDELÁN G. "Efecto de un campo magnético estático sobre la cristalización de la sacarosa en solución. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2011. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad De Oriente. Santiago de Cuba. Registro:05334-02-2017. http://repositorio.eduniv.cu/items/show/245
10. ALFONSO D., PÉREZ, C., PÉREZ, I., Y SILVEIRA, E. A. "Efecto del agua tratada magnéticamente sobre los procesos biológicos". *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 2009, 10 (4) 24pp E-ISSN: 1695-7504. Veterinaria Organización Málaga, España http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040409.html
11. VAILLANT LÓPEZ, N. "Agua, dureza y magnetismo", Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Repositorio Universitario 2019, Monografía, 54 pp., La Habana, ISBN: 978-959-261-601-1.
12. ALABDRABA W., BAYATI M., RADEEF A. and REJAB M. "Influence of magnetic field on the efficiency of the coagulation process to remove turbidity from water". International Review of Chemical Engineering, 2013 Vol. 5, (4). https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=ireche&page=article&op=view&path%5B%5D=13190
13. HIGASHITANI, K. O. (1992). "Effects of magnetic fields on stability of non-magnetic ultrafine colloidal particles. *J. Coll. Int. Sci*., 1992. 152 , 125–131pp.
14. JOHAN, S. "Effect of Magnetic Field on the Sedimentation of Suspended Solids of Sewage". Thesis of Philosophy of Doctorate, Universiti Teknologi Malaysia. Skudai. 2003.
15. BARAJAS, C. y LEÓN, A. "Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$

.18$H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial", Tesis de grado Ingenieria Ambiental, División de Ingenierias, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2015.
16. MARTÍNEZ MORALES, E. "La magnetización aplicada a la potabilización de agua*"*. Director Orestes González. Tesis de Maestría, Repositorio Universitario. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". 2007
17. ZAIDI, N.S, SOHAILI. J. MUDA, K. and SILLANPÄÄ, M. "Magnetic Field Application and its Potential in Water and Wastewater Treatment Systems", *Separation & Purification Reviews*, 2014. *43* (3), 206-240 pp. DOI: 10.1080/15422119.2013.794148
18. XUEFEI M., LAN. X., JIAPENG. C., ZIKANG Y. and WEI, H. "Experimental study on calcium carbonate precipitation using electromagnetic field treatment". *Water Science & Technology*. 2013**.** 67(12) 2784-2790pp . DOI:10.2166/wst.2013.161.
19. SHI H.S. "Effect of magnetic field on scale removal in drinking water pipeline". Master Thesis. Faculty of Civil Engineering Universiti Teknologi Malaysia. 2014.
20. KAREL BARTUSEK P.M., FIALA P., MÁCA J. AND DOHNAL P. "The eftect of spiral gradient magnetic field on the conductivity of water". *Water*, 2017 Vol 9 (9) 664 pp. https://doi.org/10.3390/w9090664/

**sobre los autores**

**Nuria de los Ángeles Vaillant López**, graduada de Ingeniera Química, en la facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente. (1993). Máster en Nuevas Tecnologías para la Educación en el CREA. CUJAE. (2010) Profesor asistente (2019) Docente. Profesora Principal de año y miembro del Grupo de Investigación Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Carrera de Hidráulica. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana. CUJAE. Trabaja en la investigación de temas relacionados con el tratamiento magnético al agua para sus estudios doctorales, y otros temas relacionados con el tratamiento del agua para consumo, tratamiento de aguas residuales, y reúso. Miembro de 3 Proyectos de Investigación relacionados con los temas anteriormente mencionados. Miembro de la UNAICC.

**Talía Olivero Fortune**, graduada de la carrera de Ingeniería Hidráulica en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana. (CUJAE) en julio del 2023. Se desempeña como especialista en la ejecución de obras de arquitectura e ingeniería en ARCOS Varadero.

**Gabriela Carreras Fernández**, graduada de la carrera de Ingeniería Hidráulica en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana. (CUJAE) en marzo del 2022. Alumna ayudante desde el 4to año en la disciplina de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Profesor instructor (2022). Ha trabajado en la investigación de temas relacionados con el tratamiento magnético al agua.

**Guillermo Ribeaux Kindelán**. Graduado de Ingeniero Electricista en la especialidad de Electroenergética. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oriente (1994). Master en Ciencias en la especialidad de Energía. Centro de estudios de Eficiencia Energética y Refrigeración. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente (1999). Doctor en Ciencias Técnicas en la especialidad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente (2011). Profesor Titular (2014). Investigador del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado CNEA de la Universidad de Oriente desde 1994. Desarrolla investigaciones relacionadas con las aplicaciones del Campo Electromagnético en Sistemas Ingenieros y el diseño de dispositivos acondicionadores magnéticos con numerosos proyectos de investigación y servicios científico técnicos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TECNOLOGÍA MAGNÉTICA EN LA POTABILIZACIÓN Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: REVISIÓN Y PERSPECTIVAS

# MAGNETIC TECHNOLOGY IN WASTEWATER PURIFICATION AND TREATMENT: REVIEW AND PERSPECTIVES

Ribeaux G.[1]Vaillant N.[2], Fernandez L.[2]
[1] Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, [2]Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), CUJAE.
ribeaux@uo.edu.cu

## RESUMEN

Es imprescindible incorporar métodos y tecnologías más limpias y eficientes en la mejora de la calidad del agua para el consumo humano. El tratamiento magnético (TM) se presenta como una tecnología innovadora, limpia, sin consumo adicional de energía, y de fácil y sencilla aplicación, por lo que ha sido reconocida a nivel mundial. Desde finales del siglo pasado, el TM se ha venido introduciendo en Cuba, dadas las posibilidades que esta técnica brinda al reducir incrustaciones en tuberías, dispositivos industriales y domésticos. En el presente trabajo se indaga acerca de las investigaciones y posibles beneficios del TM en los procesos de potabilización y el tratamiento de aguas residuales. La principal conclusión de la revisión de la literatura es que la aplicación de campos magnéticos tiene la facultad de influir directamente en la eficiencia y el rendimiento del tratamiento del agua para su potabilización, y en el tratamiento de aguas residuales.
**Palabras claves:** alguicida, bactericida, desincrustante, metales pesados, tratamiento magnético.

## ABSTRACT

It is essential to incorporate cleaner and more efficient methods and technologies to improve the quality of water for human consumption. Magnetic treatment (TM) is presented as an innovative, clean technology, without additional energy consumption, and easy and simple to apply, which is why it has been recognized worldwide. Since the end of the last century, TM has been introduced in Cuba, given the possibilities that this technique offers by reducing scale in pipes, industrial and domestic devices. This work investigates the research and possible benefits of TM in the purification processes and wastewater treatment. The main conclusion of the literature review is that the application of magnetic fields has the power to directly influence the efficiency and performance of water treatment for purification, and wastewater treatment.
**Palabras claves:** algaecide, bactericide, scale remover, heavy metals, magnetic treatment.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se ha venido estudiando el uso del tratamiento magnético (TM) para el tratamiento de agua para consumo humano e industrial, y en el tratamiento de aguas residuales. El tema ha recibido mucha atención de la comunidad científica por la implicación que tiene en lo económico y en el cuidado del medio ambiente, conociendo que los tratamientos convencionales poseen los inconvenientes del uso de químicos y aguas de desecho contaminantes, la producción de malos olores producto de la materia en remoción en el caso de tratamiento de aguas residuales, el costo de los reactivos, constante supervisión y

mantenimiento, altos niveles de pre tratamiento y altos costos de inversión inicial y de operación, en algunos casos, por lo que adquiere mayor importancia el uso de tecnologías limpias como el TM, de fácil aplicación, rápida amortización, sin consumo adicional de energía y resultados comprobados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo, se indaga acerca de las investigaciones y posibles beneficios del TM en los procesos de potabilización y el tratamiento de aguas residuales, ya sea por su efecto desincrustante, bactericida o alguicida, para el tratamiento biológico, y para la eliminación de metales pesados. Para la búsqueda y localización de la información se utilizaron palabras claves, se enfatizó en investigaciones de los últimos diez años y los idiomas español, inglés y ruso, aunque e realizó búsqueda automatizada en bases de datos online, revistas que publican artículos sobre el tema en cuestión, y de otras fuentes bibliográficas impresas, sin restricción de fechas e idiomas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es muy importante resaltar, que el TM no es una tecnología para remover dureza del agua, sino que influye directamente sobre la formación de los cristales, principalmente del carbonato de calcio ($CaCO_3$). El $CaCO_3$, posee tres variedades morfológicas: calcita (más abundante y estable), aragonita, y vaterita (raramente encontrada). La calcita es un tipo de cristal que al precipitar se adhiere a las superficies de transferencia de calor como incrustación de difícil remoción, pero la aragonita precipita como partículas suspendidas en el agua y se adhiere poco sobre dichas superficies, formando granos de menor tamaño o depósitos de una incrustación suave, estable con la temperatura. Nótese en la figura 1 la diferencia en la morfología de sus cristales.



Figura 1: Cristales de (A) calcita, (B) aragonita y (C) vaterita,

En el 2008 explicaron que la presencia de un campo magnético en la interfase líquido/sólido favorecía la transformación de los cristales de calcita a aragonita debido a la diferencia entre los estados electrónicos de las dos formas cristalinas , ver figura 2.. Los cálculos del estado electrónico de calcita y de aragonita dieron como resultado que se necesitaron 28 electronvoltio (eV) para pasar del estado electrónico de la calcita a la aragonita, esta energía la puede proporcionar un campo magnético de 45 T, para desplazar una distancia de 0.5 nm entre los iones de calcio y carbonato. Por tanto, la energía cinética que se requirió para hacer la transformación la suministró el campo magnético externo y el flujo turbulento. Todo lo anterior lo describieron cuantitativamente a través de las ecuaciones de Navier-Stokes y Maxwell. (Cefalas & Kobe, 2008). Coey y Cass, quienes desde el 2000 y hasta la actualidad vienen haciendo aportaciones en este tema, reportaron un aumento de la proporción de cristales de tipo aragonita respecto a los de calcita (A/C). Coey se basó en la evidencia de un mecanismo de nucleación no clásico para el $CaCO_3$ y se pone en duda la teoría clásica de nucleación, sugiriendo una teoría en la que las soluciones de $CaCO_3$ (no saturadas) contienen racimos o grupos pre-nucleados termodinámica-estables llamados DOLLOPs (Dynmically-Ordered Liquid-Like Oxyanion Polymers). Estos DOLLOPs, serían los que, cuando están sujetas a un campo magnético

alteran su composición y se deforman, favoreciendo un cierto tipo de estructura de racimo, que son los que permiten tener una gran memoria magnética en la solución (Coey & Cass, 2000) (Coey, 2012).

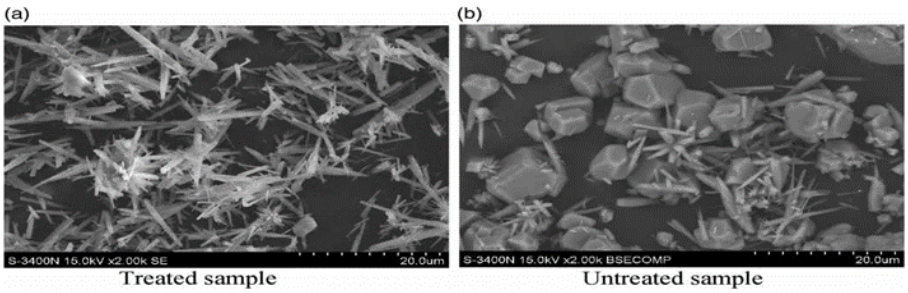



Figura 2: Cristales obtenidos: (a) con TM y (b) sin TM.

**Efecto bactericida, alguicida y tratamiento biológico:** En el terreno de los estudios microbiológicos, el trabajo de Mercier (2016) demostró que el tratamiento electromagnético en aguas fluviales promovió la concentración de microorganismos planctónicos, limitando la cantidad de microorganismos sésiles en las formaciones de biofilms. También se observó que la aplicación del electromagnetismo afectó a la estructura de las poblaciones planctónicas y sésiles, principalmente produciendo un cambio en las clases de Proteobacterias durante la formación del biofilm. Este estudio demostró que los campos electromagnéticos de baja frecuencia pueden modular la formación de biofilms. (Mercier *et al.,* 2016). En el año 2017, en la Universidad de Alicante se utilizó el mismo equipo y montaje que para los estudios de Verdú (2016) y se añadió un equipo de medición redox en continuo, en agua procedente de un estanque con alta presencia microbiológica. Estos investigadores observaron un posible efecto bactericida tras la aplicación del sistema de tratamiento por CM, pues existía una disminución en la formación de colonias bacterianas. Asimismo, la medida del potencial redox mostró que la utilización del equipo aumentó el poder desinfectante en el agua al observarse un potencial de oxidación-reducción mayor (Verdú, 2016) (Prats y González, 2018).

**Absorción de metales pesados:** Los estudios de Rajczykowski y Loska (2018) demostraron que la aplicación de campos electromagnéticos aumenta la eficacia del proceso de adsorción de metales pesados en carbón activo, como el cobre (Cu), el níquel (Ni) o el cadmio (Cd). De los resultados obtenidos se dedujo que es posible acelerar y aumentar la eficiencia del proceso de adsorción de metales pesados en soluciones acuosas, manteniendo las condiciones adecuadas. (Rajczykowski y Loska, 2018).Marimón Bolívar (2018) desarrolló un método potencialmente escalable y ambientalmente amigable para la producción de nanopartículas magnéticas funcionalizadas y eficientes en la remoción de metales pesados, específicamente mercurio en hidrosistemas contaminados, identificando condiciones favorables de adsorción tales como pH, capacidad máxima de adsorción, tiempo y competitividad con otros metales e iones. (Marimón, 2018). Los estudios de Hashim Ayat Khairi y colaboradores (2019) investigaron el efecto del TM en la reducción de concentración de metales pesados en el agua. Aquí, el agua del grifo se pasó por tres intensidades magnéticas y 0.02 l/s de flujo en proceso tratamiento continuo. Los metales pesados de las muestras se midieron antes y después del TM cada 60 min durante dos horas. Después de comparar los resultados obtenidos antes y después del TM, se encontró que el mayor cambio en los resultados ocurrió a 5 000 G de intensidad y la mayor disminución en los metales pesados plomo 35.9 %, cadmio 54.2%, cobre 35.7 % respectivamente, demostrando que el TM al agua reduce la concentración de metales pesados al aumentar la intensidad del campo magnético. (Ayat *et al.,* 2019)

## CONCLUSIONES

Con el uso de TM pueden observarse diferentes mecanismos: la transformación de los cristales de calcita a aragonita; afectación del tamaño del cristal propiciando su crecimiento en el seno de la solución y su posterior precipitación en forma de una incrustación de fácil remoción, e inclusive, rompimiento o aglomeración del cristal propiciando que la incrustación formada sobre las paredes de las tuberías disminuya o sea menos densa. La utilización del TM parece influir positivamente en la eliminación de algas, microalgas, bacterias, y otros microorganismos relacionados directamente con la calidad del agua, por lo que su aplicación en el tratamiento de agua para consumo, el tratamiento de las aguas residuales y la desalinización, pudiera resultar muy efectivo. Se ha demostrado que la aplicación del electromagnetismo aumenta la eficacia del proceso de adsorción de metales pesados como el cobre, el níquel o el cadmio, en el mejoramiento de la calidad de aguas contaminadas. El uso de nanomateriales magnéticos para la eliminación de metales se muestra como un campo con grandes posibilidades para el tratamiento de aguas para consumo humano e industrial y aguas residuales.

## REFERENCIAS

1. Ayat Khairi, H., Seroor Atalah, K., & Mohammed, I. 2019. Effect of magnetic treatment of water on the reduction of heavy metal concentration. International journal of recent scientific research, 10 (01(b)). doi:10.24327/ijrsr.
2. Cefalas, A.C. Kobe , S. Drazˇic , G. Sarantopoulou , E. Kollia , Z., Strazˇisˇar , J. Meden, A. 2008. Nanocrystallization of CaCO3 at solid/liquid interfaces in magnetic field: A quantum approach. Applied Surface Science, 254 (21), 6715-6724.
3. Coey, J.M.D. 2012. Magnetic water treatment – how might it work? Philosophical Magazine, 92(31), 3857-3865. doi:10.1080/14786435.2012.685968
4. Coey, J.M.D., & Cass, S. 2000. Magnetic water treatment. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 209 (1), 71-74. DOI: https://doi.org/10.1016/S0304-8853(99)00648-4
5. Marimon Bolivar, W. 2018. Ingeniería de nanopartículas magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas. (Trabajo para la obtención de título de Doctor en Ingeniería). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Instituto Geofísico, Bogotá D.C.
6. Mercier A, Bertaux J, Lesobre J. Gravouil K, Verdon J, Imbert C. Valette E. & Héchard Y. 2016. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. Biofouling, 32 (3) 287-299. DOI: 10.1080/08927014.2015.1137896
7. Prats Rico, D. & González Durán, N. 2018. Efecto del electromagnetismo sobre la dureza, bacterias y algas en agua. Phd Máster. Universidad de Alicante. España.
8. Rajczykowski, K. & Loska K. 2018. Simulation of Heavy Metal Adsorption Process by Usinga Strong Magnetic Field. Water, Air and Soil Pollution.
9. Vaca Jiménez, S. 2014. Aplicación de un campo magnético ortogonal al flujo en sistemas de agua para reducir la formación de incrustaciones. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LA CONSERVACIÓN Y CONTENIDO DE HIERRO EN UN NÉCTAR DE MANGO TRATADO CON UN CAMPO ELECTROMAGNÉTICO DE BAJA FRECUENCIA.

# STUDY OF THE CONSERVATION AND IRON CONTENT IN A MANGO NECTAR TREATED WITH A LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD.

Yaima Torres Ferrer.[1], Daria Tito Ferro.[1], Cynthia Ramos Frómeta.[1], Guillermo Ribeaux Kindelan.[1]
,Daniela Liz Fajardo Fonseca.[2]
[1] CNEA, Stgo de Cuba, Cuba
[2] Universidad de Oriente, Stgo de Cuba, Cuba
e-mail: ytorres@uo.edu.cu

**RESUMEN**

Se estudia la influencia de un campo electromagnético sobre el néctar de mango con el objetivo de definir su efecto conservador. Se aplicaron distintos valores de inducciones magnéticas (60 y 120 G) con tiempos de exposición (30 y 60 min). Se realizaron análisis, físico - químicos, sensoriales y microbiológicos después de ser aplicado el tratamiento electromagnético. Se realizo un diseño de experimentos factorial multinivel $2^2$. Los resultados obtenidos mostraron cambios mínimos respecto a la muestra control, observándose valores de sólidos solubles entre los 12,57 y 12,60 ˚Brix, pH desde 3,65 hasta 3,72 y la acidez entre un 0,63 y 0,65 %, manteniéndose estables los atributos sensoriales. El recuento microbiológico una vez aplicado el tratamiento electromagnético evidenció una disminución consistente en la carga microbiana respecto a la muestra control. Los resultados indicaron que el tratamiento con inducción de 120 G durante un tiempo de exposición de 30 min puede ser tomado como mejor tratamiento, pues contuvo los valores más bajos de microorganismos en el conteo total (0,17 ufc) y no hubo presencia de hongos y levaduras. Se cuantificó el contenido de hierro presente en las muestras antes y después de ser tratadas electromagnéticamente mediante espectrofotometría UV-VIS, mediante el método colorimétrico de o-fenantrolina, los resultados obtenidos evidenciaron que no ocurrieron cambios significativos en la concentración de este mineral después de aplicado el tratamiento con CEM; destacándose como una tecnología potencial en la inhibición de los agentes patógenos causantes del deterioro con una alta retención de calidad físico-química, sensorial y nutrimental.

Palabras clave: néctar de mango, campo electromagnético, flora microbiana, contenido de hierro.

**ABSTRACT**

The influence of an electromagnetic field on mango nectar is studied with the aim of defining its preservative effect. Different values of magnetic inductions (60 and 120 G) with exposure times (30 and 60 min) were applied. Physical - chemical, sensory and microbiological analyzes were carried out after the electromagnetic treatment was applied. A multilevel 22 factorial design of experiments was carried out. The results obtained showed minimal changes with respect to the control sample, observing values of soluble solids between 12.57 and 12.60 ˚Brix, pH from 3.65 to 3.72 and the acidity between 0.63 and 0.65%, keeping the sensory attributes stable. The microbiological count once the electromagnetic treatment was applied showed a consistent decrease in the microbial load compared to the control sample. The results indicated that the treatment with induction of 120 G during an exposure time of 30 min can be taken as the best treatment, since it contained the lowest values of microorganisms in the total count (0.17 cfu) and there was no presence of fungi. and yeasts. The iron content present in the samples was quantified before and after being electromagnetically treated using UV-VIS spectrophotometry, using the

o-phenanthroline colorimetric method. The results obtained showed that no significant changes occurred in the concentration of this mineral after application. EMF treatment; standing out as a potential technology in the inhibition of pathogenic agents that cause deterioration with a high retention of physical-chemical, sensory and nutritional quality.

**Keywords**: mango nectar, electromagnetic field, microbial flora, iron content.

## Introducción

Las frutas y verduras ocupan un rol destacado en la alimentación y nutrición del ser humano;(1) su consumo en cantidades adecuadas le aporta al organismo suficiente fibra dietética, hidratación, así como múltiples vitaminas y nutrientes básicos necesarios. Se consideran además un factor protector ante el riesgo de disímiles enfermedades, desde crónicas degenerativas hasta algunos tipos de cáncer. Mejoran el metabolismo, la digestión y constituyen un componente indispensable para una dieta equilibrada y saludable. (2, 3) El mango (Magnifera spp.) es uno de los frutos tropicales más finos, constituye para Cuba uno de los símbolos del verano, es una fruta de gran aceptación en el mercado nacional por los consumidores de todas las edades, ya sea en su forma natural o procesado.(4) Es una valiosa fuente de compuestos antioxidantes, vitaminas y minerales como ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, entre otros. (5)

El consumo de jugos y néctares de frutas ha incrementado a nivel mundial debido a las recomendaciones existentes sobre sus propiedades nutritivas y saludables, representando así un importante segmento en la industria de bebidas. Los zumos de frutas y productos derivados, como néctares y bebidas han experimentado un crecimiento en su popularidad en los últimos años, por su frescura, sabor e innumerables beneficios para la salud. (6) El néctar de frutas es un producto pulposo o no pulposo sin fermentar, pero fermentable que se obtiene añadiendo agua y azúcares (energéticos o no) al jugo, pulpa o concentrado de frutas. Es un producto muy consumido por su sabor natural, además de nutrientes y compuestos bioactivos que promueven la salud.(7) Los néctares de frutas con calidad deben de conservar sus características organolépticas y sensoriales: deben estar libres de materia y sabores extraños, poseer una coloración uniforme y olor semejante al de la respectiva fruta, el contenido de azúcares debe variar entre 13 a 18 ºBrix.(8)

Para obtener estos derivados, se requiere encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar un producto con características funcionales y alto valor nutricional, además de que mantenga su aroma y características organolépticas. Por lo que se busca conocer y estudiar la composición química, enzimática y nutricional de las frutas con la finalidad de encontrar el mejor proceso y una mayor conservación del producto. (9)

Los métodos de conservación se han ido modificando conforme avanza la tecnología. Desde hace muchos años se han implementado los métodos tradicionales de conservación de alimentos basados en el uso de tratamientos térmicos, como son la pasteurización y esterilización, llevadas a cabo a altas temperaturas. El empleo de tratamientos térmicos ha sido hasta el momento la tecnología mayormente utilizada en la producción de néctares en el mundo y en nuestro país para inactivar microorganismos y enzimas que causan el deterioro prolongando así su vida útil. Estas técnicas se caracterizan por tener un excelente control microbiano y retardar la reacción enzimática del deterioro.(10) Sin embargo, tienen el inconveniente de generar alteraciones organolépticas y nutritivas durante su procesamiento. Los cambios organolépticos incluyen variaciones en el color, olor, sabor y textura de los alimentos ya procesados. (9) Por otro lado, las propiedades nutritivas de macro y micronutrientes pueden ser alteradas, por ejemplo la pasteurización y esterilización tienden a afectar la estabilidad de vitaminas, así como disminuir su biodisponibilidad que se pierden en el proceso.(11)

En la actualidad los consumidores son más conscientes del impacto que tiene aplicar procesos térmicos a los alimentos por lo que pugnan por alimentos frescos, nutritivos, seguros y con un sabor lo más parecido

al del alimento natural. Por estas razones la industria alimentaria promueve el desarrollo de nuevas técnicas de conservación, que eliminen los microorganismos patógenos y logren una calidad sensorial y nutricional de los alimentos.(12) Las tecnologías emergentes y de procesamiento no térmico ha cobrado protagonismo y aceptación entre los consumidores; se reconocen por sus propiedades para conservar y transformar los alimentos sin empleo de calor como agente de inactivación microbiana.(13) Dentro de estas tecnologías se conocen: Altas presiones, pulsos de campos eléctricos, microondas, ultrasonido, radiaciones ionizantes y los campos magnéticos, estos últimos pueden clasificarse en campos magnéticos estáticos y campos magnéticos oscilantes o electromagnéticos.(14)

En el mundo la aplicación de los campos electromagnéticos como tecnología emergente ha logrado resultados favorables respecto a la inocuidad de los alimentos. Es considerada por muchos como una especie de esterilización no térmica, debido a su alta tasa de esterilización a patógenos y menos impacto en la nutrición y el sabor de los alimentos, aunque es un método que sigue estando bajo estudio e investigación encontrándose aun en pleno desarrollo. Los alimentos más idóneos para someterse a este proceso de conservación son: zumos, mermeladas, néctares entre otros productos líquidos.(15) Entre la inocuidad, se ha señalado a este efecto como una especie de esterilización no térmica, atrayendo un mejor impacto, debido a su alta tasa de esterilización a patógenos y menor impacto en la nutrición y el sabor de los alimentos.(15)

A pesar de ser una tecnología en pleno desarrollo y tema de estudio para muchos científicos e investigadores, se han obtenido resultados favorables respecto a los efectos del campo magnético sobre los alimentos, producto de una mayor estabilidad microbiológica, causando los mínimos cambios posibles en los atributos sensoriales y nutricionales del alimento, en comparación con los tratamientos convencionales de pasteurización y esterilización.(15-17) Algunos estudios reportan que el crecimiento de bacterias y levaduras podría ser estimulado o inhibido por el efecto de campos magnéticos pulsantes dependiendo de la fuerza del campo y de la frecuencia.(18) Sin embargo, son escasos los estudios relacionados con la influencia del campo electromagnético en la calidad y conservación de néctares de frutas, sobre la carga microbiana y contenido de hierro.

En ese sentido,Torres-Ferrer et al. en su estudio en 2018 evaluó la influencia del campo magnético sobre la carga microbiana en el néctar de mango y comprobó que a una inducción de 9 mT hubo una inhibición de la flora microbiana.(9) Debido a que el néctar de mango es una de las frutas que más se procesa industrialmente en el país, su variedad de productos y alto consumo(4), la aplicación de esta tecnología, representaría una perspectiva interesante para obtener un néctar de mango seguro microbiológicamente, con cambios mínimos como resultado del procesamiento, que preserve sus características sensoriales y nutrimentales, su actividad antioxidante y contribuya a su extensión de la vida útil, así poder conservarlo exitosamente durante todo el año, sin dar paso a que sus propiedades a que sus propiedades se dañen con el paso del tiempo. Por lo que esta investigación tiene como objetivo, determinar el efecto que tiene la aplicación de un campo electromagnético de baja frecuencia con inducciones magnéticas de 60 G y 120 G como método de calidad, conservación y contenido de hierro del néctar de mango.

**Materiales y Métodos**

La investigación se realizó en los laboratorios de Fluidos, Ecotoxicología y Salud Ambiental (LESA) y Caracterizaciones Magnéticas ubicados en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) en conjunto con el Laboratorio de Microbiología de la Fábrica de Cerveza, en Santiago de Cuba.

Diseño experimental: Para el diseño del experimento se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XV para una apropiada planificación de los experimentos a desarrollar. Se seleccionó según la finalidad del estudio realizado un diseño experimental factorial multinivel $2^2$; donde:

X1: Tiempo de exposición (30 min. y 60 min.)

X2: Nivel de inducción del Campo Electromagnético (60 G y 120 G)

El diseño experimental consta de 24 corridas, ubicadas en 6 bloques, que buscan y presentan de manera aleatoria las posibles combinaciones entre los factores experimentales (inducción del CEM y tiempo de exposición) y la variable de respuesta (carga microbiana), de manera que orden de los experimentos sean aleatorios. Esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas, permitiendo mayor confiabilidad del modelo. Se realizaron tres réplicas para cada corrida experimental quedando establecida una matriz experimental establecida por el programa.

Elaboración del néctar de mango y preparación de las muestras: El néctar de mango objeto de estudio, se elaboró utilizando como materia prima principal frutas frescas, previamente seleccionadas y lavadas, garantizando así que estas cumplieran con las normas de calidad requeridas.(7, 19-21) Para la preparación del néctar se utilizaron las siguientes proporciones: pulpa de mango (1,2 kg), azúcar de refino (0,343 kg), ácido cítrico (0,006 kg) y agua (2,45 kg).

Para la preparación de las muestras primeramente se esterilizaron todos los instrumentos en autoclave (ASH-260, Cuba) a 120 ºC y 1,2 atm durante 15 minutos, se garantizaron las condiciones asépticas utilizando etanol al 95 % e hipoclorito de sodio al 6 % limpiando la superficie del área de trabajo. Se trasfirieron 40 mL de la muestra en frascos de color ámbar estériles y se trasladaron al Bionak-03 (Cuba), dispositivo magnético utilizado para el tratamiento.

Caracterización físico-química, microbiológica y sensorial del néctar tratado con campo electromagnético: Luego del tratamiento electromagnético a las muestras, se analizaron parámetros de calidad que definen si el néctar es apto para el consumo.

**Parámetros de calidad físico-químicos del néctar**

Acidez: La acidez se determinó por la Norma Cubana de Acidez valorable (NC-ISO 750:2001)(22)

Sólidos solubles: Los sólidos solubles se determinaron empleando la Norma Cubana de Código de refractómetro (NC ISO 2173:2001).(23) Se realizó la lectura directa con un refractómetro a una temperatura de 20 °C. Para ello se vierte cierta cantidad de muestra en el equipo y se lee por medio de una escala graduada el índice de refracción que presenta el néctar.

pH: Para la determinación del pH se empleó la Norma Cubana de Determinación de pH, (NC ISO 1842: 2001),(24) que establece la medición del pH de productos de frutas y vegetales por el método potenciométrico; el cálculo se ejecuta por la diferencia de potencial entre dos electrodos sumergidos en el líquido que es analizado, empleando un pH-metro, con una escala de pH graduada.

Análisis microbiológico: Para conocer la cantidad de microrganismos patógenos que hay presentes en los néctares elaborados y si la muestra cumple con la calidad microbiológica requerida, se realizó el análisis microbiológico regido por las normas NC 4833:2011 y NC 1004: 2014.(20, 21) Para la siembra se prepararon medios de cultivos, en dependencia de los microorganismos presentes. Los medios de cultivos para conocer el Conteo Total y Conteo de Hongos y Levaduras presentes son: Agar para conteo en placas y Agar Maltosa de Subouraud o extracto de Malta, respectivamente.

Luego de aplicar el tratamiento electromagnético, se realizaron siembras microbiológicas siguiendo la norma (NC 585:2008)(25) para realizar las determinaciones de: mohos, levaduras y Conteo Total de microorganismos (MOS); realizando las lecturas microbiológicas al término de los tres y cinco días, respectivamente. Culminado los experimentos se procedió a la tabulación de cada uno de los resultados para un eficiente procesamiento estadístico y análisis de los mismos.

Análisis sensorial: Para comprobar las propiedades organolépticas del néctar se determinaron siguiendo las normas NC ISO 6658:1985 y NC ISO 5492:1992.(26, 27)

**Determinación del contenido de hierro presente en el néctar de Magnífera spp.**

La determinación del contenido de hierro presente en las muestras de néctar de mango se realizó por el método colorimétrico de orto-fenantrolina.(28) Para ello se preparó una solución estándar de hierro (II)( Fe2+) con una concentración de 10 mgmL-1, y soluciones patrones de 1,10-fenantrolina al 10 %, clorhidrato de hidroxilamina al 10% en agua y acetato de sodio al 10% en agua para la curva de calibración. Los patrones fueron preparados en matraces aforados de 50 mL y se conformó una curva a diferentes concentraciones (0; 0,1; 0,5; 1; 2; 2,5 mgmL-1) frente a un blanco de agua destilada.
El néctar fue previamente tratado con un sonicador Vibra cell TM (SONICS, EU) para fragmentar a nivel subcelular cualquier fibra que pudiera estar presente en la muestra, esto se realizó con la finalidad de acelerar la disolución de las partículas sólidas presentes que puedan interferir en las lecturas de absorbancias. Se preparó un total de 24 muestras a analizar, se utilizó un 1 mL de néctar en un matraz volumétrico de 50 mL, se añadieron dos gotas de ácido clorhídrico (HCL) concentrado para acidificar la muestra en la determinación de hierro por espectrofotometría. El hierro se encuentra en diferentes estados de oxidación en la muestra, y el uso de HCl acidifica la solución, lo que ayuda a mantener el hierro en su forma reducida (Fe2+), que es la forma más soluble y estable en solución. Además, el HCl ayuda a disolver cualquier precipitado de hierro que pueda formarse durante el proceso de análisis, lo que garantiza una medición precisa del contenido de hierro en la muestra. Luego se adicionaron las mismas cantidades de los reactivos antes mencionados en ese mismo orden, es decir 0,5 ml de solución de clorhidrato de hidroxilamina y 2,5 ml de solución de 1,10-fenantrolina y se añadieron 4 ml de acetato de sodio para amortiguar la solución, con el objetivo de que se produjera el color rojizo característico de la 1,10-fenantrolina ferrosa. Se esperó alrededor de 10 minutos para que se desarrollara el color completamente y por último, se midió la absorbancia en el espectrofotómetro 10S UV-VIS (Thermo Scientific, China) a una longitud de onda de 510 nm. Se conformó la curva patrón ploteando las concentraciones de la solución estándar de hierro y se calculó la ecuación de la recta. La concentración de las muestras se néctar se calcularon utilizando la ecuación de la recta (Ecuación 1):
Conccentración = Abs-b/x * FDiluc. Ecuación 1
Donde: Abs: absorbancia de la muestra; b: intercepto; x: concentración; F Diluc. factor de dilución (0,02)
Procesameinto de los resultados y Análisis estadístico
En los resultados del diseño experimental realizado (factorial multinivel 22) fueron expuestos en tablas para el procesamiento de la información. Para la interpretación de los datos y el análisis estadístico se desarrolló mediante el STATGRAPHICS CENTURION XV para Windows (Graphics Software Systems, STCC, 2000, EUA) el Microsoft Office Excel 2016 para la realización de tablas y gráficos.

**Resultados y Discusión**

Las muestras fueron agrupadas de acuerdo a los 4 tratamientos aplicados, donde los parámetros que se combinaron para los experimentos fueron la inducción del campo electromagnético y el tiempo de exposición, quedando establecidas las siguientes combinaciones. En la Tabla 1 se expresan las combinaciones de los diferentes tratamientos electromagnéticos que recibieron las muestras.

**Tabla 1 Combinaciones de los diferentes tratamientos electromagnéticos que fueron aplicados a las muestras**

| Nº | Tratamiento | Inducción del CEM | Tiempo de exposición |
|---|---|---|---|
| **1** | **Trat - 1A** | 120 G | 60 min |
| **2** | **Trat - 1B** | 120 G | 30 min |
| **3** | **Trat - 2A** | 60 G | 60 min |
| **4** | **Trat - 2B** | 60 G | 30 min |

**Caracterización físico-química del néctar de Magnífera spp.**

La Tabla 2 y Figura 1 muestran los resultados obtenidos para las características físico-químicas y sensoriales de las muestras de néctar de mango después de aplicado el tratamiento electromagnético. Los resultados arrojaron que no existieron diferencias en las características organolépticas para los grupos control y los tratados con campo electromagnético. Los valores obtenidos para la acidez una vez aplicado el tratamiento electromagnético se mantienen relativamente cercanos al valor determinado en la muestra control con una ligera disminución. Este parámetro podría estar determinado por el contenido de ácidos orgánicos presentes en las frutas utilizadas para su elaboración, el efecto de los campos electromagnéticos sobre la calidad de los néctares están dirigidos a retardar la oxidación y el deterioro, sin embargo no se ha demostrado que tenga un impacto significativo en la acidez de los mismos. Existen pocos estudios que reflejen el efecto del campo electromagnético sobre los parámetros físico-químicos del néctar de mango, sin embargo, Torres-Ferrer et al. (2018)(9) obtuvo resultados diferentes con relación a la acidez, que los valores van decreciendo a medida que se aplica el elctromagnético (9 mT).

**Tabla 2 Resultados de los análisis físico- químicos y sensoriales del néctar de mango luego de aplicar el tratamiento electromagnético**

| Tratamientos | Sabor | Olor | Aspecto |
|---|---|---|---|
| **Control** | Característico | Característico | Normal |
| **Control 2** | Característico | Característico | Normal |
| **Trat-1A** | Característico | Característico | Normal |
| **Trat-1B** | Característico | Característico | Normal |
| **Trat-2A** | Característico | Característico | Normal |
| **Trat-2B** | Característico | Característico | Normal |

En cuanto al comportamiento de los sólidos solubles, se aprecia que los valores para los grupos tratados con campo electromagnético disminuye ligeramente la concentración de sólidos solubles respecto a los valores obtenidos en las muestras control. Esto se fundamenta en que durante la elaboración y conservación del producto la fruta se degrada en azúcares solubles, principalmente glucosa, sacarosa y fructosa. (9)

En las determinaciones de pH se evidencia que las muestras control, presentaron valores más altos respecto a los que ya fueron tratados, este aspecto presenta esta leve disminución debido a la oxidación de los sustratos fenólicos propios del pardeamiento enzimático por la acción de la enzima polifenol oxidasa dando lugar a una desacidificación (eliminación del ácido) resultados similares fueron los obtenidos por Torres-Ferrer et al. (2018).(9)

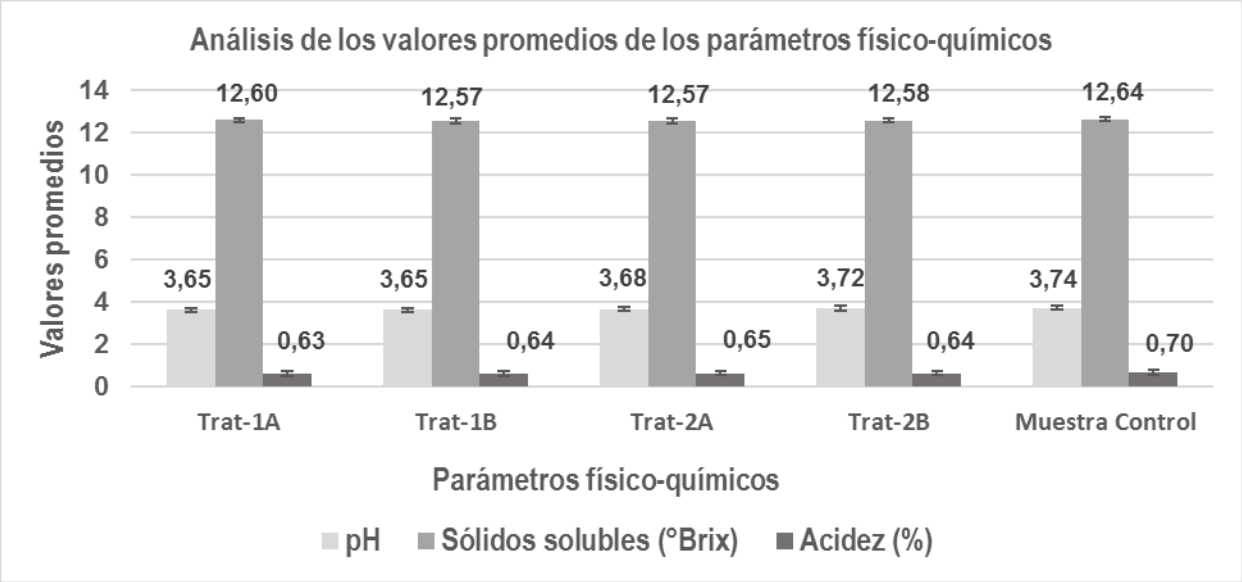



**Figura 1. Análisis físico – químicos del néctar de mango bajo un tratamiento con campo electromagnético.**

De manera general, los resultados obtenidos reflejan que el campo electromagnético no influye en las características de calidad físico-químicas del néctar de mango en el análisis no evidencian efectos significativos del tratamiento electromagnético sobre las características físico-químicas del néctar de mango. Resultados obtenidos por Qian et al. (2021)(29), permiten corroborar lo obtenido en este estudio, quienes evaluaron los efectos de la aplicación de un campo magnético pulsado sobre las características físico-químicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles) del jugo de manzana obteniendo ligeras variaciones en los parámetros medidos. Lo que sugiere a este tratamiento como una tecnología potencial con una alta retención de la calidad.(9)

**Análisis microbiológico**

En la Figura 2 se muestran los valores promedios del análisis microbiológico en función del conteo en placa de los hongos, levaduras y conteo total, obtenidos para cada tratamiento.

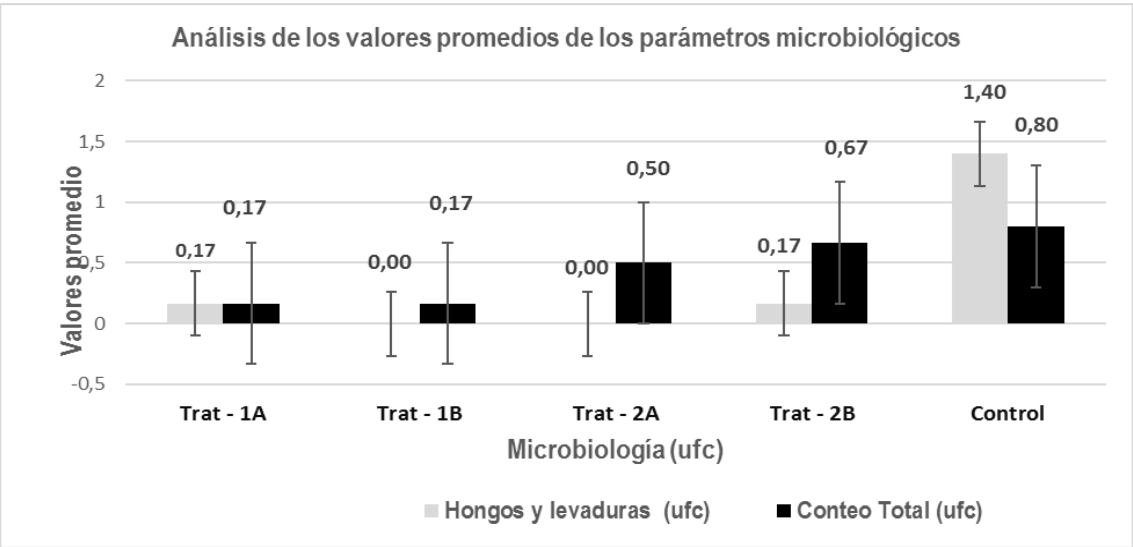



**Figura 2. Análisis de los valores promedios de los parámetros microbiológicos de las muestras de néctar de Magnífera spp.**

Los valores más elevados de conteo en cuanto a hongos y levaduras estuvieron representados para los grupos tratados Trat-1A (120 G - 60 min y el Trat-2B (60 G - 30 min) con 0,17 ufc en ambos casos y los valores más bajos en los tratamientosTrat-1B (120 G - 30 min) y Trat-2A (60 G - 30 min) con 0 ufc respectivamente. En cuanto al conteo total los valores más bajos fueron para los tratamientos Trat-1A (120 G - 60 min) y Trat-1B (120 G - 30 min) con 0,17 ufc para ambos casos y los más altos para los tratamientos Trat-2A (60 G - 30 min) y Trat-2B (60 G - 30 min) con 0,50 ufc y 0,67 ufc respectivamente.

Los resultados arrojan que el campo electromagnético inhibe el desarrollo de la germinación de esporas de hongos y levaduras, microorganismos patógenos que provocan la fermentación del néctar y disminuyen la durabilidad del producto. Se observó que a mayores inducciones magnéticas y menores tiempos de exposición se encontraron los mejores resultados. Teniendo en cuenta las características específicas del néctar de mango pudieran compararse estos resultados a los reportados por Pothakamury et al. (1993),(30) basados a su vez en Coughlan (1990),(31) teoría que considera el efecto de campos magnéticos oscilantes en enlaces de iones Ca 2+ y proteínas.

La teoría considera el efecto de los campos magnéticos oscilantes en enlaces de iones Ca2+ a proteínas. La cual sugiere que los iones Ca 2+ vibran continuamente alrededor de una posición de equilibrio en el sitio de enlace, al aplicar un campo magnético oscilante a la proteína, causaría rotación y vibración del plano o procede en la dirección del campo magnético oscilante a una frecuencia que es exactamente la frecuencia del ciclotrón del enlace del Ca 2+. Al agregar un campo magnético oscilante vibratorio a la frecuencia del ciclotrón se perturba la precisión a tal extensión que resulta en la perturbación, debilitación y finalmente la ruptura del enlace entre el ion de Ca 2+ y la proteína.(31)

La inactivación de microorganismos está basada en la teoría de que los campos magnéticos oscilantes, pueden acumular energía en grandes moléculas como las de ADN. Con diferentes oscilaciones y ensamblaje colectivo de dipolos se obtiene suficiente activación local que puede resultar en la ruptura de los enlaces covalentes de la molécula de ADN y por consiguiente en la inactivación de los microorganismos. (30) De manera general, el descenso microbiológico puede deberse a que los campos magnéticos oscilantes causan daño en el ADN de los microorganismos, generando así mutaciones que bloquean la replicación celular provocando la muerte microbiana, además que un aumento de la inducción magnética implica un aumento de la inactivación microbiana y enzimática.(30, 31)

La Tabla 3 muestra las variaciones en la lectura de conteo de placas de cada uno de los efectos en la variable estudiada; resaltando la significación estadística al comparar su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso la inducción magnética presenta un valor del estadígrafo - P menor que 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95%. Posee un efecto relevante en el diseño y resultado final de los experimentos.

**Tabla 3. Análisis de Varianza para Microbiología**

| Fuente | Suma de Cuadrados | GL | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| **A:Inducción Magnética** | 1,04167 | 1 | 1,04167 | 6,82 | 0,0197 |
| **B:Tiempo de Exposición** | 0,0416667 | 1 | 0,0416667 | 0,27 | 0,6091 |
| **AB** | 0,375 | 1 | 0,375 | 2,45 | 0,1380 |
| **Bloques** | 2,20833 | 5 | 0,441667 | 2,89 | 0,0506 |
| **Error total** | 2,29167 | 15 | 0,152778 | | |
| **Total (corr.)** | 5,95833 | 23 | | | |

**R2** = 61.5385 %
**R2 (ajustada por G.L.)** = 55,7692 %
Error estándar del estimado = 0,390868
**Error absoluto medio** = 0,263889
**Estadístico Durbin-Watson** = 2,56061 (P=0,6040)
**Autocorrelación residual de Lag 1** = -0,311364

El valor del coeficiente de regresión R2 indica que el presente modelo ajustado explica en un 61,5385 % de variabilidad a la variable respuesta microbiología en función de la carga microbiana. El estadístico R2 ajustado que es más idóneo para comparar modelos con diferentes números de variables independientes es de 55,7692 %. El error estándar del estimado indicó que la desviación estándar de los residuos es de 0,390868 y el error medio absoluto corresponde al valor promedio de 0,263889.
Es muy difícil que un modelo estadístico correlacione a la perfección las variables involucradas en un sistema como este objeto de estudio; donde intervienen microorganismos que proliferan inclusive de forma espontánea y natural, considerándose un modelo fenomenológico el más indicado. Lo que requeriría de un análisis más detallado y complejo.

**Tabla 4. Estimaciones para cada uno de los diferentes efectos y sus interacciones para el análisis Microbiológico (ufc) del néctar de mango**

| Efecto | Estimado | Error Estándar | V.I.F |
|---|---|---|---|
| **Promedio** | 0,541667 | 0,0797856 | |
| **A:Inducción Magnética** | -0,416667 | 0,159571 | 1,0 |
| **B:Tiempo de Exposición** | 0,0833333 | 0,159571 | 1,0 |
| **AB** | 0,25 | 0,159571 | 1,0 |
| **Bloque** | -0,583333 | 0,356812 | 1,7 |
| **Bloque** | -0,583333 | 0,356812 | 1,7 |
| **Bloque** | 0,416667 | 0,356812 | 1,7 |
| **Bloque** | -0,583333 | 0,356812 | 1,7 |
| **Bloque** | 0,916667 | 0,356812 | 1,7 |
| **Errores estándar basados en el error total con 15 G.L.** | | | |

La Tabla 4 refleja las distintas estimaciones para cada una de los diferentes efectos estimados y sus interacciones. También el error estándar de cada uno de estos efectos y el valor del factor de inflación de la varianza (F.I.V), siendo el valor mayor igual a 1.7 lo que indica claramente que no existen indicativos de confusión o duda en los efectos.

**Determinación del contenido de hierro presente en el néctar de Magnífera spp.**
En la Figura 3 se reflejan los valores promedios de las concentraciones reales de hierro determinadas en las muestras de néctar de mango en correspondencia con el tratamiento aplicado, frente a las concentraciones existentes en la muestra control permitiendo realizar una comparación entre estas.

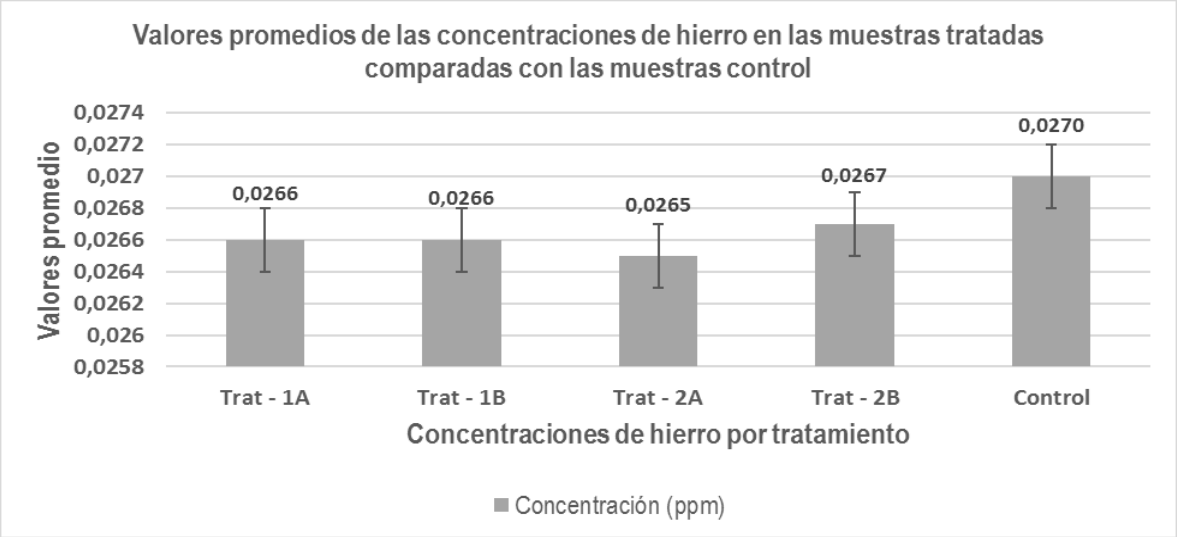



**Figura 3. Valores promedios de las concentraciones de hierro en las muestras de néctar de mango bajo la acción de un campo electromagnético.**

Como se puede observar en la Figura 3 los valores promedios de las concentraciones de hierro presente en las muestras tratadas se mantienen muy cercanos al de la muestra control, lo que indica que la aplicación de tratamiento electromagnético no provocó variaciones significativas en el contenido de hierro del néctar de mango. Se obtuvieron resultados similares a los de Quian, Yan et al. 2021(29) quienes evaluaron los efectos de la aplicación de un campo magnético pulsado sobre el contenido de vitaminas y minerales del jugo de naranja obteniendo muy ligeras variaciones luego de aplicado el tratamiento en cuanto al contenido de minerales. Con esto se pudo comprobar que la aplicación de campos electromagnéticos no tiene un impacto directo ni significativo sobre los minerales presentes en el néctar de mango objeto de estudio, no afectan su composición química, ni su biodisponibilidad, otro aspecto que califica como prometedora a esta tecnología emergente que involucra la inactivación microbiana, con ligeros cambios en el contenido de minerales y por ende sin efecto sobre su valor nutricional.

**Conclusiones**

1. La caracterización físico-química y sensorial del néctar de mango elaborado a escala de laboratorio bajo la acción del campo electromagnético de baja frecuencia (60 Hz) con inducciones de 60 G y 120 G para los tiempos de exposición de 60 min y 30 min, no tuvieron diferencias con respecto al control; sin embargo, los resultados se encontraron dentro de los rangos establecidos presentando cambios mínimos respecto a la muestra control, lo que condujo a que sus características se comportaran de forma habitual manteniéndose el producto muy similar al natural.

2. La aplicación del campo electromagnético de 60 Hz (60 G y 120 G) como método de conservación del néctar de mango tuvo un efecto positivo sobre la calidad microbiológica del producto final, provocando una disminución notable en la carga microbiana, retardando el deterioro microbiológico y dando lugar a una mayor estabilidad del producto y prolongación de su vida útil. Por tanto, el empleo de esta tecnología puede ser considerado como un método de conservación eficiente para este proceso en particular.

3. El campo electromagnético como tratamiento no térmico sobre el néctar de mango no provocó cambios significativos en las concentraciones de hierro existentes en las muestras tratadas respecto a la muestra control, lo que permitió comprobar que esta tecnología no afecta la composición ni la biodisponibilidad de este mineral y por ende el valor nutricional de este alimento.

**Recomendaciones**

1. Realizar investigaciones en las que se explore la posibilidad de aplicar el campo electromagnético como un tratamiento no térmico empleando valores mayores de inducción y otros tiempos de exposición, para evaluar cuáles serán los efectos sobre la carga microbiana, estabilidad y vida útil de los néctares de frutas.

2. Realizar estudios más detallados con el objetivo de obtener el modelo matemático real que describa el comportamiento de este sistema con mayor exactitud.

**Referencias bibliográficas**

1. Cuadra-Perera AdlC, Ramírez-Alfonso C, Rodríguez-Sánchez JL, Núñez de Villavicencio-Ferrer M, Campos-Muiño A. Desarrollo de un néctar mixto a partir de guayaba y naranja. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2023;33(2):17-20.
2. Montero ML, Rojas-Garbanzo C, Usaga J, Pérez AM. Composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante hidrofílica de frutas costarricenses seleccionadas. Agronomía Mesoamericana. 2022:46175-.
3. Urgelles-Cardoza I, Abreu-Romero A, Abreu-Romero N, Díaz-Rodríguez A. Diagnóstico de la cultura del consumo de frutas en comunidades del Consejo Popular de Costa Rica, Guantánamo, Cuba. Hombre, Ciencia y Tecnología. 2021;25(3):128-37.
4. Anaya Cruz B, García Álvarez A. Cadena del mango en Santiago de Cuba: sondeo de demanda. Economía y Desarrollo. 2018;159(1):29-41.
5. Vázquez-Briones M, Chavez-Reyes Y, Mata-García M. Frutas tropicales como fuentes de antioxidantes y sus perspectivas en la industria de bebidas. Proceedings-© ECORFAN-México. 2019:68-81.
6. Rojas-Naccha J, Gordillo C, Guerrero N, Izáziga N, Laguna B, Lázaro M. Efecto de la proporción de naranja (Citrus sinensis), papaya (Carica papaya) y piña (Ananas comosus) en la aceptabilidad sensorial de un néctar mixto. Agroindustrial Science. 2012;2(2):132-8.
7. Norma Cubana NC 903:2012. Jugos y Néctares de frutas. Especificaciones.
8. Cañizares-Chacín AE, Bonafine O, Laverde D, Rodríguez R, Méndez-Natera JR. Caracterización química y organoléptica de néctares a base de frutas de lechosa, mango, parchita y lima. Revista Científica UDO Agrícola. 2009;9(1):74-9.
9. Torres-Ferrer Y, Rivera-Soto M, Ortega-Díaz Y, Cardona-Parlade AI. Influencia de un campo electromagnético de baja frecuencia en la flora microbiana de un néctar de mango. Parte II. Tecnología Química. 2018;38(1):131-44.
10. Ngadi MO, Latheef MB, Kassama L. Emerging technologies for microbial control in food processing. Green technologies in food production processing. 2011:363-411.
11. Zumbado Fernández H. Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos. Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria (Cuba); 2020.
12. Raventós M. Industria alimentaria: Tecnologías emergentes. Edicions UPC; 2005.
13. Ribeaux-Kindelán G, Gilart-González F, Hernández-Vázquez Y. Influencia del campo magnético estático en el proceso de preparación del sirope de piña. Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar. 2020;54(2):70-7.
14. TecnoAgro. Revista TecnoAgro. Avances tecnológicos y agrícolas México2022 [Available from: https://tecnoagro.com.mx/no.-146/tecnologias-emergentes-en-la-conservacion-de-los-alimentos.
15. Barona-Duque K, Salgado-Rivera J, Guzmán-Jojoa DM, Alvarez-Aldana A. Efecto del campo magnético sobre el crecimiento microbiano. Microciencia. 2019;8:90-106.

16. Arias-Rodríguez C, Rodriguez-Heredia D, Tejera-Cisneros HE. Levadura torula: revisión de sus características, aplicaciones e influencia del campo magnético en su crecimiento. Tecnología Química. 2023;43(2):309-30.
17. Guzmán TM, Abreu J, Anaya M, Duquesne F, Guerra G, Valdés O. Influencia del campo magnético en la calidad microbiológica del queso fresco Telita. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2010;20(2):66-71.
18. Anaya Villalpanda M, Borrego Alonso SF, Castro Fernández M. Consideraciones sobre la influencia del campo magnético oscilante de frecuencia extremadamente baja en la aeromicrobiota de ambientes interiores. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 2021;52(1):79-92.
20. Norma Cubana NC 4833: 2011. Microbiología de alimentos de consumo humano y animal. Guía General para la enumeración de microorganismos. Técnica de conteo de colonias a 30 0C.
21. Norma Cubana 1004: 2014 Microbiología de alimentos de consumo humano y animal. Guía General para la enumeración de Levaduras y mohos. Técnica a 25 0C.
22. Norma Cubana NC-ISO 750:2010 Productos de frutas y vegetales. Determinación de la acidez valorable.
23. Norma Cubana NC-ISO 2173:2001 Productos de frutas y vegetales. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico.
24. Norma Cubana NC-ISO 1842:2001 Productos de frutas y vegetales. Determinación del pH.
25. Norma Cubana NC 585: 2008 Contaminantes microbiológicos en alimentos. Requisitos sanitarios.
26. Norma Cubana NC-ISO 6658: 2002 Análisis Sensorial. Metodología General.
27. Norma Cubana NC-ISO 5492: 2002 Análisis Sensorial vocabulario.
28. Cantillo-Holguín N. Elaboración de néctar a base de achotillo (Nephelium lappaceum) y manzana (Malus domestica) enriquecido con alfalfa (Medicago sativa) como aporte nutricional: UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR; 2020.
29. Qian J, Yan G, Huo S, Dai C, Ma H, Kan J. Effects of pulsed magnetic field on microbial and enzymic inactivation and quality attributes of orange juice. Journal of food processing preservation. 2021;45(6):e15533.
30. Pothakamury UR, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. Food Technology (Chicago). 1993;47(12):85-93.
31. Coghlan A, Hale N. How magnetic fields could upset your ions. New Scientist. 1990;127(1728):30.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SECADO SOLAR DE PRODUCTOS PARA CONSERVACION EN CUBA DESDE CRITERIOS INTEGRALES PARA SU USO EXTENDIDO

Alonso Torres Ten[I], María Isabel Fernández Parra[II], Ángel Luís Brito Sauvanell [III], Susana Fonseca Fonseca[IV]

[I]Alonso Torres Ten, Centro de Investigaciones de Energía Solar, Cuba, Inv. Aux. P. Aux. atorres@cies.cu alonso_660@yahoo.com alonso.torres@uo.edu.cu tf: 54371204
[II] María Isabel Fernández Parra, Centro de eficiencia energética y refrigeración, Universidad de Oriente, Cuba, PT, Dr.C, mariai@uo.edu.cu
[III] Angel Luís Brito Sauvanell, Centro de eficiencia energética y refrigeración, Universidad de Oriente, Cuba, PT, DrC. albrito@uo.edu.cu
[IV]Susana Fonseca Fonseca, Universidad de Oriente, Cuba, Inv. Aux. P. Aux. sfonseca@cies.cu

**RESUMEN**

Desde la óptica de criterios integrales para el uso extendido del secado solar, se tiene una mirada crítica de la situación en Cuba del uso de esta tecnología para la conservación de productos agrícolas, haciendo un análisis de las grandes producciones agropecuarias, las formas tecnológicas que se adoptan en el tiempo para el proceso y las producciones con visión doméstica o a pequeña escala, dejando al desnudo la falta de una estrategia coherente para fomentar el uso de tan noble tecnología, desvelando además los factores causales, no existe una cultura de conservación de estos productos y mucho menos de utilizar el secado como vía para ello, problemas ergonómicos, problemas tecnológicos y operacionales que frenan su desarrollo y aplicación.

Palabras claves: Criterios integrales, secado solar, uso extendido, conservación de productos.

SOLAR DRYING OF PRODUCTS FOR CONSERVATION IN CUBA FROM INTEGRAL CRITERIA FOR THEIR EXTENDED USE

ABSTRACT

From the perspective of comprehensive criteria for the extended use of solar drying, there is a critical look at the situation in Cuba of the use of this technology for the conservation of agricultural products, making an analysis of large agricultural productions, the technological forms that are adopt over time for the process and productions with a domestic or small-scale vision, exposing the lack of a coherent strategy to promote the use of such noble technology, also revealing the causal factors, there is no culture of conservation of these products and much less to use drying as a way to do so, ergonomic problems, technological and operational problems that slow down its development and application.

*Keywords*— Comprehensive criteria, solar drying, extended use, product preservation.

## 1. ENTRODUCCION

Durante muchos años la humanidad dependió, para su abastecimiento energético, casi exclusivamente de los combustibles fósiles y de manera especial del petróleo. La producción de energía para los más diversos usos (industria, transporte, doméstico, etc.) se garantizó casi totalmente combustionando petróleo o algún otro de los combustibles fósiles. El uso de estos recursos energéticos constituía entonces, y constituye aún hoy, una práctica extensiva.

La crisis energética de los años 70 y la toma de conciencia, en los 80 sobre el daño ecológico que acarrea el uso irracional y negligente de los combustibles fósiles, ha determinado el paso paulatino hacia un sistema energético múltiple a nivel mundial. Este sistema supone el empleo de diferentes fuentes energéticas para satisfacer el conjunto de todas las necesidades energéticas de la sociedad. (Iglesias, 1981, Dave Jone, 2021) De esta forma aparece el problema del uso extendido de la energía solar. Es deseable y propósito que la energía solar (las renovables en general) alcance un uso masivo, fiable y económicamente competitivo.

En los marcos de un sistema energético múltiple, el uso extendido de la energía solar significa lograr que dicha fuente alcance un peso relativo de importancia en el balance energético de una región, actividad o sector de la economía. La evaluación del peso relativo de la energía solar tiene un importante significado en los esfuerzos por lograr su uso extendido.

La necesidad de considerar un conjunto de criterios integrales para la toma de decisiones en el esfuerzo dirigido a dicho uso de la energía solar, a partir de reconocer que el aprovechamiento de la energía solar es un problema de carácter científico, tecnológico y social relacionado con múltiples y variadas disciplinas de tal complejidad que en modo alguno admite un enfoque superficial o simplistamente apologético (Croy and Peuser,1994, Liomnis et al, 2015, Ribeiro et al, 2018). Así, la factibilidad de obtener un determinado efecto útil a partir de la radiación solar debe ser analizado sobre la base del conocimiento de la fuente solar y un análisis termodinámico integral del proceso mismo, complementado por los factores asociados al desarrollo actual de tecnologías y materiales, el hombre y las condiciones propias del lugar de aplicación (Menendez,1997). Este sistema de criterios, abarca muy bien los aspectos tecnológicos de la energía solar, pero tiene limitaciones importantes para la actividad de secado solar, sobre todo para valorar aspectos operacionales, ergonómicos y socioculturales, que son interés de la actual investigación.

El sistema de criterios integrales, cumple una segunda e importante función como aspectos a valorar en los estudios sobre el estado, carácter y nivel de utilización del secado en la conservación de productos agrícolas en Cuba.

## 2. MATERIALES Y METODOS

**Método mixto de investigación:** Por la complejidad de variables tanto en el campo de lo cuantitativo como de lo cualitativo, ya que asume el desarrollo y uso de conceptos económicos, operacionales, tecnológicos y socioculturales, combinando los métodos teóricos de análisis cualitativo y enfoque sistémico, se estudia el problema del secado solar para la conservación de productos agrícolas con carácter extendido. Se usa el concepto de peso relativo de la energía solar, en una actividad, en este caso al secado solar de productos.

Para el desarrollo de los criterios, sirve de base el sistema desarrollado por Menéndez Milanés en su tesis doctoral de 1997, consistente en realizar análisis sistémicos sobre el uso de la energía solar, usando diagramas de bloques o bloques de decisiones. Pero que se basan en fenómenos tecnológicos, dejando por fuera aspectos vitales para el análisis que se propone en el secado solar de productos para su conservación, la ergonomía, aspectos socioculturales, etc.

## 3. RESULTADOS Y SU ANÁLISIS:

### 3.1. El secado en la conservación de grandes producciones agropecuarias.

En la práctica productiva agropecuaria, es secado solar tiene una larga historia, tanto en Cuba como en otras partes del Mundo. El secado forma parte de los ciclos de producción de diferentes productos agrícolas, y en esa medida se integra natural y espontáneamente a la cultura agraria de muchos pueblos.

Este es el caso del arroz, los frijoles, el maíz y otros granos que son secados después de la cosecha para su almacenamiento. El café y el cacao se secan como parte del proceso de beneficio.

El procedimiento de secado en estos casos, es bastante primitivo y se basa en el aprovechamiento directo de la radiación solar. Los campesinos individuales, las cooperativas de crédito y servicios, las cooperativas de producción agropecuaria y las pequeñas granjas estatales realizan el secado de estos productos en lonas dispuestas sobre el suelo, sobre carreteras, pistas asfaltadas, plazoletas de cemento y, en casos como el café y el cacao, sobre plazoletas de cemento diseñadas con esos fines.

Aquí la cultura del secado es –como se dijo anteriormente- bastante rudimentaria, trasmitida espontáneamente de generación en generación. Estudios realizados en zonas rurales y comunidades campesinas (Ferro, 1997) demuestran que los protagonistas de esta actividad, no la reconocen como una aplicación de la energía solar y poco hacen por su perfeccionamiento tecnológico. Tal procedimiento es de muy baja eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar, prolongado tiempo, trabajoso en la manipulación del producto y se somete a las inclemencias del tiempo (lluvia, rocío, etc.) con el consecuente deterioro de la calidad.

Por su parte las granjas y empresas estatales con grandes volúmenes de producción de esos granos, utilizan fundamentalmente (para garantizar los picos de cosecha) tecnologías de secado que se sustentan energéticamente en la combustión de leña (en menor medida), petróleo y la utilización de resistencias eléctricas. Así se emplean silos, hornos, etc. Estos procesos de secado son, por lo regular, poco eficientes en el aprovechamiento de la energía, de manera que poco contribuyen al ahorro de recursos energéticos de alta gradación.

Los especialistas que conducen y realizan la actividad de secado en estos lugares, no reconocen la posibilidad de usar la energía solar con este propósito, porque no lo consideran una tecnología competitiva para los volúmenes de producción a secar y muchos no tiene conocimiento de las tecnologías de secado solar desarrolladas que, potencialmente, puedan aplicarse en sus empresas.

El tabaco es otro cultivo que incluye el secado. Aquí también se distinguen los procedimientos de secado empleados por pequeños y medios productores (privados y/o estatales) de las utilizadas por los grandes productores de la hoja. Entre los primeros es bien generalizado el uso combinado de dos métodos de secado:

- Primero en tendales (colgados sobre una vara de madera suspendida) utilizando directamente la radiación del Sol en los campos donde tuvo lugar la recolección, durante 2 o 3 días después de la misma.
- Luego, en casas de secado de tabaco a temperatura ambiente durante aproximadamente un mes.

Tradicionalmente las casas de secado de tabaco han sido cubiertas en el techo y las paredes con guano de palmas. Más recientemente, y en el sector estatal de granjas tabacaleras, las casas de secado de tabaco se techan con láminas de Zinc y las paredes son de madera. Estas últimas según la opinión de muchos cultivadores, no son adecuadas para el secado de tabaco, ya que afectan su calidad.

El secado de tabaco debe efectuarse a bajas temperaturas, con circulación constante del aire y sin incidencia directa de los rayos del Sol.

En las granjas y empresas estatales productoras de grandes volúmenes de capa (especialmente Tabaco Rubio) suelen utilizarse grandes estufas en las que el aire se calienta mediante quemadores que se alimentan de petróleo. En estas instalaciones se controla rigurosamente la humedad y la temperatura del recinto.

Los pequeños productores de capa de calidad utilizan los procedimientos tradicionales de secado, aunque insistiendo en la regulación del proceso.

En la producción de frutas, hortalizas viandas y vegetales es muy poco difundida la cultura de conservación entre los campesinos. Estos son productos que suelen consumirse al momento. Se emplea el secado para conservar el ajo y la cebolla fundamentalmente. En esto casos el secado se realiza por vía natural preparando el material en ristras y secuencias de sol directo y sombra. Otras técnicas de conservación que se emplean, limitadamente, son el curtido en forma de pastas, purés, etc.

De las grandes producciones de las empresas agrícolas estatales, suele conservarse exclusivamente la papa; en grandes frigoríficos consumidores de corriente eléctrica, También se preparan compotas de frutas en procesos fabriles de cocción, a muy baja escala.

Las técnicas de deshidratación (incluido el secado) son muy poco utilizadas en la conservación de frutas, hortalizas, viandas y vegetales.

En esta realidad influye, especialmente, un problema de origen sociocultural: no existe una cultura de conservación de estos productos y mucho menos de utilizar el secado como vía para ello. Una investigación realizada con una muestra de 1 200 personas de la ciudad de Santiago de Cuba (Ferro Fernández, 1997) demostró que: mientras el 35 % reconoce el secado como vía para el aprovechamiento de la energía solar, solo menos del 5 % la aceptan como una alternativa para la conservación de productos agrícolas. La mayoría absoluta considera que los productos secados pierden sabor y propiedades nutritivas, además de que desconocen los procedimientos para su cocido.

### 3.2. Las formas tecnológicas de secado solar con visión para uso doméstico.

En los últimos años, producto de las dificultades económicas que ha afrontado el país y la falta de combustibles (petróleo) se ha comenzado a prestar atención al secado solar de productos agropecuarios en su expresión tecnológica.

Se ha introducido la tecnología solar en el secado de frutas, viandas, materias primas para elaborar piensos criollos, Saccharína Rústica para alimentación animal, plantas medicinales, granos, semillas, madera y otros.

Este proceso de introducción ha sido discreto, a pequeña escala (modelos semindustriales de 3.75 $m^2$ y 36 $m^2$) y para una actividad agropecuaria de autoconsumo en granjas y empresas de la actividad, o para producciones de pequeño volumen.

En este fenómeno han influido dos tipos de factores:

- socioculturales.
- tecnológicos.

Los factores socioculturales (Ferro, 1997) se relacionan, en este caso particularmente, con el desconocimiento de:

- las ventajas de la energía solar en general y el secado solar en particular.
- Las posibilidades reales del secado solar para resolver problemas de la conservación de productos.
- Los principales aspectos de la tecnología de secado solar.

Además de la sobreestimación de las ventajas y comodidades de la refrigeración convencional, que se basan en energía fósil y eléctrica.

De la enumeración anterior se deriva que, los problemas socioculturales se manifiestan en forma de inercia cultural y profesional a la introducción de la tecnología solar.

Los factores tecnológicos que han limitado la extensión del uso de la energía solar en el secado de frutas, viandas y hortalizas, está relacionado con la falta de competitividad de dicha tecnología frente a las

convencionales y la incapacidad tecnológica de las propuestas actuales de secado solar para resolver los problemas reales de la producción con dividendos económicos favorables.

Las tecnologías desarrolladas en Cuba se basan, fundamentalmente, en el concepto del **Secador Solar Multipropósito (Figura 1).** (Bérriz et al, 1991; Torres et al, 2005, 2012). Este es una instalación modular formada por una estructura metálica de vigas y angulares sobre los cuales se coloca una doble capa de vidrio, que conforma la cubierta superior y paredes laterales, colocados con juntas y separadores de forma tal que al fijarlos garantizan la impermeabilización total de la nave. El techo es a dos aguas, con un ángulo de 10° a 30° y el ancho de la nave es de 3 a 6 metros. En ambos extremos tiene dos puertas metálicas, aisladas térmicamente que al cerrarlas garantizan la hermeticidad total deseada. El secador en su interior tiene un túnel metálico ennegrecido, con pintura negra mate, que capta la radiación solar incidente y la convierte en calor, haciendo la función de plato de absorción. Tiene un área de captación de 36 m² (Como promedio, pues capta durante la mañana por la pared este y techo inclinado al Este, medio día solo por el techo que tiene 36 $m^2$ y en la tarde por la pared Oeste y parte techada inclinada al Oeste).



Figura 1: Vista Sur del secador solar multipropósito del CIES. Diseño original para 12 $m^3$ de madera.

El producto a secar es colocado convenientemente dentro de la cámara de secado, ya sea por bandejas lisas, perforadas o de mallas, montadas en un carro móvil que se desplaza hacia dentro y fuera de la cámara, para facilitar la operación de llenado y vaciado del producto.

Predomina la convección forzada, el movimiento del aire en el interior del secador se efectúa por medio de ventiladores, situados en el espacio comprendido entre el techo del túnel y el de la nave de vidrios. El aire puede ser movido longitudinalmente o transversalmente, según convenga en la tecnología de secado desarrollada para cada producto en específico. Estos ventiladores son de baja potencia y garantizan el flujo de aire deseado para lograr así un secado uniforme.

Además, posee un sistema de control automático que regula la temperatura y la humedad relativa dentro de la cámara. Acoplado a éste un intercambiador de aire, que renueva el del interior con el ambiente para evitar así su saturación y recuperar parte del calor de la extracción.

Se emplea en el secado de madera (Berriz et al, 1990, 1991, 1994), plantas medicinales (Fonseca et al, 2017, 2018, 2019), pastos, microalgas (Torres et al, 1995), pescado y diferentes productos agrícolas como

maíz, trigo y palmiche (Berguez, et al, 1994), los cuales pueden ser utilizados para consumo humano o animal. Es de uso semindustrial para el secado de grandes volúmenes de productos.

La experiencia acumulada hasta el momento en la introducción de esta tecnología en la práctica social indica que resulta efectivo en el secado de plantas medicinales, donde logra ahorrar 1 000 kg de combustible por tonelada de materia seca comparado con las tecnologías convencionales usadas con este fin. También ha demostrado idoneidad en el secado de madera con destino a la producción de muebles (Bérriz et al, 1991).

Este secador es relativamente caro (la utilización de vidrios y metal encarecen la instalación), plantea dificultades al proceso de construcción y montaje, y hace complejo el mantenimiento debido a la gran área de vidrios que emplea.

Por otro lado, en su versión original (Figuras 1) limita el intercambio térmico entre la fuente de calor y el material, al utilizar un túnel captador, donde la transmisión de calor fundamental se debe a la convección del agente secador con el material, existiendo productos que requieren favorecer otras formas de intercambio.

Esto último se puso de manifiesto durante las investigaciones dirigidas a desarrollar una tecnología para secar la Saccharina Rústica para la alimentación animal (Carnero et al, 1994; Torres et al, 1997). Para este proceso, por la necesidad de remoción constante del producto (que está sometido a un proceso de fermentación) se introdujo una importante modificación al secador solar multipropósito consistente en la introducción de un tambor rotatorio; este fue pintado de negro y se retiró el túnel captador. En estas condiciones el transporte de calor fundamental se realizaba por conducción del tambor al material contenido en su interior, pues en este caso el propio tambor es el captador de la radiación solar.

En la Figura 2, se representa el secador solar de tambor rotatorio, para Saccharina Rústica desarrollado por el CIES.

Es una nave, tipo invernadero (Carnero et al, 1992, 1994), formada por una estructura metálica de vigas y angulares, cubierta en el techo como en las paredes laterales por una doble capa de vidrios colocados con juntas y separadores, similar al secador Multipropósito, en sus extremos tiene dos puertas, tipo bisagras, aisladas térmicamente que al cerrarlas garantizan la hermeticidad total de la nave. En su interior tiene colocado un tambor rotatorio, que se desplaza con ayuda de un carro móvil, hacia dentro y fuera de la nave para facilitar la operación de llenado y vaciado del producto. El tambor está formado por una chapa metálica ennegrecida, por ambos lados, en su interior tiene un conjunto de aletas rectangulares, las cuales son intercambiables en dependencia del tipo de producto a secar, para garantizar así un buen mezclado del mismo, en sus extremos tiene dos tapas cónicas que tienen un agujero central, en una de ellas hay colocado un ventilador centrífugo, que garantiza un tiro forzado de aire en dirección longitudinal.

Tiene un área de captación de 4 m² (Figura 2). El tambor gira en sus apoyos a través de un mecanismo de transmisión por engranajes, acoplado a un motor reductor de baja potencia. Como captador directo de la radiación solar es utilizado el propio tambor. Se necesita un pequeño porciento de energía convencional para mover el tambor y el aire que se necesita en el proceso.

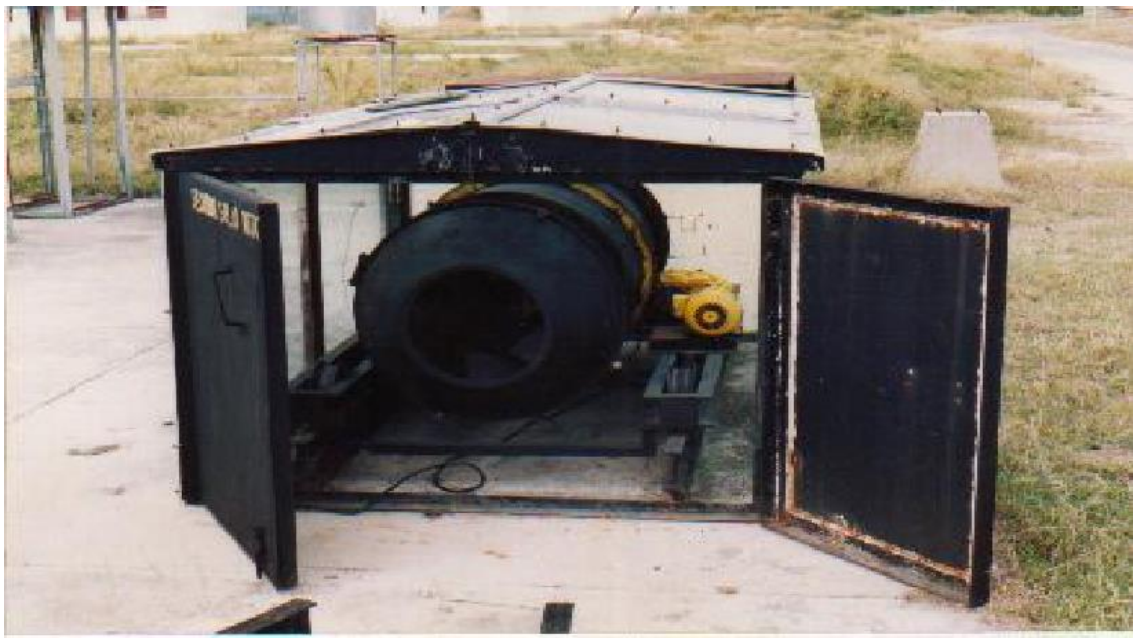


**Figura 2: Secador solar de tambor rotatorio para Saccharina Rústica del CIES.**

El secador solar rotatorio (Torres et al, 2003) ha sido ensayado, además, en el secado de semillas de mango, harina de yuca y cáscara de naranja y café (Figura 3), con variante de usar mallas perforadas para construir el depósito rotatorio y dejar pasar el aire caliente a través de las paredes del mismo, con buenos resultados en los indicadores de transferencia de calor y masa, eficiencia del tipo 1ra ley en el aprovechamiento de la energía solar, ahorro de energía convencional, etc.



**Figura 3: Secador solar rotatorio para granos.**

A pesar de las ventajas constatadas en la investigación del secador solar rotatorio, no es posible hablar de una introducción consolidada de esta propuesta tecnológica en la práctica social.

Otra variante del secador solar de cabina o multipropósito desarrollado en el CIES (Figura 4) es dedicado al secado solar de plantas medicinales (anamú, té de riñón, tilo).



**Figura 4: Secador solar para plantas medicinales de 3,76 $m^{2.}$**

La cámara de secado está construida de ladrillos y cemento (Fonseca et al, 2003, 2013, 2017, 2018, 2019). Las paredes de ladrillos son las que cubren el lateral del secador funcionando como aislante térmico y cuerpo del secador. En su interior es pintada de negro, la misma ocupa un área de 7.13 $m^2$ en todo el secador.

Dentro del equipo se coloca un carro con bandejas de malla metálica sobre las que se coloca la carga a secar (Figura 4). El prototipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco en los laterales norte y sur.

Cualquier intento por hacer extendido el uso del secador solar multipropósito y su variante del secador solar rotatorio en el secado solar de productos agrícolas, tiene dos alternativas en el caso en que deba satisfacer la demanda de altos volúmenes de producción:

- Pasar a escalas superiores.
- Replicar la unidad modular de 3.75 $m^2$ y 36 $m^{2.}$

La factibilidad de la primera opción no ha sido demostrada aún, y la segunda puede encarecer mucho el proyecto como se demuestra a continuación.

Para resolver el secado de café de alta calidad (para exportar) que se produce en el municipio Santiago de Cuba en el pico de cosecha, se necesitan 8 secadores multipropósitos de 36 $m^2$ que se estiman en unos 30 000 USD de inversión, pero por el elevado precio de venta del café en el mercado internacional (3 500 - 10 000) USD/ton, el plazo de recuperación de la inversión para el precio de venta más bajo, es de 7 meses

(Abdála et al, 1996, 2003; Ferro et al, 1999, 2000). Si, por el contrario, el material a secar es papa y el destinatario de la producción es el mercado interno, entonces la situación es diferente; la cantidad de instalaciones que serían necesarias es enorme, y por ende incosteable por la actividad.

Otras tecnologías fueron desarrolladas para el secado solar de madera, la variante del secador solar multipropósito diseñado para 12 $m^3$ de madera, que originalmente se contemplaron carros para entrar y sacar las pilas de madera (Figura 1,5). En la práctica debieron desecharse, pues el peso de la madera es tan grande que hace inoperante el arrastre de los mismos, siendo la mejor opción en equipos medianos manipular la madera en hombros y colocarlo de forma manual haciendo las pilas con los correspondientes separadores para garantizar la circulación adecuada del aire entre las mismas.




**Figura 5: Carga de madera seca de forma manual en el secador solar del CIES de 12 $m^3$.**

Otra de las variantes tecnológicas desarrolladas por especialistas cubanos de la capital fundamentalmente contempla el uso del policarbonato como superficie transparente, que tiene la ventaja de poder hacer techos en forma de bóveda y más resistente a la rotura por impacto (ver Figuras 6), además de ser secadores multicàmaras que permiten optimizar materiales al usar paredes comunes y disminuir perdidas térmicas.



**Figura 6: Secador solar de plantas medicinales de tres cámaras en el Wajay en La Habana. Derecha. Secador solar para madera de tres cámaras en la Empresa nacional de Flora y Fauna. Mil Cumbres.**

La problemática fundamental para este tipo de diseño, es que el policarbonato se degrada con rapidez por efecto de la radiación solar, comparado con el tiempo de vida útil del equipo, lo que conlleva a cambiar las cubiertas varias veces, incrementando el costo de la instalación.

Otra problemática desde el punto de vista de los autores, es usar materiales como paneles aislantes autoportables (Torres et al, 2013) para las paredes de los secaderos que duran 40 años y techos de policarbonatos que duran entre 5 y 8 años, lo que implica cambiar la cubierta muchas más veces durante el tiempo de vida útil de la instalación.

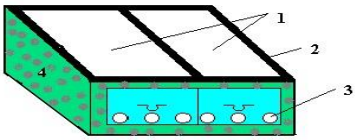
En algunas comunidades de campo, se han desarrollado secaderos artesanales para frutas, pero poco representativos para un país tropical.

Otras variantes tecnológicas más sencillas y baratas no han sido desarrolladas en nuestro país, aunque si en otros países de América Latina con buenos resultados.

El secado solar tecnologías con fines domésticos.

Una de las variantes a ensayar para lograr un uso más extendido del secado solar en conservación de productos, es llevar el proceso hasta niveles domésticos (Figura 7). Desde el punto de vista de la creación de la base material, el problema consiste en reproducir la instalación modular de pequeña escala muchas veces.

En diferentes países de Latinoamérica donde existe una cultura ancestral de secado para la conservación de productos, esta es una de las formas para aumentar el peso relativo de la energía solar en el secado con fines específicos de una rama. Con este propósito se emplean diferentes modelos de secadores de materiales baratos, fácil construcción y mantenimiento sencillo.




1. Doble cubierta de vidrio
2. Estructura metalica
3. Ventanillas de circulación
4. Pared de hormigón

**Figura 7: Secador solar doméstico con materiales de la construcción.**

Está fabricado fundamentalmente con materiales de la construcción (Bergues et al, 1995) para disminuir su costo y posee una cubierta superior formada por un vidrio liso debajo del cual hay una chapa metálica ennegrecida que absorbe la radiación solar incidente y la convierte en calor. Todo esto está colocado sobre un marco de angulares que forma en su conjunto una armazón desmontable para facilitar así la operación de llenado y vaciado del producto. Se utiliza con convección natural o forzada del aire, el cual es calentado en la propia cámara de secado, tiene una superficie captadora de 3.4 m² y el producto puede ser colocado en bandejas o en el piso del secador. Está orientado en dirección sur y la humedad final del producto se lleva hasta valores para los cuales se puede conservar por tiempo prolongado. Se usa para el secado de harina de yuca, papa, plátano y boniato. ***Es recomendable su uso debido al bajo costo y factibilidad para pequeños volúmenes de carga.***

Otra instalación de secado construida y evaluada por especialistas cubanos y que puede usarse con fines domésticos de conservación de productos a pequeña escala, es la estufa solar (Pozo, 1989) la cual se refiere en la Figura 8

Constituido por una caja rectangular que posee una doble cubierta de vidrio, contiene en su interior cuatro bandejas en forma escalonada donde se expone el material a secar, por la parte delantera penetra aire que se calienta por medio de un plato metálico ennegrecido que absorbe la radiación solar incidente a través del espacio entre las bandejas de mallas, extrayéndose la humedad del producto que sale por la parte superior a través de una compuerta variable que se manipula por el Hombre. El producto se extrae e introduce por una pequeña puerta lateral.

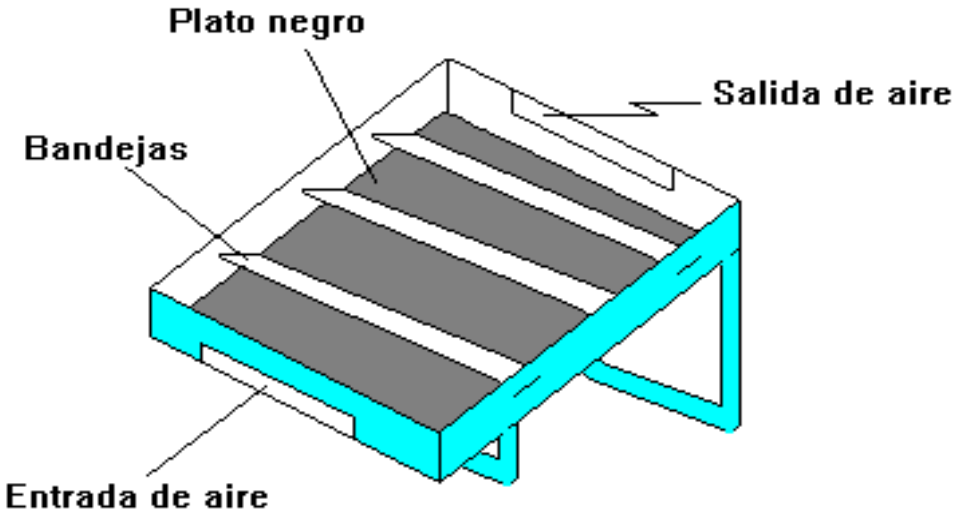



**Figura 8: Estufa solar.**

También en el secado de cerámica a pequeña escala (Abdala et al, 1993) se ha investigado, desarrollando un prototipo en la ciudad de las Tunas, evaluado por investigadores del CIES (Figura 9). Un dispositivo con paredes traslucidas de vidrio, excepto la pared norte, donde se colocan los agujeros de salida del aire por termosifón en la parte más alta, dejando la entrada de aire por el fondo de chapa metálica perforada. Los productos se colocan en parrillas en forma de estantería, pendiendo de un eje central como soporte.

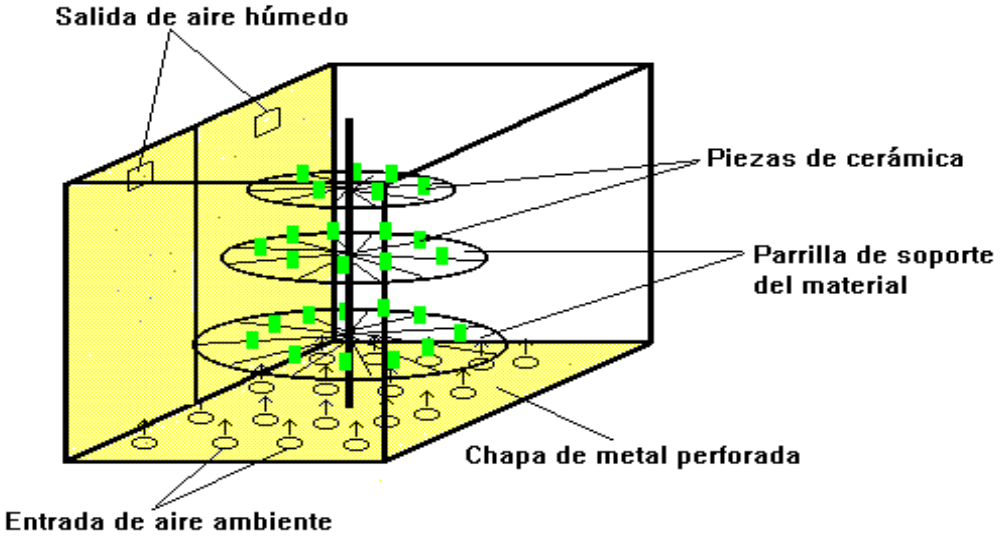



**Figura 9: Secador solar de cerámica.**

Otro prototipo a pequeña escala es el tipo gabinete (Figura 10) desarrollado para secado de hollejo de naranja, pero que puede ser usado para pequeñas producciones de productos secos con energía solar, construido de chapas metálicas y cubierta de vidrio, por medio de bandejas se coloca el producto en su interior y el termosifón es provocado por orificios altos en la pared norte más alta y en la pared sur más baja, cerca de la base.

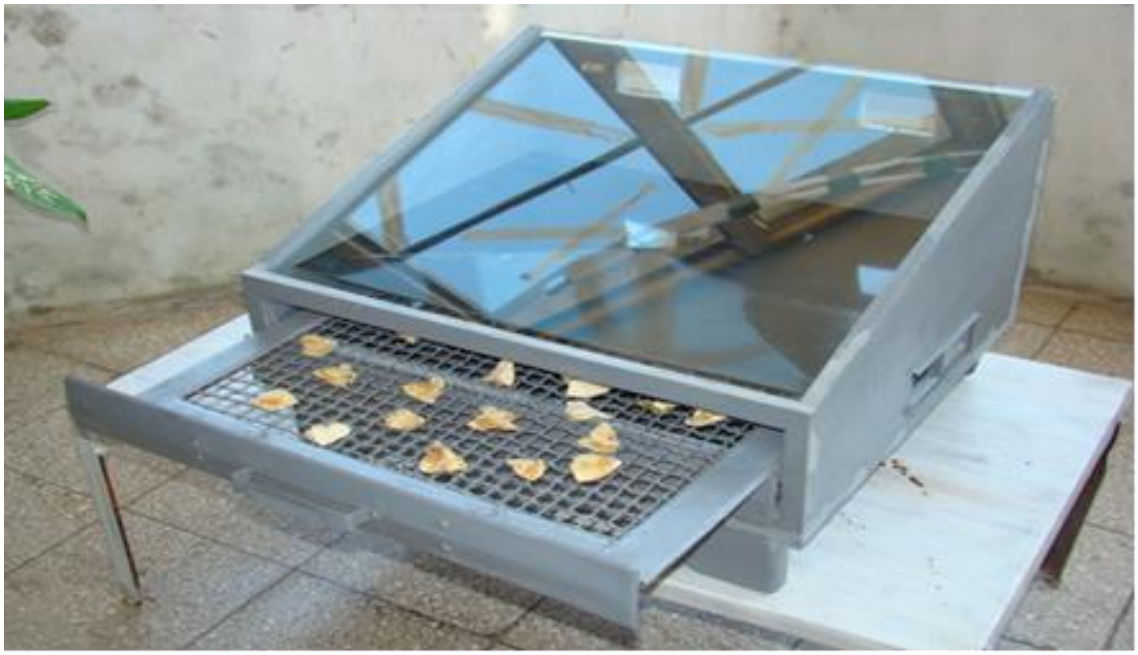


**Figura 10: Pequeño secador solar tipo gabinete de 0.8 m$^{2.}$**

Estos secadores, sin embargo, no han alcanzado una divulgación notable, no son conocidos entre la población potencial consumidora de la tecnología y tampoco han demostrado su efectividad en regímenes de explotación continua. Tales limitaciones constituyen un freno a su uso extendido.

Para comprender las potencialidades tecnológicas de las diferentes instalaciones de secado solar experimentadas en Cuba (Bergues et al, 2010,2011.2013) se presentan los principales indicadores de su eficacia en la tabla 1.

**Tabla 1: Parámetros y resultados fundamentales alcanzados en el secado de productos.**

| Producto | Hi (%) | Hf (%) | Temp. (°C) | τ (Días) | Carga | Equipo | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Saccharina Rústica | 60 | 13 | 50 - 60 | 2 - 3 | 50/70 kg | SSR | Proteína 13 %, secado Uniforme |
| Chlorella | 80 | 5 - 8 | 50 - 60 | 2 | 1 l/bandja | SSM-36 SSM-4 | Líquida, espesor 1 cm, proteína 37 % |
| Palmiche verde | 44 | 20 | 45 - 50 | 2 | 3.2 kg/m$^2$ | SSM-36 SSM-4 | Espesor 2 – 3 cm, proteína 5-7 % |
| Maíz con tusa | 21 | 10 | 50 | 2 | 22 kg/m$^2$ | SSM-36 SSM-4 | Espesor 20 cm |
| Yuca | 67 | 9 | 55 | 2 | 4.5 kg/m$^2$ | SSD SSM-4 | Rayada, proteína 2.8 % |
| Boniato | 63 | 8 | 55 | 1.5 | 4.5 kg/m$^2$ | SSD SSM-4 | Rodajas, proteína 3.7 % |
| Plátano | 64 | 13 | 55 - 60 | 1.5 | 4.5 kg/m$^2$ | SSD SSM-4 | Rodajas, proteína 2.8 % |
| Cerámica | 17 | 5 | 45-50 | 0.3 | 21 kg | SSC | Cerámica blanca |
| Papa | 68 | 12 | 55 | 2 | 4.5 kg/m$^2$ | SSD | Rodajas, proteína 2 % |

Hi---------- Humedad inicial del producto, Hf---------- Humedad final del producto, Temp.------- Temperatura alcanzada., τ---------- Tiempo del proceso en días., S.S.M.------- Secador Solar Multipropósito., S.S.R.-------- Secador Solar Rotatorio, S.S.D.-------- Secador Solar Doméstico, S.S.C.....Secador Solar de Cerámica

Los números junto a las siglas SSM representan el área del secador en m². Como se observa en la tabla se lograron los valores de humedad final deseados para la conservación por tiempo prolongado. Además, la calidad de los productos secados fue buena, lográndose en todos los casos altos niveles de proteínas.

Los valores promedios de la temperatura del aire alcanzados en el interior de estos secadores, oscilan entre 50°C y 60°C, los cuales fueron registrados en días claros, de baja nubosidad y con un promedio de radiación solar incidente cercano al promedio anual diario (apéndice C Tesis maestría Alonso 2022) de (5.2 kWh/m²).

## 4. CONCLUSIONES.

**El secado solar forma parte de la cultura agropecuaria de producción a pequeña escala de algunos granos, tabacos, y otros. En estos casos se practica el secado solar natural, pasivo y directo de la energía del sol. Este uso, extendido por su generalidad, no satisface requerimientos de tiempo de secado, control sobre el proceso y calidad del producto seco. Responde a una transmisión cultural espontánea, generacional que, muchas veces no implica el reconocimiento de que se constituye una práctica energético-solar.**

**En la producción agropecuaria a gran escala en granjas y empresas estatales, el peso relativo de la energía solar en el secado de productos es muy bajo. La tecnología de secado solar no ha demostrado su competencia frente a las tecnologías basadas en energías convencionales. Existe, además, respecto al secado solar una fuerte inercia social debido a factores de cultura profesional.**

**La tecnología del secado solar más difundida en Cuba es la del secador solar multipropósito. Poco se ha trabajado en el desarrollo de otras variantes tecnológicas que utilicen materiales más baratos, accesibles y duraderos o que faciliten las tareas de construcción, montaje y mantenimiento de los secadores. Las escasas variantes alternativas desarrolladas por especialistas cubanos han sido poco difundidas y aún no demuestran su competitividad técnica en un régimen intensivo de explotación. Ha estado dirigido a la conservación de algunas viandas (plátano, fundamentalmente), la preparación de materias primas para piensos y el secado de plantas medicinales y madera.**

## 5. REFERENCIAS

1. Abdala Rodriguez, JL. y Menéndez Milanés, FI. (1993). Prototipo experimental de Secador Solar de Cerámica. Tecnología Química. No 2, 1993.
2. Abdala Rodriguez, JL. et al. (1996). Secado solar de café. Informe del Proyecto de investigación. Del programa nacional “Desarrollo Sostenible de la montaña”. Santiago de Cuba, 1996.
3. Abdala Rodriguez. JL., Fonseca Fonseca, S., Pantoja Enriques, J., Torres Ten, A. (2003). Secado de café pergamino en secadores solares multipropósito y de tambor rotatorio. Tecnología Química, Vol. XXIV, N° 1, ISSN 0253-9276, 2003.
4. Bergues Ricardo, CC, et al. (1992) Secador solar doméstico con materiales de la construcción. Tecnología química, Volumen (3), 1992.
5. Bergues Ricardo, CC., Griñán Villafañe, PA., Abdala Rodriguez. JL, Fonseca Fonseca. S., Torres Ten, A., (2010). Concepción y pruebas de un secador solar de plantas medicinales con cubierta de polietileno. Una experiencia cubana. Tecnología Química. Volumen (30) , núm. 3. 2010.
6. Bergues Ricardo, CC., Griñán Villafañe, PA., Torres Ten, A., Fonseca Fonseca, S. (2011). Secadores solares para la agricultura urbana. CIER 2011 VII Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética, ISBN: 978-959-261-350-8, 2011. Cuba.

7. Bergues Ricardo, CC., Griñán Villafañe, PA., Abdala Rodríguez, JL., Fonseca Fonseca, S., Torres Ten, A. ¨Energía Solar y Agricultura en Cuba. Concepción y pruebas de un secador de plantas medicinales con cubierta de polietileno¨. Revista Electrónica ¨DELOS: Desarrollo Local Sostenible¨. (ISSN: 1988-5245), Indexada en Ideas-Re-PEc, E-REVISTAS de CSIC, LATINDEX. 2011.
8. Bergues Ricardo, CC., Griñan Villafañe. PA., Torres Ten, A. (2013). Libro. Sauna solar: Una solución energética y ecológica para la comunidad. Algunas experiencias en Cuba. eae - Editorial Académica Española. Heinrich-Böcking-Str. 6-8 D - 66121 Saarbrücken. Alemania. 2013.
9. Bergues R. CC.; Díaz L. JR., Torres T. A. (2013) ¨Correlaciones de parámetros medios de proceso para el secado de productos agropecuarios en cama fina en secadores solares directos¨. TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXXIII, No. 3, septiembre-diciembre. 2013.
10. Bérriz Pérez, L. y Deás, D. (1990). Secador solar de madera. Habana, 1990.
11. Bérriz Pérez, L. et al. (1991). Secador solar multipropósito. Habana, 1991.
12. Bérriz Pérez, L. et al. (1994). Secado solar de plantas medicinales. La Habana, 1994.
13. Carnero Fonseca, R., Berriz Pérez, L., Duharte Rodriguez, G., Torres Ten, A. (1992). Secador solar de saccharina rústica. Prototípo experimental. Tecnología química 3, 1992.
14. Carnero Fonseca, R., Duharte Rodriguez, G., Torres Ten, A., Berriz Pérez, L. (1994). Caracterización térmica del prototipo experimental de secador solar de saccharina. Revista Solar de México. Publicación de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). Número 27. México, 1994.
15. Carnero Fonseca, R., Ibañes Duharte, G., Torres Ten, A. (1994). Secador Solar Rotatorio. Revista Solar de México. Número 29, 1994.
16. Croy R. and Peusen, FR. (1994). Experience with solar systems for heating swimning pods in Germany. Solar Energy. 53 (1). pp 47-52. 1994.
17. Dave J. (2021). Informe anual sobre datos de electricidad de cada país del mundo con el fin de ofrecer la primera visión precisa respecto a la transición energética mundial en el año 2020. Revisado https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-translation-spanish.pdf
18. Duffie, JA. and Beckman, WA. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition. Mc Graw-Hill. Inc. New York.
19. Entrevista. Patricia. Representante MYPIME Deshidratados Habana https://blog.fonoma.com/deshidratados-habana-4d49b240d5fa, Revisado 6 de marzo de 2022.
20. Enciclopedia medioambiental. (2021). El sol, Fuente de energía. Revisado, https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_sol_fuente_basica_de_energia.asp. 2022.
21. Esteban Biescas, S. y Blanco Cano, L. (2015). Actuaciones de un colector solar de aire para el secado de productos agrícolas en países en vía de desarrollo. Trabajo de fin de grado en ingeniería en tecnologías industriales. Leganés, Madrid. 2015.
22. Fernández, M. (2019). Limitaciones y barreras en la introducción de las energías renovables en procesos de energizacion rural. Memorias del V simposium de energía solar. Asociación peruana de energía solar. Cajamarca. Perú. 25-34.
23. Ferro Fernandez, VR. et al. (1997) Sobre la cultura energético solar de la población cubana. Reporte interno del CIES.
24. Ferro Fernandez, VR., Fonseca Fonseca, S., Abdala Rodriguez, JL., Torres Ten. A., Pantoja Enrique. J., Bergues Ricardo, CC., Griñán Villafañe, PA. e Ibáñez Duharte, G. (1999). Análisis de opciones para el secado solar de café. Parte 1. Aspectos cinéticos. Tecnología Química, Volumen 19 (3). Cuba.
25. Ferro Fernandez, VR., Torres Ten, A., Fonseca Fonseca, S., Abdala Rodriguez, JL., Pantoja Enrique. J., Bergues Ricardo, CC., Griñán Villafañe, PA. e Ibáñez Duharte, G. (2000). Análisis de opciones para el secado solar de café. Parte 2. Aspectos energéticos y de Rendimiento. Tecnología Química. Volumen 20 (1). Cuba.
26. Fonseca Fonseca, S., Abdala Rodríguez, JL., Ferro Fernández, VR., Pantoja Enríquez, J., Torres Ten, A. (2003). Estudio comparativo del Secador solar de café en plazoletas tradicionales y ennegrecidas. Tecnología Química. Volumen 23 (3) # 3, Cuba. 2003.

27. Fonseca Fonseca, S., Andión Torres, R., Espinosa Borges, R., Torres Ten, A., Pacheco B. O., Senón Cobian, F., Sánchez Hechavarria, J., Fabré Mceo, S., Arias Duran, V. y Acosta Vargas, Z. (2013). Construcción y evaluación sin carga de un prototipo de secador solar para anamú. XII Conferencia Mundial de Energía Eólica y Exposición de Energía renovable. WWEC2013. La Habana. ISBN 978-3-940683-07-6.
28. Fonseca Fonseca, S., Andión Torres, R., Espinosa Borges, R., Torres Ten, A., Arzuaga Machado, Y., Fuentes L. O. (2017). Procedimiento de secado solar del tilo. IX Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética.CIER2017. ISBN 978-959-7113-52-2. Habana.
29. Fonseca Fonseca, S., Andión Torres, R., Espinosa Borges, R., Torres Ten, A., Fuentes L. O. (2018). Procedimiento de secado del Té de riñón en un secador solar. CUBAINDUSTRIA2018. La Habana.
30. Fonseca Fonseca, S., Adión Torres, R., Torres Ten, A., Senón Cobian, F., Sánchez Hechavarria, J. (2019). Diseño y construcción de un secador solar de anamú. Tecnología Química. 39(1), 148-159. Recuperado en 29 de diciembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000100148&lng=es&tlng=es.
31. Menéndez MF. (1997). La radiación solar y su termoconversión con carácter extensivo. [Tesis de doctorado, Universidad de Oriente. No publicada] .
32. Pozo, N. y Huepp, G. (1989) Estufa solar para usos en pequeña escala. Reporte Interno del CIES, 1989.
33. Saravia, L. R. and Quiroga M. (1995). La energía solar en diapositivas, el secado solar de productos agrícolas. Diapositivas y textos explicativos recopilados por el CYTED, 1995.
34. Torres Ten, A., Ramirez Matos, A., Leal, A. (1995). Secado de Microalgas. Reporte interno, CIES. 1995.
35. Torres Ten et al. (1996). Secado de plantas medicinales. Reporte interno, CIES. 1996.
36. Torres Ten, A., et al. (1997). Conservación de productos con mínimo costo ambiental, generalización de una tecnología limpia. Evento internacional. I encuentro Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos 1997.
37. Torres Ten, A. y Ferro Fernandez, VR. (2000). Situación del secado solar en Cuba. A la luz de criterios integrales para su uso extendido. IX congreso Ibérico de energía solar. Córdoba. España. 2000.
38. Torres T. A., Fonseca, F.S., Addala R., JL., Pantoja E., JE. (2003). Análisis térmico del secador solar de tambor rotatorio para granos. XVII Memorias ANES. México. SSDA 11-01. 2003.
39. Torres Ten, A., Fonseca Fonseca,S., Andión Torres, R., Perdomo Miranda, E.(2005). Análisis térmico de un secador solar multipropósito. Parte1. Coeficientes de transferencia de calor y pérdida global de energía. CIEMA, 2005. ISBN 959-207-096-2.
40. Torres Ten, A., Fonseca Fonseca, S., Ricardo Bergues, CC., Ferro Fernandez, VR., Martinez Rodriguez, A., Iglesias Diaz, R., Andión Torres, R., Perdomo Miranda, E., Griñán Villafañe, PA., Espinosa Borgues, R. (2012). Libro virtual "Conceptos para el uso extendido del secado solar en la conservación de productos". Registro 1446-2012. CENDA. 2012.
41. Torres Ten, A., Fonseca Fonseca, S., Andión Torres, R. y Fabré Maceo, S. (2013). Comportamiento térmico de un secador solar multipropósito con paneles aislantes autoportables. I Parte. Tecnología química. 33(2), 170-180. Recuperado en 29 de diciembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200006&lng=es&tlng=es.
42. Torres Ten, A. (2022) Criterios para el uso extendido del secado solar para la conservación de Alimentos. Tesis de maestría, publicada en 2022.UO.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# NORMA EMPRESARIAL: DIMENSIONADO Y MONTAJE DE SISTEMAS DE AGUA CALIENTE SANITARIA SOLAR

**Alonso Torres Ten [1], Yanet María Herrero Gallego[2], David Cambara González[3], Elisa Hernández Silva [4]**

Centro de Investigación de Energía Solar, Carretera de Siboney km 5 ½ micro 3. Reparto Abel Santamaría Cuadrado

e-mail: alonso.torres@uo.edu.cu[1], ymhg@cies.cu[3], david@cies.cu[3], ehernandez@cies.cu[4]

**RESUMEN**

La utilización de Sistemas solares en el calentamiento de agua para uso sanitario en régimen termosifónico en Cuba, no siempre es satisfactorio. En la actualidad, son muchas las quejas de usuarios que utilizan instalaciones solares para agua caliente sanitaria sobre el funcionamiento inadecuado de la misma, ya sea porque esta no genera el impacto energético esperado o que el agua no alcanza la temperatura de diseño del mismo. Para contribuir al mejoramiento de la calidad del diseño y montaje de los sistemas de agua caliente con energía solar en régimen termosifónico en Cuba, se propone: Desarrollar una propuesta de Norma Institucional para el diseño y montaje de sistemas de agua caliente sanitaria con energía solar en régimen termosifónico. Esta Norma Empresarial ha sido elaborada sobre la base de la Norma Cubana: 15-68 de 1988 la cual data de mucho tiempo y no abarca el desarrollo de las tecnologías actuales en nuestro país. Su contenido tiene un mayor alcance debido a que la norma vigente solo contempla el montaje de un solo tipo de calentador solar en régimen termosifónico, a diferencia esta Norma Empresarial, brinda especificaciones generales y técnicas para el dimensionado y montaje de cualquier tipo de calentador solar en régimen termosifónico.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas solares, Agua caliente sanitaria, régimen termosifónico, calentador solar, Norma Empresarial.

# BUSINESS STANDARD: SIZING AND INSTALLATION OF SOLAR HOT WATER SYSTEMS

**ABSTRACT**

The use of solar systems for heating hot water for sanitary use in a thermosiphonic regime in Cuba is not always satisfactory. Currently, there are many complaints from users who use solar installations for hot water about the inadequate operation of the same, either because it does not generate the expected energy impact or because the water does not reach the design temperature. In order to contribute to the improvement of the quality of the design and assembly of solar-powered hot water systems in a thermosiphonic regime in Cuba, it is proposed: To develop a proposal for an Institutional Standard for the design and assembly of solar-powered hot water systems in a thermosiphonic regime. This Business Standard has been developed on the basis of the Cuban Standard: 15-68 of 1988, which is very old and does not cover the development of current technologies in our country. Its content has a broader scope because the current standard only contemplates the assembly of a single type of solar heater in thermosiphonic mode, unlike this Business Standard, which provides general and technical specifications for the sizing and assembly of any type of solar heater in thermosiphonic mode.

KEY WORDS: Solar systems, Domestic hot water, thermosiphonic mode, solar heater, Business Standard.

## 1. INTRODUCCIÓN

Además del Centro de Investigaciones de la Energía Solar existen otras empresas que también se dedican al diseño y montaje de sistemas solares térmicos (ALASTOR, COPEXTEL, CUBAENERGIA, CETER, CUBASOLAR, ECOSOLSOLAR, entre otras.); apoyándose en procedimientos propios y orientaciones de referentes internacionales. Pese a esto, hay que destacar que, en determinados aspectos, no existe un nivel tecnológico suficientemente consolidado y es necesario ser especialmente precavidos en la implantación de la tecnología, así como la necesidad de mejorar la formación de los técnicos implicados.

Por otro lado, es necesario difundir el estado del arte y el nivel de conocimiento actual y, además, analizar y perfilar las posibles discrepancias tecnológicas que puedan existir entre los distintos profesionales del sector.

El problema manifiesto es la mala calidad en el diseño y montaje de los sistemas solares para agua caliente sanitaria, que afecta el rendimiento y la eficacia de los mismos.

Para esto, como punto de partida se propone la elaboración de una norma institucional, aplicable a las condiciones de Cuba, se sustenta en más de tres décadas de experiencia del Centro de Investigaciones de la Energía Solar en el diseño y montaje de Sistemas solares de agua caliente sanitaria en régimen termosifónico y establece los elementos técnicos para garantizar un óptimo desempeño de los mismos. Está destinada a convertirse en una guía para los técnicos y especialistas que dimensionan y montan sistemas de agua caliente sanitaria en los servicios científico técnicos que desarrolla el Centro de Investigaciones y de esta forma permitirá reducir los errores de diseño y montaje de Sistemas Solares de agua caliente sanitaria mejorando la eficiencia y durabilidad de las instalaciones con el consecuente ahorro energético.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Basados en:

La norma que existe para el diseño y montaje de sistemas de agua caliente sanitaria con energía solar en Cuba en régimen termosifónico Norma Cubana: 15-68:1988 Sistemas Solares para el calentamiento del agua empleando la circulación termosifónica. Requisitos de proyecto y montaje.

El procedimiento operativo “Diseño y montaje de Sistemas de Agua Caliente Sanitaria con energía solar en régimen termosifónico”, desarrollado como resultado en primera etapa de un proyecto que culminó el año 2020.

Norma Cubana 1:2020 Reglas para la estructura, redacción y edición de las normas cubanas y otros documentos normativos relacionados (1).

Se propone desarrollar una propuesta de norma institucional, para el diseño y montaje de sistemas de agua caliente sanitaria con energía solar en régimen termosifónico que sirva de base para en el futuro actualizar la norma cubana NC 15-68:1988.

Se desarrolló además un taller sobre la norma cubana Norma Cubana 15-68:1988, para conocer sus limitaciones y alcance.

Se desarrolló un taller, sobre los procedimientos "Diseño y montaje de Sistemas de Agua Caliente Sanitaria con energía solar en régimen termosifónico", como resultado de un proyecto que culminó en el año 2020 y que traza las pautas en el tema.

Teniendo en cuenta hasta el presente, la recopilación de una serie de normas y procedimientos internacionales (tabla 1), que fueron objeto de análisis y sirvieron de guía, para complementar la investigación desarrollada y garantizar la fiabilidad del resultado a proponer.

| País | Norma para equipo | Norma para instalación |
|---|---|---|
| Argentina | Norma Nacional: IRAM 210002-1: Energía solar. Colectores solares. Norma Internacional basada: ISO 9806-3:1995 – Test methods for solar collectors. Norma Nacional: IRAM 210004: Energía solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. Norma Nacional: IRAM 210006. Colectores solares. Bases técnicas de compra. Norma Nacional: IRAM 210009. Colectores solares. Método para determinar la resistencia al granizo de las cubiertas. | Norma Nacional: IRAM 210005:1988. Código de práctica para la instalación y funcionamiento de sistemas de calentamiento de agua, que operan con energía solar. Norma Internacional basada: BS 5918:1980 Solar heating systems for domestic hot water – Code of practice for solar heating systems for domestic hot water. |
| Chile | En Chile se utilizan normas internacionales para seguridad y calidad, estas son las siguientes: UNE EN 12.975 para colectores solares térmicos UNE EN 12.976 para sistemas prefabricados UNE EN 12.977 para estanques de acumulación de agua caliente sanitaria | En Chile existe un reglamento de instalación que se establece en el Decreto Supremo 331, adicionalmente existen manuales y fichas técnicas que estableció el ministerio de energía como buenas prácticas para la instalación de sistemas solares térmicos en viviendas. |
| Costa Rica | INTE/ISO 9806-1:2013 INTE/ISO 9806-2:2013 INTE/ISO 9806-3:2013 INTE-ISO 9459-2:2013<br><br>INTE 28-03-03:2013 (basada en EN 12976-2) INTE 28-03-02:2013 (basada en EN 12976-1) INTE 28-03-01:2013 (basada en EN 12975-1)<br><br>INTE/ISO 9488:2014 | Se está trabajando actualmente en el comité INTE 28-03, en la elaboración de una norma para diseño e instalación de colectores y sistemas, basada en normativa Española. |
| Uruguay | UNIT-ISO 9488:1999 ENERGIA SOLAR. VOCABULARIO | Si, las "Especificaciones Técnicas Uruguayas (ETUS)", las cuales establecen la |

| | | |
|---|---|---|
| | UNIT 705:2009 Sistemas solares térmicos y componentes. Colectores Solares (Ref. Internacional: UNE-EN 12975-1:2006)<br>UNIT 1185:2009 Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas prefabricados (Ref. Internacional: UNE-EN 12976-1:2006)<br>UNIT 1195:2012 Sistemas solares térmicos y componentes. Instalaciones a medida (Ref. Internacional: UNE-EN 12977-1:2002 y UNE-EN 12897:2007) | calidad mínima que deben tener las instalaciones y los equipos en los sistemas de Energía Solar Térmica (EST) (Norma Internacional de referencia: Española). Dichas especificaciones fueron aprobadas por la Resolución del MIEM Nº 72/14 de fecha 14/05/2014<br><br>Las mismas se pueden encontrar en la sección Normativa de EST en la web: www.energiasolar.gub.uy |
| USA | ISO 9806 Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods<br>IAPMO/ANSI S1001.1 – Design and Installation of Solar Water Heating Systems<br>IAPMO/ANSI S1001.4 – Energy Production Rating of Solar Heating Collectors<br>Uniform Solar Energy Code – This is a solar construction code that is also an American National Standard. In 2015, it will be expanded and re-named the Uniform Solar Energy and Hydronics Code<br>SRCC Standard 100 – Minimum Standards for Solar Thermal Collectors<br>SRCC Standard 300 – Minimum Standards for Solar Thermal Systems | Sí, algunos estados individuales requieren "licencias de contratistas". Estas licencias no se basan necesariamente en ningún estándar nacional o internacional. Los exámenes de licencia suelen ser desarrollados por comités de examen formados por el estado específicamente para desarrollar un examen basado en las mejores prácticas y el conocimiento de los códigos y estándares de construcción. |
| México | NOM-003-ENER-2011, Eficiencia de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Limites, método de prueba y etiquetado.<br>NMX-ES-004-NORMEX-2010, Energía solar-Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua - Método de prueba. | NOM-027-ENER/SCFI-2018, Rendimiento Térmico, Ahorro De Gas Y Requisitos De Seguridad De Los Calentadores De Agua Solares Y De Los Calentadores De Agua Solares Con Respaldo De Un Calentador De Agua Que Utiliza Como Combustible Gas L.P. O Gas Natural. Especificaciones, Métodos De Prueba Y Etiquetado.<br>NOM-011-SESH-2012, Calentadores de agua de uso doméstico y comercial que utilizan como combustible Gas L.P. o Gas Natural. Requisitos de seguridad, especificaciones, métodos de prueba, marcado e información comercial.<br>NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. |
| España | UNE-EN ISO 22975-3:2015Energía solar. Componentes y materiales del captador. Captadores solares. Parte 3: Durabilidad del absorbedor solar. (ISO | UNE-EN 12977-5:2012<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte |

| | | |
|---|---|---|
| | 22975-3:2014).<br><br>UNE-EN ISO 9806:2014<br><br>Energía solar. Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo. (ISO 9806:2013).<br><br>UNE-EN 12977-2:2012<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.<br><br>UNE-EN 12977-3:2012<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Métodos de ensayo del rendimiento de los acumuladores de agua de calentamiento solar.<br><br>UNE-EN 12977-4:2012<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 4: Métodos de ensayo del rendimiento para las instalaciones solares combinadas.<br><br>UNE-ISO 9459-2:2008<br><br>Calentamiento solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Parte 2: Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares.<br><br>UNE 94003:2007<br><br>Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.<br><br>UNE-EN 12976-2:2006<br><br>Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos | 5: Métodos de ensayo del rendimiento para los sistemas de regulación.<br><br>UNE-EN 12977-1:2012<br><br>Estado: VIGENTE / 2012-11-14<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1: Requisitos generales para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.<br><br>UNE 94041-1:2010<br><br>Sistemas domésticos de apoyo de consumo calorífico nominal inferior o igual a 70 kW y volumen de acumulación inferior o igual a 300 l, utilizados en instalaciones solares térmicas. Parte 1: Sistemas de apoyo que utilizan combustibles líquidos y gaseosos.<br><br>UNE-EN 12975-1:2006+A1:2011<br><br>Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.<br><br>UNE-EN 12976-1:2006<br><br>Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.<br><br>UNE 94002:2005<br><br>Estado: VIGENTE / 2005-06-22<br><br>Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica |

| | | |
|---|---|---|
| | de ensayo.<br><br>UNE-EN ISO 9488:2001<br><br>Energía solar. Vocabulario. (ISO 9488:1999). | |

Tabla1. Normas y procedimientos internacionales para Agua Caliente Sanitaria.

Con estas normas internacionales y los procedimientos desarrollados durante el proyecto precedente, tomando como metodología fundamental las normas ISO, UNE tanto de Europa como nuestra región, se desarrolló la propuesta de norma institucional sobre diseño y montaje de sistemas de ACS en régimen termosifónico.

Se tomó como metodología para escribir la norma:
La Norma Cubana 1.2020. REGLAS PARA LA ESTRUCTURA, REDACCIÓN Y EDICIÓN DE LAS NORMAS CUBANAS Y OTROS DOCUMENTOS NORMATIVOS RELACIONADOS (1): Esta Norma Cubana especifica las reglas para la estructura, redacción y edición de los documentos, destinados a convertirse en Normas Cubanas.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Norma Empresarial ha sido elaborada por el Departamento de Termoconversión en consulta con el Comité de Calidad perteneciente al Centro de Investigaciones de la Energía Solar tomando en consideración todos los elementos aplicables de la Norma Cubana: 15-68 de 1988: ‘’Sistemas Solares para el calentamiento del agua empleando la circulación termosifónica. Requisitos de proyecto y montaje’’ actualizando en su contenido especificaciones generales y técnicas para el dimensionado y montaje de cualquier tipo de calentador solar en régimen termosifónico. Precisa en su Introducción los cambios principales de esta Norma Empresarial con respecto a la Norma Cubana vigente, la cual ha sido técnicamente actualizada. Contiene como parte fundamental las Referencias Normativas lo cual constituyen documentos utilizados en la elaboración de la norma debidamente referenciados en el texto de la misma entre uno de los documentos claves que nos sirvió como guía fue la Norma Cubana 1: 2020. Reglas para la estructura, redacción y edición de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados.

Se destaca el epígrafe de términos y definiciones que le permite al consultor de la norma dirigirse cuando tenga duda en algún término o sencillamente permite al lector conocer los términos y sus definiciones relacionados con el contenido de la norma. Se destacan términos como: **agua caliente sanitaria** (2), **demanda de agua caliente sanitaria** (3), **demanda energética**, **sistema de captación, captador solar térmico**, **régimen termosifónico**, **colector solar**, **área de captación** (4), quedan definidos también **los tipos de colectores solares** para calentamiento de agua, los que se destacan**: colector solar plano**, **colector solar compacto o auto contenido** y **colector solar de tubos al vacío.** Se define también: **cubierta del colector**, **tanque termoacumulador**, **circuito de consumo**, **fracción solar**, **aportación energética**, **radiación global total** y **fluido caloportador.** Además quedan definidos los tipos de interconexiones entre las que se encuentran: **interconexión en serie**, **interconexión en paralelo** e **interconexión en serie paralelo o mixto.**

La Norma ofrece indicaciones técnicas para el **dimensionado de sistemas de agua caliente sanitaria** con energía solar en régimen termosifónico comenzando por el **diseño del sistema**, especificando las **condiciones para su uso** y las **condiciones climáticas y de entorno**.

Para el dimensionado básico de instalaciones solares podrá utilizarse cualquiera de los métodos empleados por proyectistas (5), fabricantes e instaladores. Estos se basarán en mediciones mensuales de demandas energéticas y especificarán, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar.

En cuanto a las **condiciones climáticas** vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, temperatura ambiente, humedad atmosférica, radiación solar y movimiento del aire. Existen también factores indirectos tales como pluviosidad, luz, nubosidad y presión atmosférica y otros parámetros externos como relieve del lugar, vegetación, etc.

Para el uso y conocimiento de algunas de estas variables en la norma se recomienda utilizar las tablas de radiación y temperatura obtenidas de la estación actinométrica, recopilada durante los últimos años en el Centro de Investigaciones de Energía Solar de Santiago de Cuba o utilizar el Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares (5). Utilizar algún software nacional (Prognos, Trendsoft) o internacional (AccuWeather Service, BBC Weather from UK MET Office, Debian Weather Service.NOAA's, National Weather Service.) que ya contienen en su data de almacenamientos estos parámetros definidos para Cuba y el resto el mundo.

También que reflejado en la norma el **problema del sombreado**, haciendo referencia a que el diseño, optimización y predicción de la energía en plantas de colectores solares (tanto fotovoltaicos como térmicos) no sólo se enfrenta a las dificultades de variabilidad del recurso solar, sino que existen diferentes factores que afectan a la operación real de este tipo de sistemas. Entre ellos pueden citarse la deposición de suciedad sobre las superficies colectoras, o el problema del sombreado. Estos factores son responsables de que las predicciones de energía realizadas mediante métodos convencionales resulten optimistas y alejadas del comportamiento real.

Según especifica la norma para el **cálculo de la demanda de agua caliente** (6) de un sistema en particular, se debe de partir de los criterios de consumo diario de Agua caliente sanitaria, hay que tener sumo cuidado, pues el cliente la mayoría de las veces no conoce este dato y el equipo de diseño se auxilia de tablas de consumo ya elaboradas y muchas normadas.

En la Norma también queda normado **el cálculo del número de colectores** que debe tener la instalación solar, este es un proceso largo y complejo, si se emplean métodos de gran precisión que requieren el uso de una computadora. Sin embargo, un cálculo simplificado que se hace en la suposición de tener un tanque de almacenamiento del fluido caliente sin estratificación y perfectamente mezclado (o sea, que la temperatura en cualquier punto de su interior sea la misma en cada momento), permite la determinación del número de colectores, sin la necesidad de la programación del problema.
Queda normado además el **cálculo del número de colectores compactos** que debe tener la instalación solar con sus respectivas ecuaciones bien detalladas para su fácil comprensión. En este cálculo se procede a la determinación aproximada de la cantidad de colectores, en dependencia del diseño y la eficiencia de los mismos, y después, por un proceso iterativo, se comprueba el valor seleccionado.
En la norma se describe de forma detallada la **visita técnica al enclave de la instalación** por parte del personal calificado pues se cometen muchos errores al proyectar sin tener en cuenta las realidades del emplazamiento realizando. Con la visita técnica, el equipo que desarrolla la propuesta de proyecto, tiene los datos preliminares, para concebir el sistema de agua caliente sanitaria con energía solar (6), pudiendo **seleccionar el tipo de colector más conveniente**, en dependencia siempre del uso y se procede a la elaboración de la oferta al cliente. Luego como parte del proceso la norma dice que se debe de realizar una **Simulación de la instalación por medio de las herramientas de cálculo** usando las tecnologías de la información, para ello se debe de tener en cuenta los datos del objeto y las características técnicas de dicho colector y se procede a simular el comportamiento térmico del sistema utilizando para ello el programa de computación **TRNSYS**. (7). El **TRNSYS** es un software de cálculo de lo que se conoce como procesos «transitorios» o cambiantes en los sistemas. Es capaz de evaluar otros tipos de procesos,

entre los cuales tenemos: tráfico de vehículos y ciertos de carácter biológico. Existen otros programas y métodos de cálculo, aplicado por distintos ingenieros y técnicos, todos válidos, con sus ventajas y desventajas, pero lo más importante, es la pericia del equipo de trabajo.

Con lo anteriormente expuesto se procede a normar el **montaje de sistemas de agua caliente sanitaria** con energía solar en régimen termosifónico y cada una de las **etapas del montaje**:

**Etapa 1 Inventario del material para el montaje**
**Etapa 2 Proyecto ejecutivo**
**Etapa 3 Preparación del lugar para el montaje**
**Etapa 4 Colocación y anclaje de las bases o soportes**
**Etapa 5 Colocación del tanque termo**
**Etapa 6 Colocación de los colectores**
**Etapa 7 Colocación de accesorios y tuberías de conexión**
**Etapa 8 Montaje de aislamiento**
**Etapa 9 Puesta en funcionamiento**

Luego de concluido el montaje se hacen **recomendaciones técnicas de operación y mantenimiento** y se detalla de manera muy importante en el último epígrafe de la norma la **seguridad del personal instalador**. Se explican algunas de las consideraciones generales de seguridad, pero también se tiene presente aquellos requisitos adicionales que pueden ser exigidos en el lugar específico de la instalación, como faenas mineras donde los estándares de seguridad son más estrictos: el personal debe contar con cascos, zapatos, lentes y guantes de seguridad, aquel personal que trabaje en las tareas de soldadura, deberá contar con: cascos, guantes y pecheras específicos para este tipo de tarea. En caso de ser necesario, como en lugares de baja ventilación, se recomienda el uso de una máscara de respiración, en la mayoría de los casos estos sistemas se instalan sobre los techos de las edificaciones a alturas elevadas. En estos casos, se recomienda el uso de arnés y cabo de vida en los trabajos en altura y el uso de cintas o barandas para el trabajo sobre techos planos. Se debe implementar rodapiés en trabajos en altura para evitar la caída de herramientas. Además, cuando el acceso al techo se haga por medio de escaleras externas a la edificación, se recomienda el uso de escaleras tipo jaula.

## 4. CONCLUSIONES

Es una necesidad contar con una Norma Institucional para sustentar los conocimientos en el tema que sirvan de apoyo a la docencia de pre y posgrado, además es un aporte necesario al conocimiento científico y contribuirá a reducir los errores de diseño y montaje de los sistemas de Agua Caliente Sanitaria con energía solar en Cuba mejorando la eficiencia y durabilidad de las instalaciones con el consecuente ahorro de combustibles fósiles, al favorecer el uso adecuado de las fuentes de energía renovables.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Investigaciones de la Energía Solar y a la Universidad de Oriente por haber apoyado con personal calificado en el tema.

## REFERENCIAS

1.NC 1: 2020. Reglas para la estructura, redacción y edición de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados. 2020.

2. **CONDE, M y RAMOS, Z.** *Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico.* Universidad Nacional Antónom de México . 2014.
3. **MARTINEZ E, J. C., FRANCO N, P., & RODRIGO S, A.** Manual Técnico de Energía Solar Térmica: Aspectos Técnicos y Normativos. Facultad de Ingeniería. Uruguay: Universidad de la República. 2013.
4. **ABAL, Gonzalo y DURAÑONA, Valeria.** Manual técnico de energía solar térmica. 2013. Vol. Volumen I: Fundamentos.
5. http://meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_solar.cfm. [En línea] [Citado el: 1 de octubre de 2023.]
6. **CRUZ , Pedro Manuel RODRIGO** .*Modelo de cálculo de irradiancia considerando sombreado para campos de colectores solares***.** No. 130, México : Tecnológico Nacional de México en Celaya, noviembre de 2018, Pistas Educativas.
7. **VASQUEZ M., A. y DEL VALLE C, B.** *Manual de instalaciones para el calentamiento de agua con el aprovechamiento de la energía solar.* Ciudad de México : s.n., 2018.

**Sobre los autores**

Ing. Alonso Torres Ten. Ing. Mecánico, investigador Auxiliar del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar. Master en eficiencia Energética, profesor auxiliar. Más de tres décadas en el desarrollo de investigaciones y aplicaciones en sistemas de ACS, secado solar, herramientas para dimensionado y simulación de sistemas solares, educación energético solar y desarrollo sostenible.

Ing. Yanet María Herrero Gallego. Especialista superior del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

Ing. Eliza Hernández Silva. Aspirante a investigador del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

Ing. David Cambara González. Especialista superior del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# HCACS_CIES, ÚTIL PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS SOLARES DE AGUA CALIENTE SANITARIA

**David Cambara González[1], Alonso Torres Ten [2], Elisa Hernández Silva [3], Susana Fonseca Fonseca[4]**

Centro de Investigación de Energía Solar, Carretera de Siboney km 5 ½ micro 3. Reparto Abel Santamaría Cuadrado

e-mail: david@cies.cu[1], alonso.torres@uo.edu.cu[2], ehernandez@cies.cu[3]

**RESUMEN**

En la sociedad actual se vuelve cada vez más necesario el cambio a energías renovables en los diversos ámbitos de la vida, siendo las instalaciones solares una de las soluciones más empleadas. El procedimiento utilizado comúnmente, para el dimensionado del campo de captadores de una instalación solar térmica, resulta complejo por su naturaleza, por ende, el uso de un software específico facilita enormemente esta tarea. La herramienta de cálculo HC_CIES desarrollada por el departamento de Conversión Térmica de la Radiación Solar del Centro de Investigaciones de Energía Solar permite el dimensionado de las instalaciones de agua caliente sanitaria de forma rápida y con un conocimiento mínimo del tema por parte del usuario, así como realizar una evaluación previa de su factibilidad económica. Con el objetivo de evaluar dicha herramienta se realizó una comparación de sus resultados con los obtenidos por la experiencia práctica del departamento, así como programas profesionales de simulación (ACSOL 5.0 y TRNSYS 14), evidenciándose la confiabilidad de los resultados.

**PALABRAS CLAVES:** herramienta de cálculo, agua caliente sanitaria, energía solar.

**HC_CIES, USEFUL TOOL FOR CALCULATION OF SOLAR HOT WATER SYSTEMS**

**ABSTRACT**

In today's society, the change to renewable energies in various areas of life is becoming increasingly necessary, with solar installations being one of the most used solutions. The commonly used procedure for sizing the collector field of a solar thermal installation is complex by its nature, therefore, the use of specific software greatly facilitates this task. The HC_CIES calculation tool developed by the Thermal Conversion of Solar Radiation department of the Solar Energy Research Center allows the sizing of domestic hot water installations quickly and with minimal knowledge of the subject on the part of the user, as well as carry out a prior evaluation of its economic feasibility. With the objective of evaluating said tool, a comparison of its results was made with those obtained from the practical experience of the department, as well as professional simulation programs (ACSOL 5.0 and TRNSYS 14), evidencing the reliability of the results.

**KEY WORDS:** calculation tool, domestic hot water, solar energy.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual se vuelve cada vez más necesario el cambio a energías renovables en los diversos ámbitos de la vida, siendo las instalaciones solares una de las soluciones más empleadas.

El procedimiento utilizado comúnmente, para el dimensionado del campo de captadores de una instalación solar térmica, resulta complejo por su naturaleza, por ende, el uso de un software específico facilita enormemente esta tarea ya que deben realizarse los cálculos para los 12 meses del año.

El dimensionado de una instalación solar térmica, debe comenzar determinando el número de captadores que son necesarios para garantizar que la instalación proporcione una cobertura solar mínima de las necesidades de energía para calentamiento del agua.

En las instalaciones fotovoltaicas, por ejemplo, se puede aplicar el método del mes peor, sin embargo, en las instalaciones térmicas, se realiza un cálculo anual, lo que implica repetir las mismas operaciones para los 12 meses del año, cambiando evidentemente la temperatura ambiente, la temperatura del agua de red y la energía solar incidente.

Una vez obtenido el número de captadores que debe instalarse, el resto de componentes de la instalación e incluso la elección del diámetro de las tuberías del circuito hidráulico, se efectúa utilizando el valor de la superficie instalada. Por lo tanto, el uso de un software específico resulta muy cómodo y práctico.

La herramienta de cálculo HC_CIES desarrollada por el departamento de Conversión Térmica de la Radiación Solar del Centro de Investigaciones de Energía Solar permite el dimensionado de las instalaciones de agua caliente sanitaria de forma rápida y con un conocimiento mínimo del tema por parte del usuario, así como realizar una evaluación previa de su factibilidad económica.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la factibilidad de la herramienta de cálculo HC_CIES comparándola con software profesionales, así como la experiencia práctica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La herramienta de cálculo HC_CIES partió del uso del entorno de desarrollo integrado (IDE) NetBeans IDE, el cual es libre, de código abierto, multiplataforma y con un número importante de módulos para extenderlo. Este constituye un producto libre y gratuito, sin restricciones de uso [1].

Para programar fue empleado Java, el cual es un lenguaje de programación de propósito general orientado a objetos. Se trata de una tecnología que provee de una máquina virtual que permite ejecutar código compilado, sea cual sea la plataforma que exista por debajo; tanto hardware, como software [2].

En la herramienta informática, el cálculo del dimensionado se sustenta en la metodología de cálculo desarrollada por el Dr.C. Luis Berriz [3], la metodología de f-chart y la experiencia acumulada por más de 30 años de trabajo en el sector, por los especialistas del departamento.

Metodológicamente, el software fue guiado por la metodología ágil de desarrollo de software Programación Extrema (XP), creada por Kent Beck, Ward Cunninghamn y Ron Jeffries a finales de los noventa [4].

**Uso de la herramienta de cálculo**

Al abrir la aplicación el usuario encontrará la interfaz gráfica o pantalla inicial presentada en la figura 1.

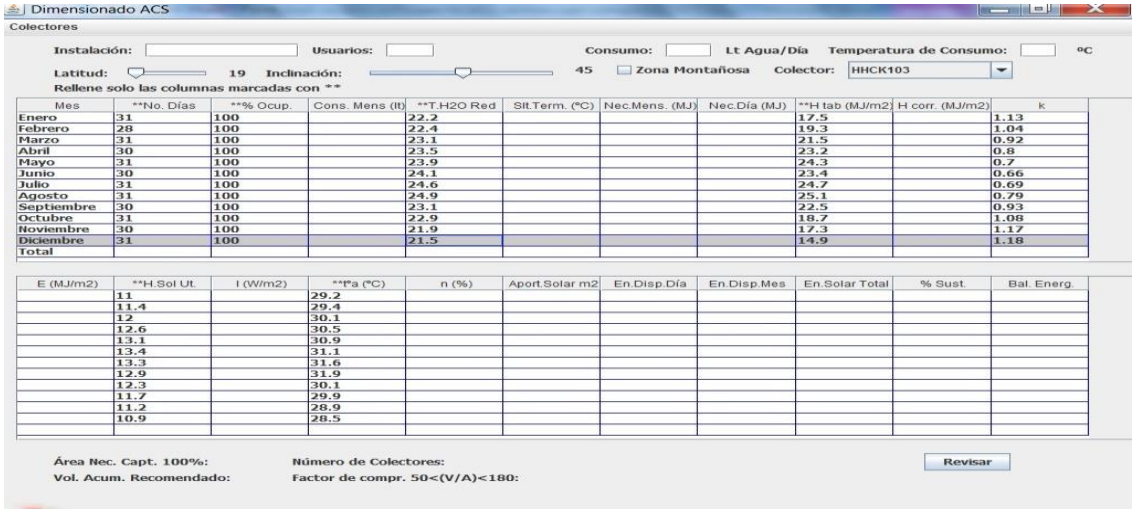



Figura 1: Interfaz gráfica inicial de la herramienta de cálculo HC_CIES.

**Gestión de Colectores**

Al dar click en la opción Colectores, aparecerá la siguiente pantalla, el programa mostrará por defecto los datos del colector que se muestran en la figura 2.

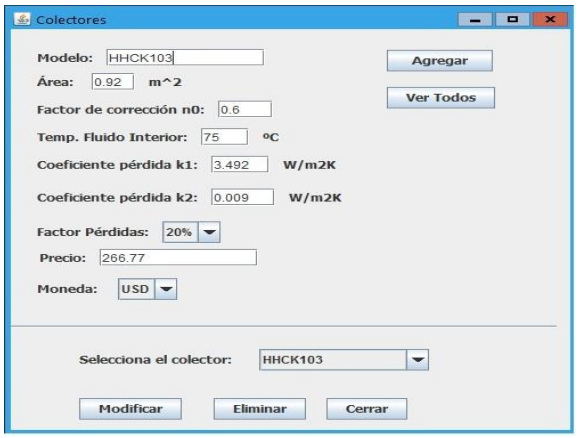



Figura 2: Interfaz gráfica de entrada de colectores a la base de datos del programa.

Seleccionando en la parte inferior de la pantalla, estos cambiarán según sea escogido algún otro colector, o si desea llenar nuevos datos para añadir un nuevo dispositivo.

Para agregar un nuevo colector, se introducirán los datos requeridos en dicha pantalla (Modelo, Área, Factor de corrección n0, Temperatura de fluido interior, Coeficiente de pérdida k1, Coeficiente de pérdida k2, Factor de Pérdidas, Precio, Moneda).

Posteriormente al dar click en el botón Agregar, se añadirá el colector introducido en la Base de Datos. De esta misma forma, pueden ser modificados los datos del colector seleccionado, solo deberá seleccionar el equipo deseado en el campo nombrado “Selecciona el colector”, cambiar los datos en la parte superior y luego dar click en el botón Modificar.

Si desea eliminar algún colector de los existentes en la base de datos deberá seleccionar en la parte inferior de la pantalla en el campo nombrado “Selecciona el colector” el colector que desea eliminar y luego hacer click en el botón Eliminar.

Al dar click en el botón Ver Todos**,** aparecerá la pantalla de la figura 3 con una relación de todos los colectores existentes en la Base de Datos:

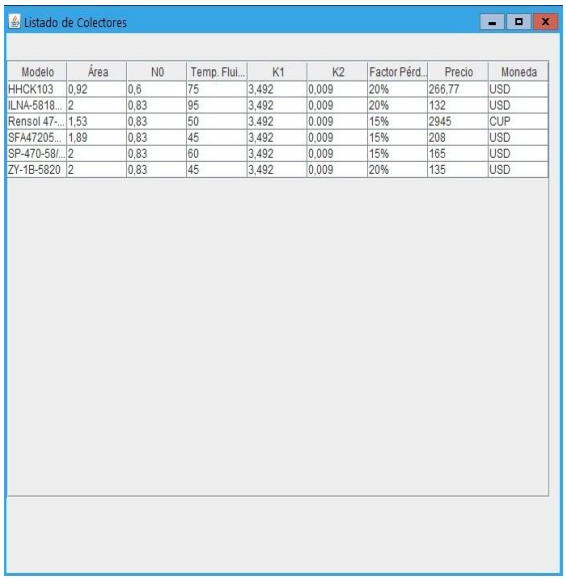



Figura 3: Base de datos de colectores del programa.

**Dimensionado**

Para realizar el dimensionado de un Sistema de Agua Caliente Sanitaria se deberán introducir correctamente los datos requeridos en la pantalla inicial (figura 1).

Instalación: Se refiere al lugar en donde se quiere instalar el Sistema de Agua Caliente Sanitaria a dimensionar (hostal, escuela, hospital, lavandería, etc).

Usuarios: Se refiere a la cantidad (capacidad) total de usuarios de la instalación.

Consumo: Se refiere a la cantidad total (medida en litros) de agua que se consume en la instalación en un día.

Temperatura de Consumo: Se refiere a la temperatura (ºC) a la que se quiere llevar el agua con el Sistema de Agua Caliente Sanitaria.

Latitud: Se refiere a la latitud del lugar donde está ubicada la instalación, se selecciona en un rango desde los 19 a 24 grados por la ubicación geográfica de Cuba.

Inclinación: Se refiere al ángulo de inclinación en el que se colocarán los colectores.

Zona Montañosa: Seleccionar esta opción si la instalación está ubicada en una zona montañosa.

Colector: Seleccionar entre todos los colectores que están en la base de datos cuál se utilizará en el sistema a dimensionar.

Una vez introducidos todos esos datos se procede a llenar la tabla, en la cual solo se insertarán valores en las columnas marcadas con ** (figura 1):

Columnas de la tabla:

**No de días: Cantidad de días del mes en que la instalación funciona.

**% de Ocupación: El porciento en que está cubierto el funcionamiento de la instalación (ejemplo en el caso de un hotel depende de la temporada estará a un 20%, 50%, 70%, 100%).

Consumo Mensual: Cantidad de litros de agua que se consume en la instalación en el mes.

**Temperatura del agua en la red: Temperatura del agua sin calentar.

Salto Térmico: ΔT- Diferencia entre la temperatura de uso, es decir, la temperatura final que queremos en el acumulador, y la del agua de la red.

Necesidad Mensual: Q - Energía necesaria para calentar el agua hasta la temperatura deseada.

Necesidad por Día: Energía necesaria para calentar el agua hasta la temperatura deseada.

** H Tablas: Radiación Solar Global media diaria sobre una superficie horizontal.

H corregida: El valor de H deberá ser corregido si nos encontramos en alguno de los siguientes casos:

- Si la ubicación es en una zona de alta montaña o monte de cierta altitud, donde la atmósfera es limpia.
- Si la ubicación es en una ciudad o en zonas con fuertes índices de polución.
- Es necesario, por último, tener en cuenta posibles obstáculos que puedan interferir en la energía captada por los colectores en el lugar de la instalación, así como nieblas constantes, vientos fríos, lluvias, etc., que pueden reducir también el valor de H. En definitiva, conviene realizar un estudio previo del lugar donde vaya a estar ubicada la instalación para tener en cuenta las posibles pérdidas por orientación, inclinación y sombras.

K: Factor de corrección por inclinación de los colectores el cual va en función de la latitud del lugar, ángulo de inclinación y del período de utilización.

**Número de Horas de Sol Útiles: Este dato es función de la latitud, lo podremos obtener a partir de tablas.

I: Intensidad Radiante: Será el cociente entre la energía solar incidente aprovechable a lo largo del día por $m^2$ y las horas de sol útiles.

tºa: Temperatura ambiente (ºC).

Ƞ: rendimiento instantáneo del colector (Sale de los datos de la curva de eficiencia de cada colector).

Aportación solar: Energía solar aportada por $m^2$ de superficie colectora, o energía útil que realmente del total incidente se va a emplear en calentar el fluido caloportador que circula por el interior del colector.

Energía disponible al día por $m^2$: Rendimiento instantáneo del colector por la energía útil por coeficiente de pérdidas del sistema.

Energía disponible al mes: Rendimiento instantáneo del colector por la energía útil por coeficiente de pérdidas del sistema.

Energía solar total: Energía disponible por superficie total de captación.

% de sustitución: Representa que fracción del consumo energético se satisface mediante energía solar.

Balance energético: Representa la energía auxiliar que hay que aportar en los meses en que la energía solar no es suficiente por sí sola para cubrir el 100% de las necesidades.

Al concluir el llenado de la tabla se deberá hacer click el botón Revisar (figura 1)

Si todos los datos proporcionados son correctos aparecerá el botón Dimensionar

Al hacer click en el botón Dimensionar serán procesados todos los datos introducidos y se obtendrá el comportamiento mensual de las variables anteriores que intervienen en el dimensionado y además en la parte inferior de la pantalla principal se podrá observar el área necesaria de captación para cubrir el 100% de la demanda, la cantidad de colectores necesarios a instalar en el sistema de Agua Caliente Sanitaria, el volumen de acumulación recomendado para su correcto funcionamiento, el factor de comprensión que indicará si el sistema tendrá un buen funcionamiento.

Una vez obtenidos los resultados del dimensionado aparecerá el botón Economía, al hacer click en él se podrá acceder a los cálculos económicos que brinda la aplicación para obtener el Valor Actual Neto (VAN) de la instalación solar dimensionada, así como la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Al hacer click sobre dicho botón aparecerá la pantalla presente en la figura 4.

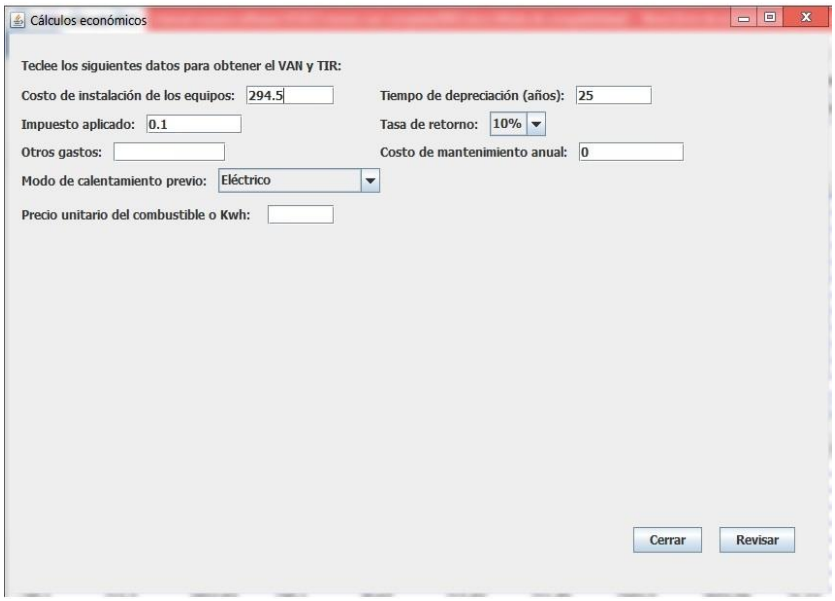



Figura 4: Módulo de cálculos económicos.

Una vez en esta pantalla deberá llenar los datos requeridos para realizar los cálculos y deberá hacer click en el botón Revisar para comprobar que los datos son correctos y que no haya espacios vacíos, una vez que el software haya comprobado que es todo correcto aparecerá el botón Calcular

Al hacer click en el botón Calcular se podrán obtener el VAN y el TIR:

Una vez obtenidos los resultados si desea cerrar la aplicación puede hacer click en el botón Cerrar**,** si por el contrario desea seguir trabajando en la aplicación solo deberá cerrar la ventana en el botón Cerrar de color rojo, de la parte superior de la pantalla.

## 3. RESULTADOS

Para evaluar la confiabilidad de los resultados de un software existen diversos métodos, siendo los más comunes la comparación directa con resultados prácticos y la comparación con los resultados de software similares ya evaluados y reconocidos. Por tratarse de un software para el dimensionado de sistemas de

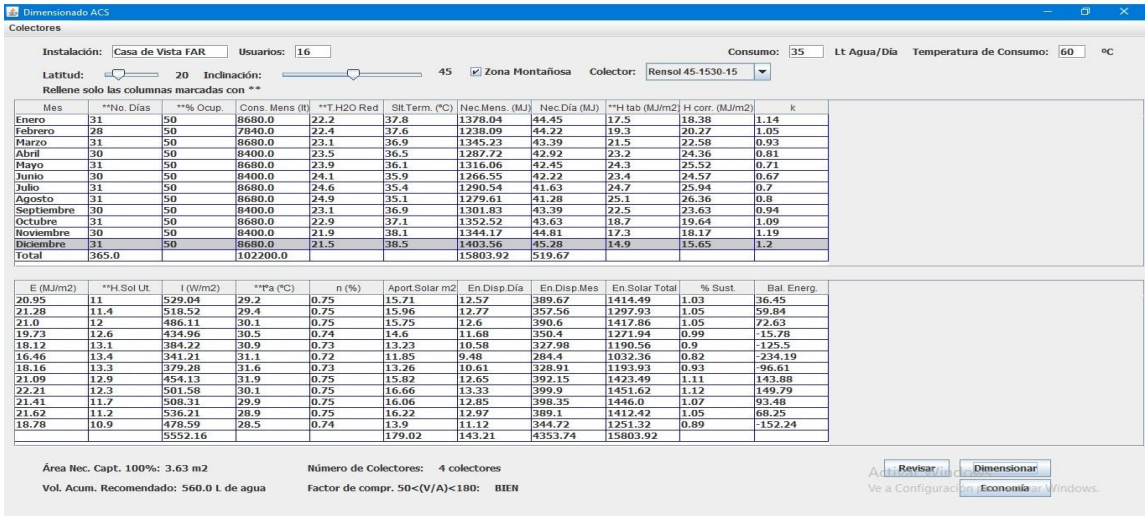
ACS para las condiciones de Cuba, el HC_CIES se convierte en un producto único pues los programas que existen en el mercado profesional son para la simulación de sistemas ya diseñados (TRNSYS, ACSOL, etc…) o dimensionan para condiciones diferentes a las cubanas (ESCOSOL) [5]. Por lo anterior, se arribó a la conclusión que la mejor manera de evaluar los resultados era correr el software con servicios científico técnicos realizados con anterioridad por el departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar del Centro de investigaciones de Energía solar y cuyos dimensionados fueron ya evaluados por la práctica y la simulación en los programas profesionales TRNSYS 14 y ACSOL 5.0 lo cual permite la validación de estos por los métodos antes mencionados.

A continuación, se ejemplifica con el caso SCT Casa de Visita FAR como se desarrolló el proceso.
Datos a introducir al software HC_CIES:

- Latitud: $20^0$, zona montañosa
- Se atienden aproximadamente 480 huéspedes de forma mensual, aunque su tasa de ocupación anual es solo del 50 %.
- Se asume un consumo de agua caliente sanitaria de 35 L/persona a $60^0$C
- Se utilizarán colectores Rensol 45-1530-15

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar los cálculos con los datos mencionados se obtiene que, al igual que en el informe realizado por métodos tradicionales, se requieren 4 colectores para satisfacer el 100% de la demanda como se aprecia en la figura 5.




| Mes | **No. Días | **% Ocup. | Cons. Mens (lt) | **T.H2O Red | Slt.Term. (ºC) | Nec.Mens. (MJ) | Nec.Día (MJ) | **H tab (MJ/m2) | H corr. (MJ/m2) | k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enero | 31 | 50 | 8680.0 | 22.2 | 37.8 | 1378.04 | 44.45 | 17.5 | 18.38 | 1.14 |
| Febrero | 28 | 50 | 7840.0 | 22.4 | 37.6 | 1238.09 | 44.22 | 19.3 | 20.27 | 1.05 |
| Marzo | 31 | 50 | 8680.0 | 23.1 | 36.9 | 1345.23 | 43.39 | 21.5 | 22.58 | 0.93 |
| Abril | 30 | 50 | 8400.0 | 23.5 | 36.5 | 1287.72 | 42.92 | 23.2 | 24.36 | 0.81 |
| Mayo | 31 | 50 | 8680.0 | 23.9 | 36.1 | 1316.06 | 42.45 | 24.3 | 25.52 | 0.71 |
| Junio | 30 | 50 | 8400.0 | 24.1 | 35.9 | 1266.55 | 42.22 | 23.4 | 24.57 | 0.67 |
| Julio | 31 | 50 | 8680.0 | 24.6 | 35.4 | 1290.54 | 41.63 | 24.7 | 25.94 | 0.7 |
| Agosto | 31 | 50 | 8680.0 | 24.9 | 35.1 | 1279.61 | 41.28 | 25.1 | 26.36 | 0.8 |
| Septiembre | 30 | 50 | 8400.0 | 23.1 | 36.9 | 1301.83 | 43.39 | 22.5 | 23.63 | 0.94 |
| Octubre | 31 | 50 | 8680.0 | 22.9 | 37.1 | 1352.52 | 43.63 | 18.7 | 19.64 | 1.09 |
| Noviembre | 30 | 50 | 8400.0 | 21.9 | 38.1 | 1344.17 | 44.81 | 17.3 | 18.17 | 1.19 |
| Diciembre | 31 | 50 | 8680.0 | 21.5 | 38.5 | 1403.56 | 45.28 | 14.9 | 15.65 | 1.2 |
| Total | 365.0 | | 102200.0 | | | 15803.92 | 519.67 | | | |

| E (MJ/m2) | **H.Sol Ut. | I (W/m2) | **Ta (ºC) | n (%) | Aport.Solar m2 | En.Disp.Día | En.Disp.Mes | En.Solar Total | % Sust. | Bal. Energ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.95 | 11 | 529.04 | 29.2 | 0.75 | 15.71 | 12.57 | 389.67 | 1414.49 | 1.03 | 36.45 |
| 21.28 | 11.4 | 518.52 | 29.4 | 0.75 | 15.96 | 12.77 | 357.56 | 1297.93 | 1.05 | 59.84 |
| 21.0 | 12 | 486.11 | 30.1 | 0.75 | 15.75 | 12.6 | 390.6 | 1417.86 | 1.05 | 72.63 |
| 19.73 | 12.6 | 434.96 | 30.5 | 0.74 | 14.6 | 11.68 | 350.4 | 1271.94 | 0.99 | -15.78 |
| 18.12 | 13.1 | 384.22 | 30.9 | 0.73 | 13.23 | 10.58 | 327.98 | 1190.56 | 0.9 | -125.5 |
| 16.46 | 13.4 | 341.21 | 31.1 | 0.72 | 11.85 | 9.48 | 284.4 | 1032.36 | 0.82 | -234.19 |
| 18.16 | 13.3 | 379.28 | 31.6 | 0.73 | 13.26 | 10.61 | 328.91 | 1193.93 | 0.93 | -96.61 |
| 21.09 | 12.9 | 454.13 | 31.9 | 0.75 | 15.82 | 12.65 | 392.15 | 1423.49 | 1.11 | 143.88 |
| 22.21 | 12.3 | 501.58 | 30.1 | 0.75 | 16.66 | 13.33 | 399.9 | 1451.62 | 1.12 | 149.79 |
| 21.41 | 11.7 | 508.31 | 29.9 | 0.75 | 16.06 | 12.85 | 398.35 | 1446.0 | 1.07 | 93.48 |
| 21.62 | 11.2 | 536.21 | 28.9 | 0.75 | 16.22 | 12.97 | 389.1 | 1412.42 | 1.05 | 68.25 |
| 18.78 | 10.9 | 478.59 | 28.5 | 0.74 | 13.9 | 11.12 | 344.72 | 1251.32 | 0.89 | -152.24 |
| | | 5552.16 | | | 179.02 | 143.21 | 4353.74 | 15803.92 | | |

Figura 5. Resultados del dimensionado para el sistema Casa de Visita FAR por software HC_CIES.

Luego se simuló el sistema propuesto en ACSOL 5.0 obteniéndose los datos presentados en la figura 6

| *Magnitud* | *Valor* |
|---|---|
| *Número de colectores* | 4 |
| *Área total de captación (m²)* | 4 |
| *Distancia mínima entre filas de colectores (m)* | 2,58 |
| *Demanda energética anual (MJ)* | 14033,29 |
| *Energía neta entregada por un colector anualmente (MJ)* | 4430,13 |
| *Sustitución energética anualmente (%)* | 126,28 |
| *Tasa de ocupación considerada (%)* | 50 |

Figura 6. Datos de la simulación de sistema con 4 colectores para Casa de Visita FAR por ACSOL 5.0

Al realizar la simulación con TRNSYS 14 se obtienen datos similares pues ambos programas operan por el mismo método de cálculo como se observa en la figura 7.

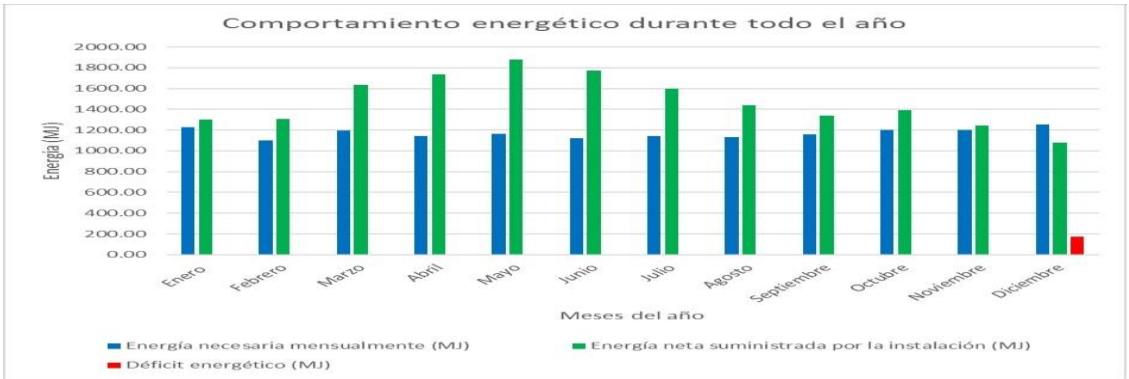



Figura 7. Datos de la simulación de sistema con 4 colectores para Casa de Visita FAR por TRNSYS 14

Con los resultados anteriormente mostrados se verifica la fiabilidad de la herramienta de cálculo HC_CIES pues los resultados obtenidos son comparables a los obtenidos por los software profesionales de simulación y se sustentan por la experiencia práctica.

## 5. CONCLUSIONES

Con este trabajo se pudo demostrar la factibilidad de la herramienta de cálculo HC_CIES pues al compararla con software profesionales, así como la experiencia práctica se evidenció que los resultados obtenidos son confiables.

**RECONOCIMIENTOS**

Es recomendable que los autores agradezcan a los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo. En caso de que sea procedente expresar agradecimientos, se sugiere utilizar un encabezamiento típico como: “Los autores desean agradecer…”

**REFERENCIAS**

1. *Welcome to Apache NetBeans. (s.f.)* [en línea]. [ref. de 11 de marzo de 2022], Disponible en Web: https://netbeans.apache.org/
2. *Principales Características de Java. (s.f.)*, [en línea]. [ref. de 11 de marzo de 2022], Disponible en Web: http://personales.upv.es/rmartin/cursoJava/Java/Introduccion/PrincipalesCaracteristicas.htm
3. BÉRRIZ PÉREZ, L., & ÁLVAREZ GONZÁLEZ, M. *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. La Habana: Cubasolar, 2008.
4. Calvo, D. (s.f.). *Metodología XP Programación Extrema (Metodología ágil)* [en línea]. [ref. de 7 de abril de 2018], Disponible en Web: https://www.diegocalvo.es/metodologia-xp-programacion-extrema-metodologia-agil/
5. Blog SEAS: *5 softwares gratuitos para energía solar térmica. (s.f.)*, [en línea]. [ref. de 11 de marzo de 2022], Disponible en Web: https://www.seas.es/blog/energias_renovables/5-softwares-gratuitos-para-energia-solar-termica/.

**sobre los autores**

Ing. Alonso Torres Ten. Ing. Mecanico, investigador Auxiliar del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar. Master en eficiencia Energética, profesor auxiliar.

Ing. Eliza Hernández Silva. Aspirante a investigador del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

Ing. David Cambara González. Especialista superior del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

Ing. Yanet María Herrero Gallego. Especialista superior del Departamento de Conversión Térmica de la Radiación solar, Centro de investigaciones de Energía solar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR EN LA CTE ANONIO MACEO, A PARTIR DEL EMPLEO DE MAGNETIZADORES

**Josué Imbert González[1] , Melek Campos Sofía[2], Ramón Arias Gilart[2], Mónica Berenguer Ungaro[2], Leonel Domínguez Borrero[3], Geolvis Zamora Martínez[4], Alexis Quintana[4], Jorge Portuondo Pera[4].**

[1]Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas s/n
[2]Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Ave. Las Américas s/n, Sede Universitaria "Julio A. Mella", Santiago de Cuba, [3]Asamblea Municipal del Poder Popular, Ave. Las Américas s/n, ,
[4]Termoeléctrica Antonio Maceo (RENTÉ), Carretera de Mar Verde km 8 ½ sin número. Santiago de Cuba
[1]e-mail: imbert@uo.edu.cu

**RESUMEN**

Por la importancia y la prioridad de la soberanía energética en el país y, teniendo en cuenta la aplicación de la tecnología magnética como vía para contribuir a la eficiencia energética en diferentes procesos industriales. En el trabajo se evalúan los intercambiadores de aceite encargados del enfriamiento de los apoyos de la Turbina de la Unidad 3 de la Central Termoeléctrica Antonio Maceo de Santiago de Cuba. A partir de un conjunto de mediciones desarrolladas en la industria y poniendo en práctica la introducción de los dispositivos que permiten el tratamiento magnético desarrollado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Oriente, se pudo comprobar el incremento de la eficiencia del intercambio de calor por la disminución de la formación de incrustaciones. Siendo esta una de las causas más comunes de las paradas por roturas de esta Central Termoeléctrica.

PALABRAS CLAVES: Intercambiador de calor, Tratamiento magnético, eficiencia energética, incrustaciones, , sistema de enfriamiento.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ

**Josué Imbert González, Rolando Santos Guillén Machado, Beatriz Bu Alba, Elena Gómez Domecq**

Universidad de Oriente, Ave. Las Américas s/n. Santiago de Cuba
[1]e-mail: imbert@uo.edu.cu

**RESUMEN**

La aplicación de la gestión total eficiente de la energía en numerosas industrias empleando indicadores de desempeño ha logrado demostrar la efectividad de estos, como sistemas de monitoreo y control energético. En el presente trabajo se establecieron indicadores de desempeño de energía térmica en una de las industrias torrefactora de café que cubren el mercado nacional. La metodología empleada se basó en el modelo de Gestión Integral de la Energía, aplicando para ello las herramientas de la Norma ISO 50001-2011, actualizada en 2019. Fue desarrollada una revisión energética de las instalaciones para evaluar la correspondencia de los consumos eléctricos con los niveles productivos. En la revisión energética, inicialmente se realizó una inspección previa de todas las áreas para conocer las condiciones técnicas eléctricas, y operativas de su equipamiento tecnológico. Como resultado de la aplicación de la metodología fueron identificadas oportunidades de mejora, que permitan reducir los consumos de energía eléctrica, lo que conllevará a mejorar el índice de consumo eléctrico. Finalmente se realiza una evaluación económica de las propuestas planteadas determinando la magnitud del ahorro potencial de energía térmica y las toneladas de $CO_2$ que son emitidas al medio como impacto negativo al medioambiente.

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética, Gestión Integral de la Energía, Indicador de consumo energético.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# POTENCIAL ENERGÉTICO DE *Chlorella vulgaris y Dunaliella viridis:* EFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO

# ENERGETIC POTENTIAL OF *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella viridis:* MAGNETIC FIELD EFFECT

**Liliana Gomez-Luna, Ramón Arias-Gilart, Yadenis Ortega-Díaz**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba; e-mail: lilianag@uo.edu.cu

**RESUMEN**

Entre las microalgas de mayor importancia por su valor económico y nutricional, destaca *Chlorella vulgaris* Beijerinck, por su amplio espectro de aplicaciones, su calidad proteica y la versatilidad de sus cultivos. Sin embargo, la especie halófila *Dunalliella viridis*, presenta limitadas aplicaciones biotecnológicas, si bien ambas constituyen sistemas biológicos con una alta eficiencia fotosintética y fácil adaptación. En este trabajo se evalúa el efecto de un campo magnético estático no homogéneo de 30 mT aplicado en dosis a repetición, sobre el crecimiento, y potencial bioenergético de células en cultivos unialgales discontinuos asincrónicos de ambas especies en condiciones de fotoautotrofía, con un régimen de luz continua a una densidad de flujo fotónico de 75 µE $m^{-2}s^{-1}$. Se demuestra que el campo magnético estimula el crecimiento en *C. vulgaris*. En *D. viridis* induce un proceso de senescencia temprana, limita el crecimiento celular, estimula la síntesis lipídica y la producción celular de hidrógeno.

**PALABRAS CLAVES:** *Chlorella vulgaris*, Chlorophyceae, campo magnético, *Dunaliella salina*, microalgas.

**ABSTRACT**

Among the most economic and nutritional valuable microalgae, *Chlorella vulgaris* Beijerinck stand out, due to its wide spectrum of applications, its protein quality and culture versatility. Nevertheless, the halophilic microalga *Dunalliella viridis*, has limited applications, even when both are biological systems with high photosynthetic efficiency and easy adaptation. This work evaluates the effect of a non-homogeneous static magnetic field (SMF) of 30 mT (applied in repeated doses) on the growth, and bioenergetic potential of cells of both species stablished in unialgal non synchronic batch cultures, in photoautotrophic conditions, with continuous light and a Photosynthetic photon flux of 75 µE $m^{-2}s^{-1}$.It was demonstrated that the static magnetic field stimulates the growth of *C. vulgaris.* In *D. viridis* it induces a senescent process, limiting the cell growth, and stimulating the lipid synthesis and cellular hydrogen production.

**Keywords:** *Chlorella vulgaris*, Chlorophyceae, *Dunaliella viridis*, magnetic field, microalgae.

## 1. INTRODUCCIÓN

El fomento de nuevas aplicaciones y el uso convencional de aplicaciones existentes confiere una gran importancia al cultivo de microalgas. Sin embargo, para su cultivo a escala comercial aún se requiere un consumo elevado de energía, $CO_2$ y nutrientes inorgánicos, dependiendo de los metabolitos a producir. En general estos son microorganismos muy versátiles, y de gran utilidad para la producción de varios compuestos de interés comercial, ya que no tienen que competir con tierras de cultivo y pueden hacer uso de residuos orgánicos e inorgánicos como fuente de nutrientes; además de sus aplicaciones en la remoción de contaminantes.[1, 2]

En las últimas décadas ha aumentado el interés del cultivo de microalgas destinado a la producción de biocombustibles y sustancias de origen lipídico como el omega 3, así como algunos pigmentos y

vitaminas. [1, 3, 4] La variación de las condiciones de cultivo, tales como pH, intensidad luminosa, el tipo y concentración de nutrientes, temperatura, fotoperíodo, régimen de cosecha de cultivos discontinuos, continuos o semicontinuos, entre otros, ha contribuido a establecer sistemas dirigidos hacia la obtención de biomasa microalgal como fuente para la obtención de valiosos productos para diferentes industrias. [1, 5]

Actualmente se dedican esfuerzos para a abaratar la productividad de los cultivos, desde el establecimiento de inóculos, de cuya calidad depende la del cultivo final, hasta la obtención de metabolitos de interés, existiendo especificidades en el manejo de los cultivos y algunas tecnologías alternativas, como el uso del campo magnético. Son numerosas las experiencias con campos magnéticos y electromagnéticos en microalgas, con el propósito de lograr algún efecto biológico que pueda traducirse en mejoras del manejo de cultivo a escala comercial (tabla 1), convirtiéndose en tema tendencia de las investigaciones en la actualidad. [1]

Los efectos del campo magnético sobre sistemas biológicos pueden clasificarse en no observables, inhibitorios o estimulantes, dependiendo de variables como: la densidad del campo magnético (B), la frecuencia de la corriente eléctrica que lo indujo, en caso de campos electromagnéticos; el tipo de onda, el tiempo y el momento de exposición. En general, varios trabajos explican los beneficios del campo magnético estático (CME) sobre la productividad de metabolitos secundarios, crecimiento y estado de los cultivos de especies de varias especies de microalgas entre las que destacan las de los géneros *Chlorella* y *Dunaliella* [1] . Sin embargo, de todas las especies ha sido Chlorella vulgaris el modelo biológico más estudiado, reportándose en ella efectos positivos sobre parámetros de crecimiento, la actividad de ciertas enzimas, aumento de la peroxidación lipídica, de la concentración pigmentaria, entre otras. [1, 5, 6] *D. viridis* ha destacado en los últimos años por su potencial bioenergético, si bien sus aplicaciones han sido más limitadas [4].

Tabla 1. Resumen del efecto biológico asociado a la exposición de cultivos de *C. vulgaris* y *D. viridis* al campo magnético (CM): condiciones experimentales, intensidad de CM y resultados experimentales claves.

| MICROALGA | ESQUEMA DE APLICACIÓN Y CONDICIONES EXPERIMENTALES | INTENSIDAD DEL CM | EFECTO BIOLÓGICO |
|---|---|---|---|
| *Chlorella vulgaris* [7] | CME<br>10–50 mT, 12 h.<br>10–35 mT,12 h | 10-35 mT | –Estimula el crecimiento y la defensa antioxidante.<br>–Aumentan las tasas de crecimiento y velocidad de crecimiento específica (10-35 mT)<br>–Eleva actividad superóxido dismutasa y peroxidasa (10-35 mT), catalasa (45-50 mT)<br>–Aumento de la peroxidación lipídica. |
| *C. vulgaris* [8] | CME<br>Ci= 3 x $10^5$ cél.$mL^{-1}$<br>Ciclo nictimeral<br>120 µmol photons $m^{-2}$ $s^{-1}$<br>Medio: BG-11<br>2 h diarias por 16 días.<br>Temperatura: 28 ± 1 °C. | 800 G | –Aumento de la velocidad de crecimiento, la actividad enzimática; estumula la proliferación celular y la formación de biomasa<br>–Afecta el crecimiento y la respuesta antioxidante |
| *C. vulgaris* [9] | 1h y permanente al $7^{mo}$ día<br>Ci= 850 x $10^4$ cél.$mL^{-1}$<br>luz continua<br>(110,35 µ$Em^{-2}s^{-2}$)<br>Medio: Controles con Bristol y con residual de soja | 30 mT | –Incremento de la densidad celular.<br>–Aumento de la concentración de pigmentos. |
| *C. vulgaris* [10] | Gradiente de CM (0,12T, 0,18T, 0,24T, 0,30T, 0,36T, 0,42T and 0,48T<br>15, 30, 45 y 60 min. | 240-300 mT | –A 0.24T hay producción de proteínas y oxigeno<br>–Tendencia al incremento de la concentración de proteínas de 0 a 0.18T. Máxima concentración proteica de 0.24 a 0.30T. |
| *C. vulgaris* [11] | A. 1 hora, dosis a repetición cada | 47,23 mT | – Incremento de concentración |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 24h durante 3 días consecutivos, a partir del 2do día de cultivo.<br>B. 1 hora de exposición con dosis a repetición cada 24h durante 3 días consecutivos, a partir del 7mo día.<br>3000 lx, 22 ±2,3 °C,<br>luz continua Daylight<br>pH 7, aireación 0,45 L.min$^{-1}$. | | celular en protocolo B, de las concentraciones de clorofila y carotenos. Estimula la síntesis de clorofila. |
| *D.viridis* [12] | Campo magnético<br>24, 72 h; 7 a 8 días | 60 mT | – Disminución de la infestación del título infeccioso del virus de las algas en el Mar Negro en 1 a 2 órdenes (10 a 100 veces) después de una carga magnética. |

Se ha trabajado fundamentalmente en el rango entre los 10 y 300 mT, aplicando el CME desde 1 min hasta 11 horas, o de forma permanente, con efectos positivos sobre el crecimiento celular y la biosíntesis de biomoléculas; razón por la que ha aumentado el interés por la estimulación bioelectromagnética de cultivos para aplicaciones biotecnológicas y bioenergéticas.[13] Se han usado no solo campos estáticos, sino campos electromagnéticos de baja frecuencia, con respuestas típicas para cada especie, en dependencia del esquema de aplicación utilizado. Esta investigación se enfocó en la evaluación del efecto de un CME no homogéneo de 30 mT sobre el crecimiento, la concentración de clorofila y el potencial energético de dos cepas de microalgas clorofíceas: *D. viridis y C. vulgaris*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Microalgas

Se utilizan las microalgas clorofíceas *Chlorella vulgaris* (código F010102-A) y *Dunaliella viridis* (código M020412-A) (Figura 1), ambas aisladas del medio natural, mantenidas en el cepario del Laboratorio de Ecotoxicología del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), conservándose en condiciones adecuadas, cultivadas en medio Bristol (*C. vulgaris*), y en el medio sugerido por Ben-Amotz y Avron, modificado [5] con 8,7% de salinidad para *D. viridis*. *C. vulgaris* fue aislada a partir de muestras de agua colectadas en un estanque destinado al cultivo de ciprínidos en la estación de alevinaje de Maffo, Contramaestre, Santiago de Cuba y *D. viridis* fue obtenida a partir de muestras de aguas hipersalinas de la costa sudeste de la isla de Cuba, específicamente en la salina de Joa, provincia de Guantánamo.
*C. vulgaris* es un alga verde unicelular de agua dulce; las células se presentan aisladas, aunque eventualmente pueden formar agregados; tiene forma esférica y un tamaño que oscila entre 2 y 6 µm. La especie local en cuestión mide 2,5 µm. Cada célula posee un pirenoide y un cloroplasto parietal único en forma de copa con abertura irregular, que ocupa gran parte del volumen celular. Se reproduce solamente por autósporas. Presentan una pared celular celulósica rígida que dificulta su digestibilidad por animales monogástricos; esta es fina, lisa y está compuesta fundamentalmente por esporopolenina, politerpeno resistente a la degradación. [5] *D. viridis* es un alga verde unicelular, biflagelada, isokonta. Las células, siempre verdes, tienen en condiciones normales forma ovoide, más anchas en la región media (5-7,5 µm), aunque pueden variar con las condiciones de cultivo presentándose más cilíndricas y/o alargadas. El tamaño promedio de las células es 13,5 x 5 µm, siendo visible el pirenoide.

### Condiciones de cultivo

Los experimentos fueron desarrollados en una cámara de cultivo con valores estables de temperatura (20 ±2,3 °C) y humedad relativa (62,5 ±3,1%) en biorreactor de borosilicato con tapa de rosca, adaptado para establecer cultivos aireados. La temperatura fue medida con un termómetro electrónico profesional Quartz de Oregon Scientific. Para mantener iluminados los cultivos en régimen de luz continua, se utilizaron cuatro lámparas fluorescentes Daylight TL-D 36W/ 54-765 de la marca comercial PHILIPS a 75 µE m$^{-2}$s$^{-1}$. Todos los cultivos se realizaron por triplicado, considerando 3 réplicas para cada experimento. En la tabla 2 se presentan características experimentales específicas para cada cepa. La interferencia electromagnética de campos de baja frecuencia (hasta 300 Hz) fue determinada previo establecimiento de los cultivos, ubicando estos donde la exposición fue menor que 0,25 µT [14], para

eliminar interferencias en la instalación experimental al aplicar el campo magnético. Se establecen cultivos unialgales discontinuos asincrónicos (discontinuo) de ambas cepas en condiciones de fotoautotrofía con aireación, sin suministro extra de $CO_2$ y con un régimen de luz continua a una densidad de flujo fotónico (DFF) de 75 µE $m^{-2}s^{-1}$.

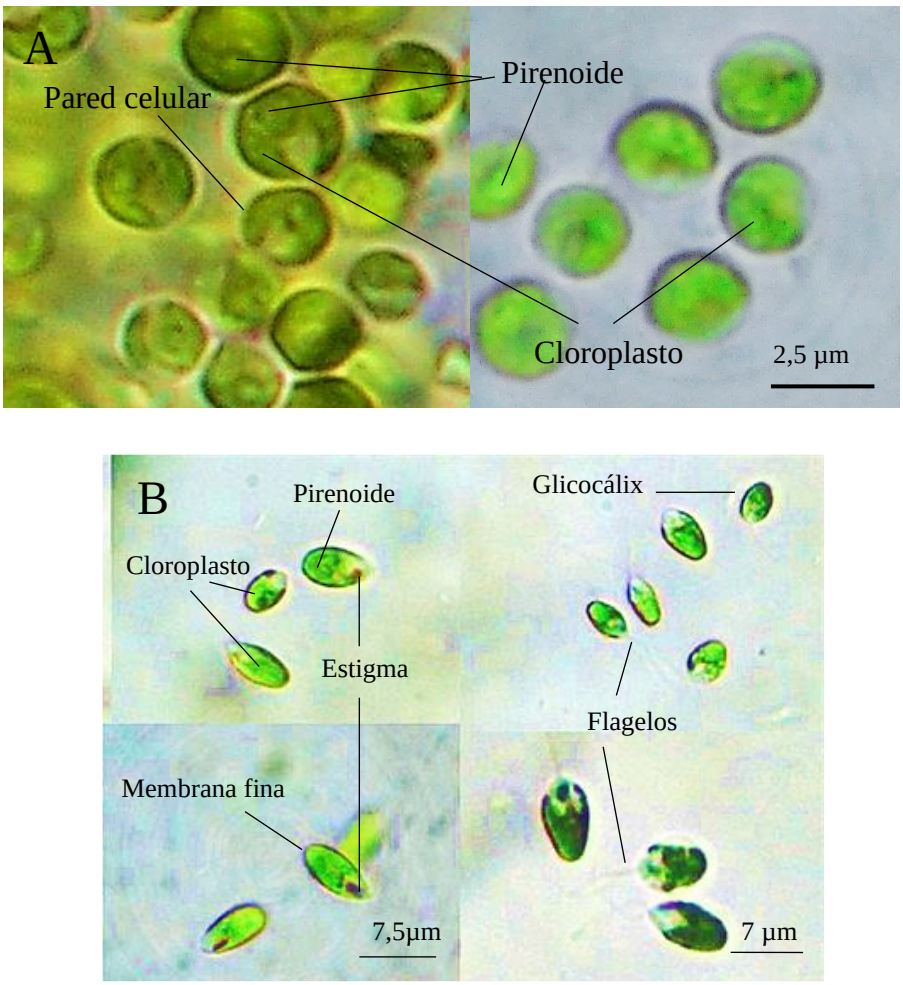



Fig.1 Vistas al microscopio óptico de *C. vulgaris* (A) y *D. viridis* (B). Cepario del Laboratorio de Ecotoxicología del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Microscopio óptico MOTIC: 10x40

**Tabla 2.** Condiciones experimentales específicas para cada microalga.

| Microalgas | Flujo de aireación $L.min^{-1}$ | pH | Medio | Ci $x10^4$ cél.$mL^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| ***C. vulgaris*** | 0,45 | 7 | Bristol | 100 |
| ***D. viridis*** | 0,25 | 8 | BAM | 65 |

Ci: Concentración inicial de células

Esta intensidad fue ajustada diariamente en todos los experimentos, utilizando una estación meteorológica de bolsillo TP LM 8000 4 en 1, con sensor instalado permanentemente con un fotodiodo integrado exclusivo y sensor de luz con filtro para la corrección del color en el rango de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), fotónico (0-20 000 lx, E: ±8).

Los cultivos se mantuvieron aireados con un flujo de aireación constante, mediante burbujeo de aire filtrado con pre-filtros de jeringa de microfibra de vidrio MIDISART 2000 de 0,20 µm. Estas condiciones permitieron un crecimiento uniforme, ya que los cultivos reciben una cantidad mínima de $CO_2$, que es la que está presente en el aire (0,03%), que contribuye con el tamponamiento de estos. [(5)]

**Protocolo de aplicación del CME**

Se desarrollan experimentos en biorreactores de borosilicato con un volumen de 1L. Se valida una estrategia combinada de cultivo en la cual se mantienen condiciones de aireación hasta el 5$^{to}$ día, momento a partir del cual se desarrollan cultivos estáticos y se aplica el CME a repetición durante 3 días consecutivos (dosis a repetición los días 5, 6 y 7 durante 1h). Se incluye un cultivo control, y uno con CME y cisteína (1gL$^{-1}$), utilizada para validar el efecto del CME y explicar posibles mecanismos de acción de este agente físico. La hipótesis que se presenta es que el CME no homogéneo mantiene su efecto sobre las células en cultivo o es anulado por la cisteína, la que funciona como agente reductor, secuestrando el $O_2$ que se produce durante la fotosíntesis. Una vez que se añade la cisteína, se sella el biorreactor con y tapa de rosca y parafilm hasta el final del experimento.
Los cultivos se exponen a un CME no homogéneo (1,8-68,2 mT) a partir de un arreglo de imanes de ferrita, con un valor medio de intensidad de campo en la zona de trabajo de 30 mT. El dispositivo magnético fue caracterizado utilizando un Gaussímetro LakeShore 410-HCAT (42302), provisto del Sensor MST-410 (HA2580), calibrado contra la referencia del Patrón Nacional de Inducción Magnética del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba. La intensidad del campo y la selección de los protocolos se basó en recomendaciones realizadas en trabajos previos (tabla 1). Los nuevos esquemas permitirán perfilar la tecnología para aplicación del CME.

**Determinación de parámetros de crecimiento**

Se realizó un recuento directo de una alícuota del cultivo, utilizando para ello una cámara de recuento hematológico Neubauer mejorada, realizando para cada cultivo tres recuentos [14]. Para ello se utilizó un microscopio óptico MOTIC Professional (Series B, China), expresándose los resultados en cél.mL$^{-1}$. Para la realización de los recuentos se realizaron diluciones en agua destilada, de forma tal que el número de células por campo de recuento en 1 mm$^2$ estuviera entre 10 y 100. Se utiliza una magnificación de 10x40.
A partir de los datos diarios de densidad celular obtenidos se calcularon las tasas máximas de crecimiento (k; doblajes celulares o divisiones por día) ($k_{máx}$), mediante la expresión de la ecuación 1:

$$k = \frac{\log 2\ Nt - \log 2\ No}{Tt - To} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

donde: Nt y No son las densidades celulares (cél.mL$^{-1}$) a los tiempos Tt y To.[14, 1]

**Determinación de la concentración de lípidos e hidrógeno**

La extracción de lípidos se realizó a partir de una muestra integrada de los pellets previa obtención de clorofilas; se incluyen tres réplicas para cada cultivo. Para obtener los pellets se centrifugan 25 mL del cultivo y se sigue el protocolo de extracción de clorofilas. Al pellet, previamente pesado, se le agregan 4 mL de metanol (IMEFA®, calidad reactivo) y se homogeniza con un vortex durante 10 s. A esa suspensión se le añaden 2 mL de cloroformo (UNI CHEM®, calidad reactivo) y 0,4 mL de agua destilada Milli Q, mezclando nuevamente en vortex durante 30 s. Se sonica posteriormente dicha suspensión para lograr la ruptura celular completa durante 1 min (Sonicador SONICS Vibracell VCX 130, EUA) con una sonda de punta de 3 mm de diámetro, utilizando pulsos de 50 y 10 (amplitud 40%). Se añaden posteriormente 2 mL de cloroformo y 1,6 mL de agua, volviendo a mezclar en el vortex durante 30 s.

La muestra se mantiene a temperatura ambiente durante 20 minutos, protegida de la luz. Transcurrido este tiempo se centrifuga a 2000 rpm (800 g) 4°C durante 15 min. Procedimiento que facilita retirar la capa acuosa (superior), lo que se realiza con ayuda de una pipeta Pasteur, manteniéndola en el borde superior de la misma, para evitar contaminarla con la fase apolar. La capa de disolvente apolar (inferior) se transfiere a un tubo transparente limpio, y el pellet restante se somete a una segunda extracción con 4 mL de la mezcla de solventes (metanol: cloroformo, 1: 1, v:v), durante 1 hora a temperatura ambiente, mezclando en vortex durante 30 s [15]. Posteriormente se centrifuga a 2000 rpm (800 g) 4°C durante 10 min y la capa obtenida, una vez retirada la acuosa, se combina con la resultante de la extracción anterior.

La extracción realizada de forma sucesiva en fase apolar permite tener un volumen suficiente; este extracto se homogeniza en un vortex por 5 segundos y luego se centrifugan a 2000 rpm (800 g) 4°C durante 5 min., añadiendo luego en la superficie 0,5 mL de acetona, para eliminar restos de agua. Posteriormente se evapora el solvente por rotaevaporación en un rotaevaporador HEIDOLPH (Alemania) con calentamiento Hel-VAP (EUA) a 40°C a vacío. A partir de este momento se realiza la determinación

gravimétrica del contenido de lípidos. El porcentaje resultante de lípidos extraídos es la suma de las extracciones en serie realizadas.
La concentración de $H_2$ se determinó en todos los experimentos con un analizador de gases TESTO 350 (Alemania) con un 0,1% de error. Los resultados se expresan en pg de $H_2$ por célula.

**Análisis estadísticos**

Se utilizó el estadígrafo *t* para comparar las curvas de crecimiento, teniendo en cuenta las diferentes fases o estadios del cultivo. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple, de dos factores con una sola muestra por grupo, para una $p<0,05$ con el objetivo de comparar diferentes medias. Se realizaron análisis de correlación (Kendall) para evaluar la relación de la viabilidad con la concentración celular ($p<0,05$), utilizando las bondades del SPSS 12.0, el Basic Statistics, el Microsoft Office Excel 2008 y el Origin 8.0 Pro, tanto para los análisis estadísticos como para la elaboración de gráficos y los análisis de cómputo básicos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cinética de los cultivos de ambas especies se presenta en la figura 2. Las ecuaciones que modelan el crecimiento (ecuaciones 2 a la 7) permiten visualizar las diferencias entre estas. En todos los casos se realizan ajustes a ecuaciones polinómicas.

$y = -0,200x^3 + 5,944x^2 + 15,03x + 97,33$; $R^2 = 0,99$; *C. vulgaris*, Control (Ecuación 2)
$y = 0,080x^3 - 4,480x^2 + 84,00x + 4,174$; $R^2 = 0,97$; *C. vulgaris*, CME (Ecuación 3)
$y = 0,145x^3 - 6,438x^2 + 84,53x + 13,82$; $R^2 = 0,92$; *C. vulgaris*, CME con cisteína (Ecuación 4)
$y= -0,0053x^5+0,3973x^4-10,555x^3+112,68x^2-320,84x+298,25$; $R^2 = 0,99$; *D. viridis*, Control (Ecuación 5)
$y= 0,0361x^4-2,2317x^3+38,943x^2-78,917x$; $R^2 = 0,983$; *D. viridis*, CME (Ecuación 6)
$y=-1,9603x^2+71,262x$; $R^2 = 0,916$; *D. viridis*, CME con cisteína (Ecuación 7)

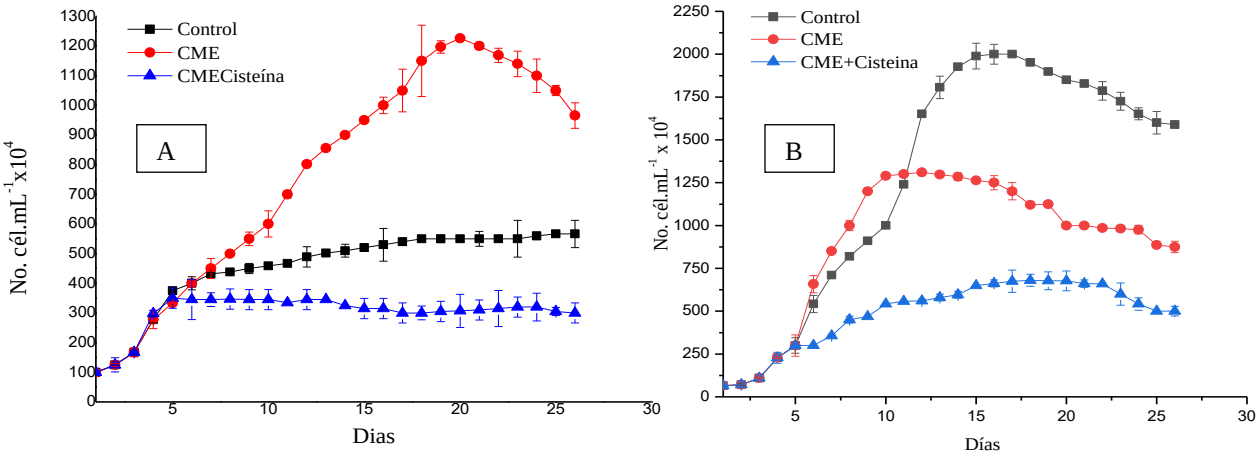



Fig. 2. Comparación de la cinética de los cultivos en *Chlorella vulgaris* (A) y *D. viridis* (B).

El efecto del protocolo aplicado con CME es diferente para cada especie. En los cultivos de *C. vulgaris* la concentración celular máxima de los controles se obtiene el día 25 (567 ±10,00 $x10^4$ cél.$mL^{-1}$). La exposición al CME no homogéneo permite valores máximos significativamente superiores el día 20 de cultivo (1226 ±0,00 $x10^4$ cél.$mL^{-1}$), confirmándose un efecto positivo significativo del CME ($p<0,0,5$), con valores que duplican la concentración celular; resultados similares han sido referidos por otros autores. [7-10, 16] Este efecto se anula en presencia de cisteína. Se explica que la exposición a CME de 10 a 35 mT promueve el crecimiento de *C. vulgaris* y regula su sistema de defensa antioxidante; sin embargo, estas investigaciones no exploran el efecto de dosis a repetición.

Para *D. viridis* se obtiene una cinética que advierte sobre una respuesta más compleja. La concentración celular máxima en los controles se obtiene a los 16 días de cultivo (2 000 ±58,00 $x10^4$ cél.$mL^{-1}$), mientras que con el CME el día 12 (132 ±15,00 $x10^4$ cél.$mL^{-1}$), valor significantemente menor que el obtenido en los controles ($p<0,0,5$). El campo magnético estático no homogéneo (CME) es aplicado los días 5, 6 y 7 excepto en los cultivos control (n=6).

Las células en cultivo presentan una respuesta compleja que apunta a una perturbación del equilibrio metabólico, en la que pudieran estar involucradas varias macromoléculas, y procesos de transporte a través de las membranas, resultando en una sensibilidad al CME que limita su crecimiento a partir del día 12. Un análisis más detallado permite observar que hay un crecimiento acelerado hasta el 8$^{vo}$ día, es decir, 72h después de la última exposición al CME. Hasta este momento el crecimiento se ve favorecido, aspecto descrito en la literatura para otros protocolos de aplicación en clorofíceas [14]. Este aumento de la concentración celular podría estar vinculado con un aumento de la velocidad de consumo de nutrientes, como respuesta primaria a la perturbación producida por el CME. Luego la velocidad de crecimiento decae, lo que caracteriza a una respuesta al estrés. En presencia de cisteína el crecimiento se ve aún más afectado, sugiriendo la presencia de una doble perturbación, o efecto sinérgico negativo. El análisis de las tasas de crecimiento máximas (tabla 3) permite corroborar que el CME favorece en crecimiento de *C. vulgaris*, pero limita el de *D. viridis*.

**Tabla 3.** Variación de las tasas de crecimiento máximo en los diferentes experimentos para *C. vulgaris* y *D. viridis*.

| **Especies** | **Tasa de crecimiento máxima** | | |
|---|---|---|---|
| | **Control** | **CME** | **CME-Cisteína** |
| ***Chlorella vulgaris*** | 4,07± 0,88$^a$ | 6,65±0,00$^b$ | 3,37±1,02$^c$ |
| ***Dunaliella viridis*** | 4,99±0,22$^a$ | 2,79±0,19$^b$ | 2,26±0,17$^b$ |

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

En los cultivos con CME y cisteína se obtuvieron valores significativamente más bajos que en los cultivos respectivos con CME y los controles para *C. vulgaris*, lo que indica que se anula el efecto del CME por una afectación del mecanismo involucrado en esta estimulación, lo que se justifica por el efecto de la cisteína, previamente descrito. En el caso de *D. viridis* la exposición al CME afecta significativamente el crecimiento, corroborándose que no existen diferencias significativas respecto a los cultivos con CME y Cisteína, evidencia de que la diana del CME podría ser la membrana celular.

*D. viridis* es una especie mótil, muy sensible a los cambios de su entorno, lo que pudiera condicionar el efecto negativo del CME no homogéneo de 30 mT respecto al crecimiento. Estudios previos han demostrado su sensibilidad y los cambios que se producen al variar la salinidad, el pH, el $CO_2$ y la iluminación, todo lo que afecta su motilidad y, por tanto, su crecimiento [17]. Además de la fragilidad de la membrana celular hay que considerar la estructura del glicocálix ambas dianas del CME [14, 18]. Por otra parte, no menos importante es su condición de microorganismo halófilo. Ya que las células, para enfrentar el estrés osmótico, deben mantener altas concentraciones intracelulares de sal y sintetizar solutos compatibles osmorreguladores que le permitan balancear su presión osmótica [17, 19]; en el momento que el CME provoca un desbalance de este equilibrio, se afectaría notablemente el crecimiento.

En *D. viridis* el CME induce un proceso de senescencia temprana, respuesta que ha sido explicada para otros microorganismos.[20] Se verifica, además, una disminución progresiva de la motilidad de las células en cultivo, hasta llegar a un 75% en estado de palmella el día 20 de cultivo. La etapa de palmella es crítica para la sobrevivencia de algunas algas unicelulares en ambientes extremos. En esta los flagelos y la mancha ocular dejan de ser visibles, en respuesta a las perturbaciones del medio, aspecto que se ha descrito fundamentalmente como respuesta al estrés salino [21]. En general, los mecanismos de osmorregulación podrían verse afectados por el CME, generándose cambios del gradiente de salinidad en el microentorno celular que faciliten la transición al estado de palmella.

Es importante explicar, además, que *C. vulgaris* y *D. salina* tienen diferencias morfológicas y ultraestructurales que inciden en su sensibilidad al CME, presentando una respuesta totalmente diferente al ser expuestas. *D. viridis* es una especie mótil, halófila, muy sensible a los cambios de su entorno; presenta una fina membrana rodeada de un mucus o glicocálix, al igual que otras especies del género [20]. En cambio, *C. vulgaris* presenta menor tamaño (2,5 µm) y una pared celular celulósica rígida trilaminar, que le confiere resistencia.

En los cultivos con cisteína el crecimiento estuvo muy limitado en ambas especies, destacando en el caso de *C. vulgaris* para la que se anula el efecto positivo del CME sobre el crecimiento. La cisteína tiene propiedades reductoras, los grupos tiol reaccionan formándose enlaces disulfuro, entre moléculas contiguas, liberándose 2 $H_2$ que reaccionan con el oxígeno presente en el medio para formar agua, lo hace que disminuya la concentración de oxígeno. El grupo tiol ayuda a la célula a combatir el estrés oxidativo mediante la captura de las especies reactivas de $O_2$, tales como $O_2$, $O_2^-$ y $H_2O_2$. El ambiente anóxico limita la fotosíntesis oxigénica lo que puede afectar severamente el crecimiento y productividad. Estos resultados sugieren un efecto del CME sobre la fotosíntesis, relacionado con la generación de $O_2$ que se anularía por la presencia de cisteína. En el caso de *D. viridis*, a la sensibilidad del CME se suma el efecto negativo de la cisteína, por lo que el cultivo decae. Los resultados de la variación de la concentración de lípidos se presentan en la figura 3.

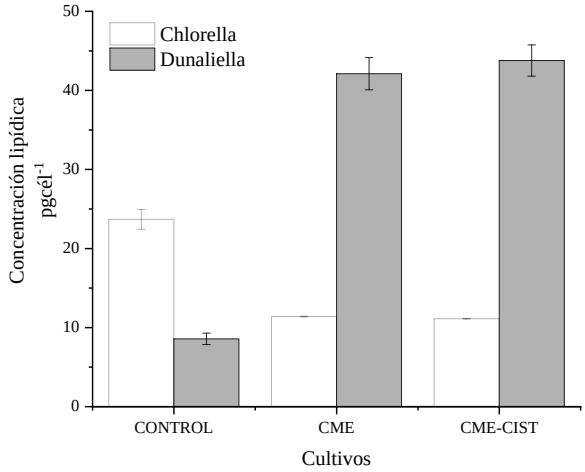



Fig. 3. Variación de la concentración lipídica a los 18 días de cultivo en células de *C. vulgaris* y *D. viridis*, para cultivos controles (n=6), con el protocolo de aplicación del CME no homogéneo de 30 mT (n=6) en dosis a repetición, y con CME y cisteína (n=6).

En los cultivos controles se observa una mayor concentración celular de lípidos en *C. vulgaris*, respecto a *D. viridis* (23,68± 1,25 *vs* 8,57±0,72 pgcél$^{-1}$); sin embargo, con la aplicación del campo magnético hay una clara estimulación de la síntesis lipídica en *D. viridis*, donde se alcanzan valores cinco veces mayores (42,11±2,03 pgcél.), patrón que no varía al incorporar la cisteína.

En *C. vulgaris* se observa un efecto contrario, con una disminución de la concentración lipídica hasta 11,39±0,05 pgcél., patrón que se mantiene en los cultivos con CME y cisteína. El crecimiento de microalgas y la acumulación de lípidos no ocurren en forma paralela en los cultivos, por lo que el hecho de que el CME estimule el crecimiento en *C. vulgaris*, pero inhiba la síntesis de lípidos no implica que la tecnología no pueda ser usada para mejorar índices productivos, en determinada fase del cultivo.

Respecto a la concentración de biohidrógeno obtenida a los 18, 26 días y total (tabla 4), el CME con y sin cisteína estimula discretamente la producción de hidrógeno en *D. viridis;* mientras que en el caso de *C. vulgaris*, no se estimula con el CME, sino con la combinación de CME y cisteína. Para ambas especies hay una producción en los controles de más de 0,20 fgcél$^{-1}$ sin que existan diferencias significativas.

Al aplicar el CME disminuye la concentración de hidrógeno en *C. vulgaris* y aumenta para *D. viridis*; sin embargo, la presencia de cisteína no afecta significativamente la producción de hidrógeno en *D. viridis* y aumenta significativamente para *C. vulgaris*.

Se valida el protocolo de aplicación de un campo magnético estático de 30 mT, en dosis a repetición, para dos especies de microalgas clorofíceas (*C. vulgaris* y *D. viridis*). Para *C. vulgaris* se obtienen concentraciones de hidrógeno 2 veces superior al control y 4 veces mayor que un cultivo establecido con CME, lo que sugiere un mecanismo de acción que involucra en CME con la producción fotosintética de $O_2$. Se confirma además, que la fotosíntesis oxigénica y la producción anaerobia de $H_2$ pueden conciliarse hasta 18 días (432 h) mediante la captura del $O_2$ con cisteína, lo que supera experiencias anteriores.[22]

**Tabla 4.** Variación de la producción de $H_2$ expresada en *f*gcél$^{-1}$ en los diferentes experimentos realizados con *C. vulgaris* y *D. viridis*, en cultivos de 1L.

| **Días** | **Concentración de $H_2$ (*f*gcél$^{-1}$)** | | |
|---|---|---|---|
| ***C. vulgaris*** | **Control** | **CME** | **CME+Cisteína** |
| **18** | 0,1381±0,0016 | 0,0583±0,0025 | 0,4370±0,0010 |
| **26** | 0,1582±0,0022 | 0,0822±0,0028 | 0,1952±0,0011 |
| **Total** | **0,2963±0,0022a** | **0,1405±0,0029b** | **0,6322±0,0010c** |
| ***D. viridis*** | **Control** | **CME** | **CME+Cisteína** |
| **18** | 0,1103±0,0012 | 0,1032±0,0021 | 0,1181±0,0035 |
| **26** | 0,0942±0,0020 | 0,1885±0,0010 | 0,1811±0,0011 |
| **Total** | **0,2045±0,0019$^a$** | **0,2917±0,0021$^b$** | **0,2992±0,0038$^b$** |

Letras diferentes representan diferencias significativas (p<0,05).

Respecto a la producción de $H_2$, en presencia de cisteína se han obtenido concentraciones hasta 4 veces mayor que bajo el protocolo de privación azufre, demostrándose que la fotosíntesis oxigénica y la producción anaerobia de $H_2$ pueden ser conciliadas por más de 40 h mediante la captura del $O_2$ con cisteína, constituyendo esta una nueva alternativa en la producción de $H_2$ con microalgas mediante el uso de secuestradores de $O_2$ químicos y/o biológicos. (22)

En 2016 Márquez demostró que, en medios autótrofos y heterótrofos con privación de azufre, 5 especies de microalgas pueden producir $H_2$ (3 especies de *Chlamydomonas; Scenedesmus obliquous* y *C. vulgaris*); sin embargo, en *C. vulgaris* en medio heterótrofo la producción de $H_2$ se vio limitada. Utilizando varios agentes reductores, se demostró que la cisteína fue el único compuesto que no inhibió el crecimiento de las clorofíceas, e incluso lo estimuló, y fue posible mantener niveles menores a 125 pmol y 3,73 pmol de $O_2$ fotosintético durante 192 h para microalgas clorofíceas, respectivamente. Sin embargo, en la presente investigación se aplica de conjunto con el CME.(22)

Las algas clorofíceas unicelulares son productoras de hidrógeno, lo que fue descubierto por Gaffron en 1939, presentando como ventaja sobre otros sistemas biológicos que las hidrogenasas presentes son mayormente Fe-hidrogenasas (23); sin embargo, cada especie tiene un potencial de fotoproducción de hidrógeno determinado. Las algas verdes en condiciones anaeróbicas pueden usar el $H_2$ como donor de electrones en el proceso de fijación de $CO_2$, tanto en condiciones de luz, como de oscuridad; observaciones que han sido corroboradas para *Chlorella fusca.* (24)

En esta investigación el potencial de producción de hidrógeno es similar, pero añadir la cisteína en combinación con el CME marca la diferencia, duplicándose para *C. vulgaris*, mientras que para *D. viridis* no hay efectos significativos. En la biofotólisis directa, la producción de hidrógeno depende de la tolerancia de la hidrogenasa al oxígeno ya que se generan los dos gases de forma simultánea. Este proceso no es sostenible en el tiempo ya que el oxígeno inactivaría a la hidrogenasa, lo que constituye el fundamento de los mejores resultados en cuanto a evolución de $H_2$ encontrado en los cultivos con cisteína, la que al secuestrar el $O_2$ impide la inactivación de dichas enzimas, por lo que los resultados se deben en todo caso a la cisteína y no al CME.

Si bien los resultados no muestran altos valores de concentración $H_2$, esta investigación constituye una aproximación en la búsqueda de especies promisorias y condiciones favorables para dicho fin. El CME de 30 mT aplicado en dosis a repetición favorece el crecimiento, lo que hace a esta tecnología relevante para la producción a gran escala y para el diseño de nuevas estrategias de cultivo, considerando que la producción de lípidos o hidrógeno y el crecimiento, son procesos que se manejan en los cultivos a gran escala en momentos diferentes. Haber encontrado una forma de conciliar ambos procesos por largo periodo hace a esta estrategia de gran interés para la ciencia y las aplicaciones biotecnológicas del CME y de *C. vulgaris*. Considérese solamente, que dado el potencial reconocido de *C. vulgaris* para la biorremediación, pudiera conciliarse un proceso de depuración de residuales con la producción de hidrógeno; por muy bajo que sea su nivel, constituiría un beneficio agregado a un proceso de gran impacto ambiental.

La influencia de los campos magnéticos estáticos (CME) en los sistemas biológicos ha sido un tema de considerable interés científico. Estos campos, a diferencia de los campos variables en el tiempo (electromagnéticos), no están asociados con la corriente eléctrica inducida, excepto durante la activación y desactivación, o cuando hay movimiento dentro del campo. Para explicar los mecanismos que sustentan

el efecto biológico de estos campos, es útil clasificarlos en: débiles (<1 mT), moderados (1 mT a 1 T), fuertes (1 T a 5 T), y ultra fuertes (> 5 T). [25]

En las clorofíceas hay evidencias del efecto del CME. En *Dunaliella* existen reportes del efecto del CME a intensidades moderadas [12], sobre la estimulación del crecimiento, el aumento de la eficiencia fotosintética y de la síntesis proteica a escala de laboratorio en volúmenes ≤500 mL, con protocolos de aplicación diferentes; sin embargo, existe poca información sobre *D. viridis*. En el caso de *C. vulgaris* se ha trabajado mucho más, explicándose el efecto positivo de CME moderados (10-300 mT) sobre el crecimiento y la síntesis de clorofila (tabla 1). En esta investigación se trabaja con dos cepas locales, aisladas del medio natural y conservadas por más de dos años en una colección biológica. Se establecen volúmenes de cultivo de 1L y un protocolo de aplicación del CME que implica dosis a repetición, por lo que hay elementos distintivos que deben ser considerados al realizar cualquier comparación con resultados previos.

## 4. CONCLUSIONES

Las dos especies de clorofíceas incluidas en este ensayo: *C. vulgaris* y *D. viridis*, presentan respuestas diferentes al exponerse a un CME no homogéneo a 30 mT en dosis a repetición durante la fase exponencial temprana (FET). El CME estimula el crecimiento en *C. vulgaris*; sin embargo, en *D. viridis* induce un proceso de senescencia temprana, limita el crecimiento y estimula la síntesis lipídica y la producción celular de hidrógeno. La mayor sensibilidad de *D. viridis* está condicionada por sus características morfológicas y ultraestructurales. Estos hallazgos abren un nuevo campo de aplicaciones biotecnológicas para *D. viridis*, considerando su potencial bioenergético, la que además ofrece como ventaja su presencia, disponibilidad y tolerancia a los ambientes salinos. Se demuestra, además, que el CME constituye una tecnología efectiva en diferentes procesos y etapas de cultivo, con beneficios específicos para cada especie de microalga. Los experimentos realizados con cisteína sugieren que el mecanismo de acción del CME podría estar relacionado con la fotoevolución de oxígeno, proceso clave para el crecimiento de los microorganismos fotosintetizadores. En estas condiciones, conciliar por más de 90 h la fotosíntesis con la producción de $H_2$, constituye un aspecto relevante, considerando su importancia para la valorización de estas especies de microalgas clorofíceas.

## 5. REFERENCIAS

1 GOMEZ-LUNA, L., L. TORMOS-CEDEÑO AND Y. ORTEGA-DIAZ. Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Revista Tecnología Química*, 2022, 42(1), 70-93. http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n1/2224-6185-rtq-42-01-70.pdf

2 AHMAD, M. T., M. SHARIFF, F. MD. YUSOFF, Y. M. GOH, et al. Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(1), 328-346. https://doi.org/10.1111/raq.12320

3 LUNA, J. J. R. Producción de biodiesel en México: Materias primas promisorias y sus rendimientos. *Naturaleza y Tecnología*, 2022, 9(5), 22-42. http://www.naturalezaytecnologia.ugto.mx/index.php/nyt/article/view/465

4 KANG, N. K., K. BAEK, H. G. KOH, C. A. ATKINSON, et al. Microalgal metabolic engineering strategies for the production of fuels and chemicals. Bioresource Technology, 2022, 345, 126529. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126529

5 GOMEZ, L. Cultivo y aplicación de las microalgas *Dunaliella salina* y *Chlorella vulgaris* en Cuba. Tesis de Doctorado Universidad de La Coruña, 1997. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5592/GomezLuna_LilianaMaria_TD_1997.pdf

6 WANG, H.-Y., X.-B. ZENG AND S.-Y. GUO. Effects of magnetic treatment on ultrastructure of *Chlorella vulgaris*. Acta Laser Biology Sinica, 2007, (4), n. pag. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bem.20360

7 WANG, H. Y., X. B. ZENG, S. &. GUO AND Z. T. LI. Effects of magnetic field on the antioxidant defense system of recirculation-cultured *Chlorella vulgaris*. *Bioelectromagnetic*s, 2008, 29, 39-46. doi:10.1002/bem.20360

8 LUO, X., ZHANG, H., LI, Q., & ZHANG, J. (2020). Effects of static magnetic field on *Chlorella vulgaris*: Growth and extracellular polysaccharide (EPS) production. Journal of Applied Phycology, 32, 2819-2828. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02164-7

9 GOMEZ LUNA, L., R. D. RIVERO Y Á. INAUDIS. Cultivo de *Chlorella vulgaris* sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2011, XIII(2), 27-38. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77621587003.

10 YANG, G., ET AL. Effect of magnetic field on protein and oxygen-production of *Chlorella vulgaris*. Mathematical and Physical Fisheries Science, 2011, 9, 116-126. http://jsmpfs.org/9_2011/Yang_2011.pdf

11 SILVEIRA-FONT, Y., L. GÓMEZ-LUNA, M. D. KUFUNDALA-WEMBA, D. SALAZAR-HERNÁNDEZ, et al. Variación de la composición de pigmentos de *Chlorella vulgaris* Beijerinck, con la aplicación del campo magnético estático. *Revista Cubana de Química*, 2018, 30(1), 54-67. http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind05118.pdf

12 STEPANOVA, O. A., P. V. GAISKY & S. A. SHOLAR Influence of a Constant Magnetic Field on the Infectious Titer of Black Sea Algal Viruses. Proc. Nati. Acad. Sci. USA, 2022/04/01 2022, 67(2), 183-187. https://link.springer.com/article/10.1134/S000635092202021X

13 HUNT, R. W., A. ZAVALIN, A. BHATNAGAR, S. CHINNASAMY, et al. Electromagnetic biostimulation of living cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy applications. I*nternational Journal of Molecular Science*, 2009, 10(11), 4719-4722. doi:10.3390/ijms10104515

14 GÓMEZ, L., J. MENÉNDEZ, I. ÁLVAREZ Y I. FLORES Efecto de diferentes protocolos de aplicación de un campo magnético (0.03T) sobre el crecimiento, viabilidad y composición pigmentaria de *Haematococcus pluvialis* Flotow en suficiencia y ausencia de nitrógeno. *Biotecnología Vegetal*, 2009, 9(2), 105-117. https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/viewFile/313/287.

15 RYCKEBOSCH, E., K. MUYLAERT & I. FOUBERT. Optimization of an analytical procedure for extraction of lipids from microalgae. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2012, 89(2), 189-198. DOI 10.1007/s11746-011-1903-z

16 DEAMICI, K. M., ET AL. Static magnetic fields in culture of *Chlorella fusca:* Bioeffects on growth and biomass composition. *Process Biochemistry*, 2016, 51(7), 912-916. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.04.005

17 JIMÉNEZ, C., J. M. CAPASSO, C. L. EDELSTEIN, C. J. RIVARD, et al. Different ways to die: cell death modes of the unicellular chlorophyte Dunaliella viridis exposed to various environmental stresses are mediated by the caspase-like activity DEVDase. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(3), 815-828. https://doi.org/10.1093/jxb/ern330

18 GOMEZ LUNA, L. M., N. STEFFANIE, T. ARTOI, A. BENITEZ AMARO, et al. Cambios fisiológicos, bioquímicos y ultraestructurales inducidos por el campo magnético en *Synechocystis aquatilis*. *Cumbres*, 2016, 2(2), 39-48. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6550721.pdf

19 WANG, D., W. WANG, N. XU & X. SUN. Changes in growth, carbon and nitrogen enzyme activity and mRNA accumulation in the halophilic microalga *Dunaliella viridis* in response to NaCl stress. *Journal of Ocean University of China*, 2016, 15(6), 1094-1100. https://link.springer.com/article/10.1007/s11802-016-2848-5

20 ELAHEE, K. B. & D. POINAPEN. Effects of static magnetic fields on growth of *Paramecium caudatum*. *Bioelectromagnetics*, 2006, 27, 26-34. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bem.20172

21 SIJIA WEI, Y. B., QI ZHAO, SIXUE CHEN, JIAWEI MAO, CHUNXIA SONG, AND Z. X. KAI CHENG, CHUANFANG ZHANG, WEIMIN MA, HANFA ZOU, MINGLIANG YE, & SHAOJUN DAI. Salinity-Induced Palmella Formation Mechanism in Halotolerant Algae *Dunaliella salina* Revealed by Quantitative Proteomics and Phosphoproteomics. Front. Plant Sci., *Sec. Plant Proteomics and Protein Structural Biology*, 2017, 8:810. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00810/full

22 MÁRQUEZ, L. A. Efecto de las condiciones ambientales y adición de consumidores de oxígeno sobre el crecimiento y la producción de hidrógeno en cultivos de clorofíceas. Tesis de Doctorado. Universidad de Baja California, Colección Ciencias de la Vida, 2016. 131 pp. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/94/1/TESIS%20LUIS%20MARQUEZ%2001_nov_2016.pdf

23 WINKLER, M., A. HEMSCHEMEIER, C. GOTOR, A. MELIS, et al. [Fe]-hydrogenases in green algae: photo-fermentation and hydrogen evolution under sulfur deprivation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2002, 27(11-12), 1431-1439. https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00095-2

24 KESSLER, E. Hydrogenase, photoreduction and anaerobic growth of algae. In W.D.P. STEWART ed. *Algal Physiology and Biochemistry* New Jersey, EUA: Blackwel Publishing, 1974, p. 456-473. ISBN: 0-520-02410-9

25 ROSEN, A. D. Mechanism of action of moderate-intensity static magnetic fields on biological systems. Cell *Biochemistry and Biophysics,* 2003, 39(2), 163-173. https://link.springer.com/article/10.1385/CBB:39:2:163.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer al Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, entidad que financió el proyecto en el que este resultado se inserta.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# HIDROMIEL EN COLOMBIA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN PILOTO EN BOYACÁ Y BOLÍVAR

**Brahian Rincón Sánchez[1], Edwin Martínez Arcia[1], Ángel González-Delgado[1], Martha Cuenca Quicazán[1]**

[1]Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena
[1]e-mail: mcuencaq@unicartagena.edu.co

**RESUMEN**

Colombia tiene un gran potencial apícola gracias a su biodiversidad y múltiples pisos térmicos; sin embargo, muchas asociaciones de apicultores han limitado su producción a miel, polen y propóleos. Este estudio buscó diversificar el portafolio de productos apícolas mediante análisis computacionales y estudios de factores energéticos, explorando la producción de hidromiel, un producto tradicional en Europa. Se evaluó la viabilidad de instalar una planta de producción de hidromiel por lotes de 80 litros en El Carmen de Bolívar, Colombia, considerando criterios energéticos. También se realizó un diagnóstico comparativo de la situación apícola en Bolívar frente a Boyacá, utilizando software como *Aspen Plus V.10.0* para simulaciones junto con Microsoft Excel para el análisis de datos. Se obtuvieron datos a través de entrevistas con apicultores de asociaciones en dos regiones del país: Asociación de Apicultores de Boyacá (ASOAPYBOY) y Cooperativa MultiActiva De Apicultores Orgánicos Montes De María, de El Carmen de Bolívar (COOAPOMIEL). Los resultados mostraron que, aunque Bolívar tiene una producción de miel más alta que Boyacá, no se realiza transformación de esta. El análisis ambiental reveló impactos similares entre las plantas de Bolívar y Boyacá. Sin embargo, el análisis energético indicó que la eficiencia exergética de Bolívar es del 68,79%, superior al 49% de Boyacá. Se recomienda realizar el análisis económico para establecer el potencial de una planta de producción de hidromiel para ampliar el portafolio apícola del país.

**PALABRAS CLAVES:** Hidromiel, simulación, exergía

## MEAD IN COLOMBIA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF A PILOT PRODUCTION PLANT IN BOYACÁ AND BOLÍVAR

**ABSTRACT**

Colombia has great beekeeping potential due to its biodiversity and various climatic zones; however, many beekeepers associations have limited their production to honey, pollen, and propolis. This study aimed to diversify the portfolio of beekeeping products through computational analysis and studies of energy factors, exploring the production of mead, a traditional European beverage. The feasibility of installing a mead production plant with batches of 80 liters in El Carmen de Bolívar, Colombia, was evaluated, considering energy criteria. A comparative diagnosis of the beekeeping situation in Bolívar versus Boyacá was also conducted, using software like Aspen Plus V.10.0 for simulations and Microsoft Excel for data analysis. Data were obtained through interviews with beekeepers from associations in two regions of the country: Association of Beekeepers of Boyacá (ASOAPYBOY) and Multi-Active Cooperative of Organic Beekeepers Montes de María, El Carmen de Bolívar (COOAPOMIEL). The results showed that, although Bolívar has a higher honey production than Boyacá, no transformation of honey occurs. The environmental analysis revealed similar impacts between the plants in Bolívar and Boyacá. However, the energy analysis indicated that Bolívar's exergy efficiency is 68.79%, higher than Boyacá's 49%. An economic analysis is recommended to establish the potential of a mead production plant to expand the beekeeping portfolio of the country.

**KEY WORDS:** Mead, simulation, exergy

## 1. INTRODUCCIÓN

La apicultura colombiana se ha venido fortaleciendo considerablemente en los últimos años. Existen diferentes agremiaciones de apicultores en el país, los cuales tienen amplia experiencia en el manejo de las abejas y a la comercialización de los productos primarios como la miel, polen, propóleos y jalea real [1]. Si se llevara cabo la transformación de estos productos primarios, se puede generar un impacto positivo en la cadena productiva, aumentando la variedad de productos en el mercado.

Colombia históricamente no posee una tradición y cultura vinícola reconocida. Sin embargo, en los últimos años se ha venido promoviendo el consumo de vinos con diversos eventos y ferias que tienen como objetivo principal, la difusión de la cultura de este tipo de bebidas en la población nacional (ExpoVinos 2023). Hoy en día, el consumo de vino promedio en Colombia es de 900 ml por persona al año; en el año 2006 era de 300 ml, lo cual demuestra gran acogida y comercialización del producto en general [2]. El hidromiel (en inglés *mead*) es una de las bebidas alcohólicas más antiguas de las que se tiene registro a nivel mundial. Es producida en condiciones anaeróbicas, en las cuales levaduras degradan azúcares provenientes de la miel. Su contenido de alcohol varia de 8 a 18% (v/v) [3]. En Colombia actualmente existen dos plantas piloto para la producción de hidromiel con una capacidad de 80-100 L, ubicadas en Boyacá y Huila, las cuales han representado una alternativa para ampliar los ingresos de las asociaciones de apicultores, diversificando el portafolio de productos ofrecido por las mismas [1].

En este estudio se llevó a cabo un análisis energético de una planta productora de bebidas fermentadas a partir de miel de abejas en el Municipio del Carmen de Bolívar como uno de los cuatro criterios de sostenibilidad (Energético, Ambiental, Técnico y Económico). Para lograr dicho objetivo, llevaron a cabo simulaciones mediante el software especializado *Aspen Plus*® del proceso de producción de hidromiel, teniendo en cuenta aquel que se lleva a cabo en la planta piloto de ASOAPIBOY, ubicada en el Municipio de San Mateo, Boyacá. Posteriormente, se realizó un diagnóstico de los factores técnicos y energéticos de la planta. Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se realizó el escalamiento a la región de Bolívar. Este estudio pretende contribuir a la generación de conocimiento aplicado de la Ingeniería Química a las comunidades del Departamento de Bolívar, implementando herramientas computacionales para la generación de nuevas alternativas de negocio y crecimiento en la región; también permitió la formación de dos ingenieros químicos. A futuro, se espera que pueda transferirse el conocimiento y contribuir a la economía local, pues podría impactar en el crecimiento social y económico de la región caribe colombiana. También fue el punto de partida para involucrar de manera directa a la cooperativa de apicultores de El Carmen de Bolívar, generando diferentes proyectos de investigación financiados actualmente en ejecución. en las que se involucre la academia con los sectores productivos y sociales del país. Los estudios realizados se llevaron a cabo en los laboratorios de Simulación del Programa de Ingeniería Química la Universidad de Cartagena, Campus Piedra de Bolívar.

## 2. METODOLOGÍA

**Diagnóstico de la situación actual de producción y uso de la miel en el Departamento de Bolívar**

Se presentaron siete (7) preguntas a las asociaciones de apicultores con la finalidad de comparar y concluir el estado de crecimiento de la asociación local de apicultores, así como también analizar el alcance e impacto que podría traer esta investigación. A continuación, se presentan las preguntas realizadas:

1. ¿Cuál es el número de asociados de la Cooperativa?
2. ¿Cuál es el Número de colmenas de los asociados?
3. ¿Tipos de productos ofrecen?
4. ¿Cuál fue Producción de miel, propóleos y polen de los años 2017 y 2018?
5. ¿Cuál es el Promedio de cantidad de miel por colmena?
6. ¿Cuál es el Precio de venta de la miel, propóleos y polen de los dos últimos años?
7. Tipos de consumidores (mayorista o minorista).

Posteriormente los datos obtenidos fueron tabulados y se realizó la discusión de los resultados.

**Modelamiento del proceso de producción de bebidas fermentadas a partir de miel de abejas que se lleva a cabo en la planta piloto ubicada en el Municipio de San Mateo, Boyacá.**

Se llevó a cabo la simulación de la planta ubicada en San Mateo, Boyacá; para ello, se recopilaron datos de temperatura, presión de operación, flujos de materias primas, composiciones de las corrientes del proceso y requerimientos energéticos. Posteriormente, se utilizó el software de simulación *Aspen Plus®* para modelar los equipos más importantes del proceso y obtener propiedades fisicoquímicas de cada flujo. Estos datos se adaptaron a las condiciones del Departamento de Bolívar utilizando información proporcionada por COOAPOMIEL. Se siguió una metodología de simulación basada en trabajos previos [4] y se verificaron los resultados con datos reales. Para la simulación, se mantuvo constante la composición de la miel (glucosa y fructosa) y de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), utilizando datos reportados en estudios previos [5]. La fermentación se modeló considerando la transformación de glucosa y fructosa en dióxido de carbono y etanol, con una eficiencia de reactor del 90%, según la literatura científica [6].

**Análisis exergético**

A partir de la segunda ley de la termodinámica, se cuenta con el concepto de la exergía como la cantidad de energía útil que puede extraerse de un sistema, la cual se puede aprovechar para la generación de trabajo. [7]. El análisis exergético tiene ventajas tales como el mejoramiento del impacto en el ambiente de un recurso energético; adicionalmente es útil también para el diseño y análisis de sistemas energéticos, teniendo en cuenta los balances de conservación de materia y energía. Se tuvieron en cuenta para la aplicación del análisis exergético realizado para un balance en estado estable las ecuaciones que se presentan a continuación.

La ecuación (1) presenta la exergía destruida, donde se relaciona la irreversibilidad neta de transferencia de masa, el trabajo y el calor.

$$Ex_{destruida} = Ex_{neta-masa} + Ex_{neta-calor} + Ex_{neta-trabajo} \quad (1)$$

El trabajo del sistema es igual a la exergía de trabajo si el volumen es constante, lo cual se presenta en la ecuación (2).

$$W = Ex_{trabajo} \quad (2)$$

La ecuación (3) presenta el cálculo de la exergía en función del calor, la cual se basa en la eficiencia de Carnot.

$$Ex_{calor} = \sum_i \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q_i \quad (3)$$

La ecuación (4) presenta el balance total de exergía, teniendo en cuenta las corrientes de entrada del proceso y los servicios industriales a la entrada.

$$Ex_{Total-entrada} = \sum Ex_{flujo-entrada} + \sum Ex_{servicios-entrada} \quad (4)$$

La exergía total de salida está asociada con las corrientes de producto principal y las corrientes de los residuos, como se muestra en la Ecuación (5).

$$Ex_{Total-salida} = \sum Ex_{productos-salida} + \sum Ex_{residuos-salida} \quad (5)$$

Las irreversibilidades del proceso se calculan restándole la exergía total de los productos a la entrada total de exergía (Ecuación 6).

$$Ex_{destruída} = \sum Ex_{total-entrada} - \sum Ex_{total-salida} \quad (6)$$

La ecuación (7) presenta la eficiencia exergética de un proceso, la cual se calcula con la irreversibilidad y la exergía total de entrada del sistema.

$$\eta_{exergía} = 1 - \left( \frac{Ex_{destruída}}{\sum Ex_{total-entrada}} \right) \quad (7)$$

Mediante la ecuación (8) se calcula el porcentaje de irreversibilidades totales destruidas del proceso.

$$\%\, Ex_{destruída} = \left( \frac{Ex_{destruída}}{\sum Ex_{total-destruída}} \right) \cdot 100\% \quad (8)$$

## 3. RESULTADOS

**Diagnóstico de la apicultura local**

No existen estudios actualizados del sector apícola en la región de Bolívar. El último reporte fue del año 2016 [8]. Por ello, se realizaron las preguntas mencionadas con anterioridad a los apicultores de las diferentes asociaciones: ASOAPYBOY (Asociación de Apicultores de Boyacá) y a COOAPOMIEL (Cooperativa Multiactiva De Apicultores Orgánicos Montes De María), direccionadas a cuantificar el tamaño productivo del sector. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 1. Comparativo del estado apícola en Boyacá y Bolívar.

| Pregunta | ASOAPIBOY | COOAPOMIEL |
|---|---|---|
| Número de asociados de la Cooperativa | 19 | 40 |
| Número de colmenas de los asociados | 1.485 | 2.000 |
| Tipos de productos | Miel, propóleo, Polen, Hidromiel, Mielato | Miel, propóleo, Cera, |
| Producción de miel, propóleo y polen de los dos últimos años (t/año) | Miel: 3,5<br>Propóleo: 0,3<br>Polen: 12 | Miel: 4,0<br>Propóleo: 0,3<br>Cera: 0,45 |
| Promedio de cantidad de miel por colmena. (kg/colmena) | 17,5 | 20 |
| Precio de venta de la miel, dos últimos años. (**COP**/kg) | 20.000 | 8.000 |
| Tipos de consumidores (mayorista o minorista). | Minoristas | Minoristas |

En Boyacá, el número de apicultores asociados es menos de la mitad que en Bolívar, pero la producción de miel es similar (3,5 toneladas/año frente a 4,0 toneladas/año) debido a que el número de colmenas en COOAPOMIEL es solo un 25% mayor que en ASOAPYBOY. Sin embargo, hay diferencias notables entre las asociaciones, como el precio de venta del kilogramo de miel en Bolívar, que es el 40% del de Boyacá, afectando los costos de producción de productos como el hidromiel. Además, COOAPOMIEL no ofrece productos transformados, mientras que ASOAPYBOY sí, incluyendo hidromiel, que tiene un alto potencial económico [3]. Debido a que la miel se recoge solo 2 o 3 veces al año, es crucial diversificar el portafolio de productos para garantizar ingresos constantes [3]. La producción de bebidas fermentadas como hidromiel y cerveza se presenta como una alternativa prometedora para mejorar los ingresos y las condiciones socioeconómicas de las familias apicultoras. En ASOAPYBOY, se produce

hidromiel de diferentes clases, lo que permite ventas durante todo el año, mejorando así las condiciones socioeconómicas de las familias beneficiadas con la apicultura.

**Modelamiento y análisis exergético del proceso para producción de hidromiel**

En la Figura 1 se presentan los resultados para la simulación del proceso realizada en *Aspen Plus V 10.1*. Se muestra el diagrama de proceso de hidromiel con capacidad de 80 L, ubicada en el municipio de San Mateo, Boyacá. El proceso cuenta con una etapa inicial (marmita) donde se adiciona miel y agua para formar la primera mezcla. En esta etapa se calienta la mezcla hasta los 60°C durante 20 min con el fin de pasteurizar la mezcla. El equipo posee una chaqueta de enfriamiento, la cual adecúa la temperatura del mosto a 17°C; en la simulación, se tomó esta chaqueta como un intercambiador de calor, para luego pasar a la segunda etapa que es la fermentación. En esta etapa, ingresa el mosto (Mezcla 2) y se le adicionan 0,02 g de levadura, obteniendo como resultado la corriente de producto general (Mosto1). Seguido de la etapa de fermentación, se hace circular el (Mosto 1) a un separador donde se retira el dióxido de carbono y, la corriente resultante (Mosto 2) se calienta en una marmita a 55°C y mediante la chaqueta se reduce la temperatura a 17°C. Finalmente se introduce la corriente (Mosto 4) a un filtro donde se realiza el trasiego para retirar los sólidos presentes y se obtiene el producto principal (Hidromiel).

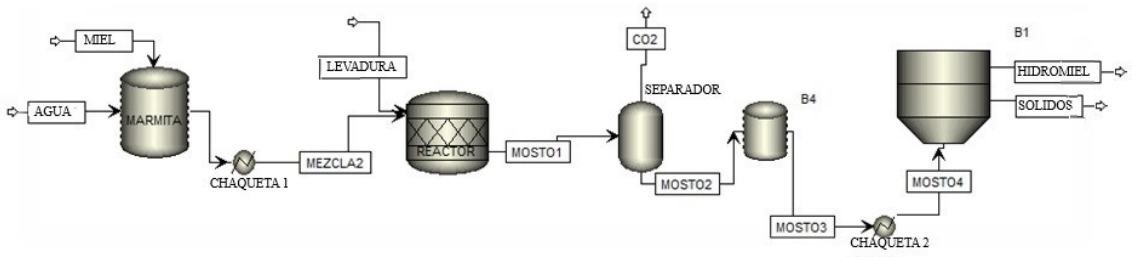



**Figura 1.** Simulación del proceso de obtención de hidromiel en *Aspen Plus V10.1*

Después de este análisis, teniendo en cuenta el balance exergético, el cual se basa en el potencial energético que tiene cada una de las corrientes del proceso, y conociendo la influencia que tiene cada uno de los componentes de la corriente en el aporte exergético, se calculó la exergía química de cada uno de los componentes del proceso. Algunas de estas exergías fueron extraídas de literatura [9], sin embargo para la glucosa y la fructosa, sus exergías químicas se calcularon a partir del conocimiento de las exergías químicas de cada uno de sus componentes. Todo el análisis se realizó utilizando las hojas y herramientas de cálculo de Microsoft Excel 2016. En la Tabla 2 se presentan los datos para el caso Boyacá.

Tabla 2. Exergía de las corrientes principales, caso Boyacá.

| Corrientes | Exergía química (MJ/h) | Exergía Física (MJ/h) |
|---|---|---|
| Miel | 50,734364 | 0,0502 |
| Agua | 2,5662 | 0,0173551 |
| Mezclador 1 | 52,47 | 0,61710 |
| Mezclador 2 | 52,47 | 0,00675 |
| Levadura | 307,868 | 0,00892 |
| Mosto 1 | 194,34 | 0,010 |
| $CO_2$ | 1,677 | 0,0002433 |
| Mosto 2 | 5231,57 | 0,00877693 |
| Mosto 3 | 5231,57 | 0,525932 |
| Mosto 4 | 5231,57 | 0,008776 |
| Sólidos | 0,5961 | $2,29x10^{-6}$ |
| Hidromiel | 192,3899 | 0,008774 |

Los consumos energéticos del proceso y las irreversibilidades se analizaron a partir de las siguientes figuras; es importante resaltar que se definieron tres etapas dentro del proceso, Mezclado 1: en esta etapa se realiza la mezcla entre la miel y el agua y se realiza un calentamiento; Reactor: en esta etapa se lleva a cabo la reacción de fermentación en la que los azucares se transforman en alcohol y dióxido de carbono, esta es una reacción exotérmica; Pasteurización: una vez realizada la fermentación se eleva la temperatura de la mezcla para detener el proceso de fermentación, debido a que en la práctica fue posible determinar el gasto energético en la etapa de filtrado, ya que se realiza de manera artesanal y a pequeña escala; por ello, no se tuvo en cuenta para este análisis.

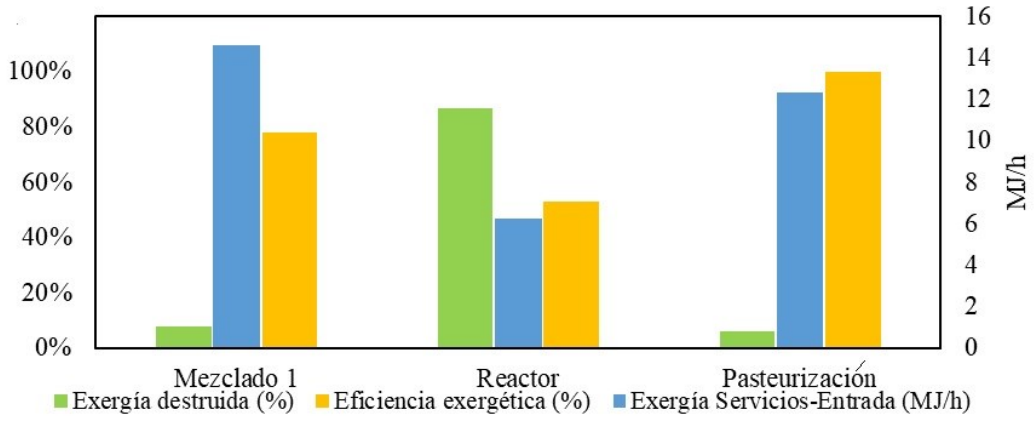



**Figura 2.** Análisis exergético por etapas planta piloto Boyacá.

La figura 2 muestra que la etapa más eficiente del proceso es la pasteurización, con una eficiencia exergética del 100%, mientras que la etapa de reacción es la menos eficiente, con una eficiencia exergética del 53% y una exergía destruida del 86%, lo cual se relaciona con la energía perdida durante esta reacción exotérmica. La etapa de mezclado consume más energía de servicios (14,61 MJ/h), principalmente debido al motor del agitador, lo cual es significativo para un proceso a pequeña escala. La eficiencia exergética global del proceso es del 49,54%, un valor favorable comparado con otros estudios, como el de Genc y colaboradores [10], sobre la producción de vino tinto, que reportó una eficiencia del 41%. Además, la exergía por residuos es muy baja, lo que indica que las pérdidas de energía se deben principalmente a calor y trabajo, con una pérdida de exergía por residuos de solo 2,22 MJ/h frente a un total de 199,08 MJ/h de exergía destruida.

Como el objetivo del análisis era evaluar el mismo proceso, pero con las condiciones del Departamento de Bolívar, se realizó una modificación en los parámetros de Temperatura de operación, Temperatura de referencia, y presión de operación. Por ello, se presentan las Figuras 3 y 4, en las que se presenta el caso real (San Mateo Boyacá) y el caso Bolívar (Simulación).

En la Figura 3 se comparan globalmente los elementos más representativos del análisis exergético. La exergía por residuos presenta la barra más baja, debido a que el contenido energético de los residuos es bajo y el flujo másico de estos es de solo 0,003 t/h. La exergía por servicios, que representa la energía necesaria para el funcionamiento de las etapas, es ligeramente mayor en Boyacá que en Bolívar. Esto se debe a que en Boyacá se requiere más energía para calentamiento debido a la temperatura ambiente más baja. Las irreversibilidades se calcularon considerando la exergía total de entrada y la exergía de salida de los productos, la cual varía con las condiciones de presión y temperatura. Finalmente, al comparar la eficiencia global del proceso, la planta simulada en el caso de Bolívar muestra una eficiencia del 68,79%, superior al 49,54% en el caso de Boyacá.

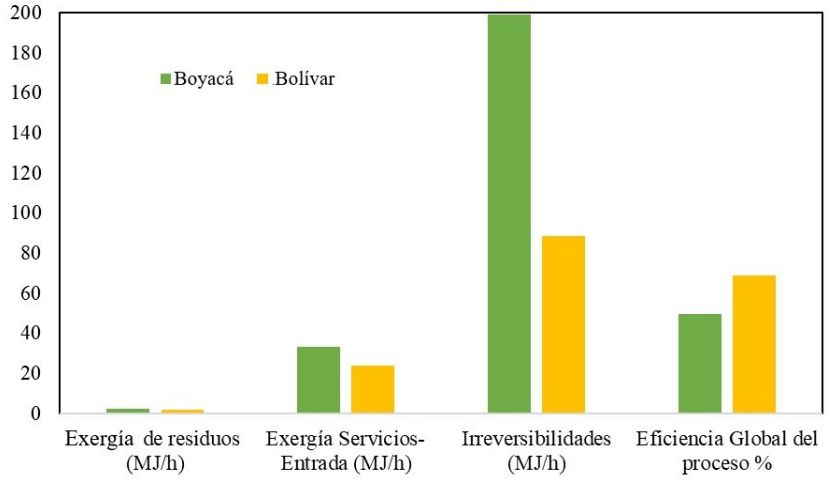



**Figura 2.** Análisis exergético global, Boyacá y Bolívar.

En la Figura 4 se detallan las contribuciones de cada etapa del proceso al análisis global de exergía. Las barras sólidas representan las exergías por etapa en el caso Boyacá, mientras que las barras con líneas blancas corresponden al caso Bolívar (simulación). En ambos casos, el reactor es la etapa con mayor exergía destruida, debido a la liberación de energía no aprovechada en la reacción exotérmica, siendo la etapa menos eficiente del proceso: 53% en Boyacá y 74% en Bolívar. Se recomienda una integración energética para reducir el consumo en esta etapa y mejorar la eficiencia global. La etapa de mezclado demanda más servicios industriales en ambos casos, mientras que la pasteurización es la más eficiente, con mínimas pérdidas de energía a pesar de su consumo de servicios industriales (12,32 MJ/h en Boyacá y 7,90 MJ/h en Bolívar). Comparando con otros procesos de producción vinícola [10], ambos procesos de producción de hidromiel resultan considerablemente más eficientes.

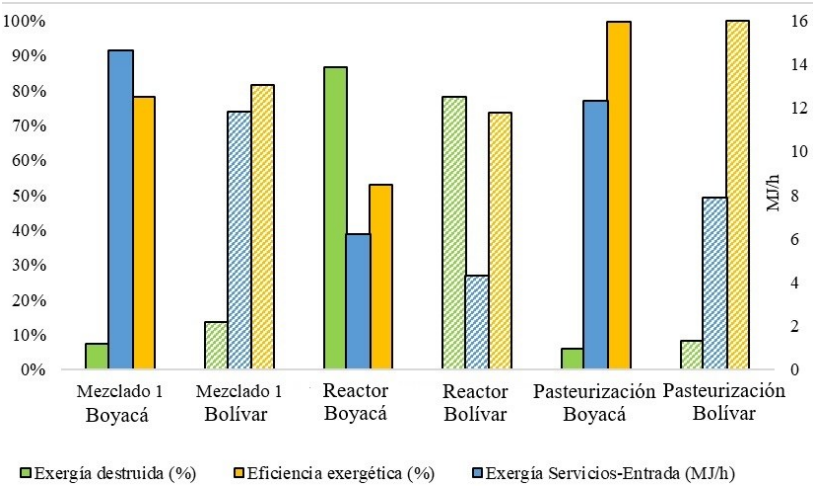



**Figura 3.** Análisis exergético por etapas Boyacá y Bolívar.

## 4. CONCLUSIONES

El diagnóstico llevado a cabo para la cooperativa de apicultores de El Carmen de Bolívar (COOAPOMIEL) muestra que la región cuenta con el recurso humano necesario para proyectos de elaboración de bebidas fermentadas a partir de miel de abejas. Aunque la producción de miel es mayor

que en Boyacá, las ganancias en Bolívar son menores debido a la falta de transformación de la materia prima y los bajos precios de venta, ya que sólo se lleva a cabo el envasado de esta. Además, en ninguna de las dos asociaciones (Boyacá y Bolívar) ha habido crecimiento de colmenas posiblemente, porque se ven afectadas por el uso de fertilizantes químicos y condiciones climáticas adversas. Estos factores indican que la instalación de una planta productora de bebidas fermentadas es viable desde el punto de vida energético, y sería necesaria para fortalecer el sector. En términos de eficiencia energética, el análisis exergético revela que el reactor es la etapa menos eficiente en ambos casos, con una eficiencia global de 68,79% en Bolívar frente a 49,54% en Boyacá, un resultado prometedor para Bolívar. Comparado con otros procesos de producción vinícola, el rendimiento energético de la planta simulada en El Carmen de Bolívar es superior, a pesar de la falta de equipos de control robustos, demostrando así un desempeño favorable en términos de exergía.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Cartagena, en especial a la Vicerrectoría de Investigaciones por la financiación del proyecto: Evaluación de la prefactibilidad técnico-económica energética, ambiental y social de una planta de producción de bebidas fermentadas a partir de miel de Abejas en el Departamento de Bolívar utilizando Ingeniería de procesos asistida por computador (Acta de compromiso 133-2018) y al Plan de Fortalecimiento del Grupo de Investigación en Transformación de Matrices Industriales y Agroindustriales (ITMIA) 2023 (Acta de compromiso 053 de 2023).

## 6. REFERENCIAS

1. ASOAPIBOY, 2018. Asoapiboy. Asociación de Apicultores de Boyacá. https://comproagro.com/usuarios/ver_perfil/16767/

2. REDACCIÓN PORTAFOLIO, 2023. En 18 años, el consumo de vino ha avanzado 0,6 litros. Portafolio [en línea]. Bogotá, Colombia, 3 August 2023. Consultado de: https://www.portafolio.co/negocios/vino-consumo-ha-incrementado-el-consumo-desde-2006-hasta-2023-considerablemente-586789

3. TAPIERO CUELLAR, Jose and SALAMANCA GROSSO, Guillermo, 2016. Evaluación del proceso fermentativo en la producción de hidromieles monoflorales colombianas Evaluation of the fermentation process in the production of Colombian monofloral meads. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. Vol. 3, pp. 6–14. DOI http://dx.doi.org/10.23850/24220582.377.

4. PARDO-PLANAS, Oscar et al., 2017. Process simulation of ethanol production from biomass gasification and syngas fermentation. Bioresource Technology. Vol. 245, pp. 925–932. DOI 10.1016/j.biortech.2017.08.193.

5. ONOFRE, Sideney Becker et al., 2017. Chemical Composition of the Biomass of Saccharomyces cerevisiae - (Meyen ex E. C. Hansen, 1883) Yeast obtained from the Beer Manufacturing Process. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. Vol. 2, no. 2, pp. 558–562. DOI 10.22161/ijeab/2.2.2.

6. VÁZQUEZ, Javier, DACOSTA, Ophélia, 2007. Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. Ingeniería, investigación y tecnología. Vol. 8, no. 4, pp. 249–259. DOI 10.22201/fi.25940732e.2007.08n4.020

7. PERALTA-RUIZ, Y., KAFAROV, V and GONZÁLEZ-DELGADO, A.-D., 2013. Evaluation of alternatives for microalgae oil extraction based on exergy analysis. Applied Energy. Vol. 101, pp. 226–236. DOI 10.1016/j.apenergy.2012.06.065.

8. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2020. Cadena de las abejas y la apicultura. p. 18. https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

9. MADY, C. E.K. and OLIVEIRA, S., 2013. Human body exergy metabolism. International Journal of Thermodynamics. Vol. 16, no. 2, pp. 73–80. DOI 10.5541/ijot.453.

10. GENC, Mahmut, GENC, Seda and GOKSUNGUR, Yekta, 2017. Exergy analysis of wine production: Red wine production process as a case study. Applied Thermal Engineering. Vol. 117, pp. 511–521. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2017.02.009.

**Sobre los autores**

**Brahian Rincón Sánchez** es egresado del Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena en 2020. Participó en el estudio realizando trabajo de campo, implementando balances de materia y energía en las simulaciones y organizando la información.

**Edwin Martínez Arcia** es egresado del Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena en 2020. Participó en el estudio realizando trabajo de campo, implementando balances de materia y energía en las simulaciones y organizando la información.

**Ángel González-Delgado** es Ingeniero Químico y Doctor en Ingeniería Química, es profesor del Programa de Ingeniería Química en la Universidad de Cartagena. Pertenece al Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador (NIPAC). Cuenta con amplia experiencia en administración, investigación y docencia en universidades, ha publicado 170 artículos de investigación, editado 3 libros, y realizado más de 85 publicaciones y 90 presentaciones en congresos. Ha participado en la organización de congresos como el 30º Congreso Colombiano de Ingeniería Química, evaluado proyectos para entidades como COLCIENCIAS y CYTED, supervisado tesis, y revisados artículos para revistas científicas. En este trabajo participó en la codirección del trabajo, revisión y redacción del manuscrito.

**Martha Cuenca Quicazán** es ingeniería química, magíster y doctora en Ingeniería Química egresada de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Es actualmente Profesora Asociada al Programa de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Pertenece al Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador (NIPAC) y lidera el Grupo de Investigación en Transformación de Matrices Industriales y Agroindustriales (ITMIA). Es Investigadora Junior en la Categorización del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Minciencias). Cuenta con experiencia profesional de más de veinte (20) años, en la industria y en universidades en Colombia, Italia y Chile, relacionada con desarrollo de nuevos productos, bioprocesos y manejo de técnicas analíticas instrumentales. En este trabajo participó en la formulación y presentación de los proyectos para ser financiados, así como en la dirección del trabajo, escritura, revisión y redacción del manuscrito.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OBTENCIÓN DE UNA EMULSIÓN INCORPORANDO ACEITE DE CALENDULA Y SEMILLA DE AGUATE

**Valentina Novoa Montilla[1], Estefanía Rodríguez Martin[2], Angela María Otalvaro Álvarez[3]**

[1]Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Bogotá., [2]Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Bogotá. [3]Programa de Ingeniería Química, Universidad de La Salle, Bogotá.

[1]vnovoa69@unisalle.edu.co
[2]esrodriguez18@unisalle.edu.co
[3]amotalvaro@unisalle.edu.co

## RESUMEN

En este trabajo, se evaluó el desarrollo de una emulsión que sirviera como base para un producto cosmético incorporando ingredientes de origen natural con propiedades antioxidantes. Así, se emplearon semillas del aguacate *Persea americana* y aceite de caléndula, evaluando a través de un diseño experimental de mezcla aleatorizado, el efecto de variaciones en el contenido del aceite de caléndula (0 a 3%), la manteca de karité (16 al 23%) y el emulsificante (2 a 6%) dentro de la formulación, mientras se mantenía constante el contenido de agua, conservantes, aromatizantes y semilla de aguacate. La investigación mostró que la semilla de aguacate tiene un alto potencial antioxidante con un 84.72% de inhibición de radicales libres, comparado con el 15.38% del aceite de caléndula. Igualmente, se estableció que las emulsiones obtenidas poseían un pH neutro entre 7.01 y 7.15, densidad entre 0.75 y 1.08 g/mL, y viscosidad de 7875 a 8130 mPa*s. Con una actividad antioxidante que varió entre el 12 y el 39% de inhibición de radicales libres y una concentración de compuestos fenólicos entre 0.07 y 0.32 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de emulsión, destacando su potencial antioxidante. Igualmente, se observó que luego de 60 días de almacenamiento, las emulsiones mantuvieron su viscosidad, color y contenido de compuestos fenólicos, sin embargo, se presentó un descenso en el pH (valores cercanos a 3.5) y la densidad, lo que sugiere la necesidad de buscar alternativas para mantener la estabilidad de la emulsión respecto a estas variables.

**PALABRAS CLAVE:** Actividad antioxidante, estabilidad, productos cosméticos, productos naturales, emulsificantes.

## OBTAINING AN EMULSION INCORPORATING CALENDULA OIL AND AVOCADO SEED

## ABSTRACT

The development of an emulsion was proposed as a base for a cosmetic product that, by incorporating natural ingredients, would exhibit antioxidant properties. Thus, *Persea americana* avocado seeds and calendula oil were incorporated into the development of the emulsion. A randomized mixture experimental design was used to evaluate the effect of variations in the content of calendula oil (0 to 3%), karite butter (16 to 23%), and emulsifier (2 to 6%) within the formulation, while keeping the water content, preservatives, flavorings, and avocado seed constant. The research showed that avocado seed has high antioxidant potential, with 84.72% free radical inhibition, compared to 15.38% for calendula oil. It was also established that the emulsions obtained had a neutral pH between 7.01 and 7.15, density between 0.75 and 1.08 g/mL, and viscosity from 7875 to 8130 mPa*s. The antioxidant activity varied between 12 and 39% free radical inhibition, with a concentration of phenolic compounds ranging from 0.07 to 0.32 mg gallic acid equivalents per gram of emulsion, highlighting its antioxidant potential. Additionally, it was observed that after 60 days of storage, the emulsions maintained their viscosity, color, and phenolic compound content; however, a decrease in pH (values close to 3.5) and density was noted, suggesting the need to explore alternatives to maintain the stability of the emulsion in relation to these variables.

**KEY WORDS:** Antioxidant activity, stability, cosmetic products, natural products, emulsifiers.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los antioxidantes son compuestos que ayudan a proteger la piel de los daños causados por los radicales libres y el estrés oxidativo, retardando su envejecimiento. En ese sentido, dentro de la industria cosmética son empleados con frecuencia en diferentes formulaciones. Y aunque los antioxidantes de origen sintético (BHA, BHT, entre otros) son los más usados, actualmente se ha incrementado la demanda de productos de origen natural dada la preferencia de los consumidores por los productos naturales. En ese sentido, se ha evaluado el potencial de uso de diferentes extractos de plantas como el té verde, las semillas de uva, los arándanos, el tomate, entre otros, dentro de formulaciones cosméticas con el fin de aportar actividad antioxidante a las mismas [1], [2], [3]

De este modo, buscando explorar alternativas que hagan uso de ingredientes naturales en la creación de productos que puedan emplearse en la industria cosmética, se ha considerado el uso del aceite de caléndula y de la semilla de aguacate, en el desarrollo de una emulsión que posea actividad antioxidante. Esto, teniendo en cuenta que las semillas de aguacate (*Persea americana*) que tradicionalmente se habían considerado como un residuo del procesamiento de esta fruta, han llamado la atención por su contenido de lípidos y por su actividad antioxidante y antiinflamatoria. Igualmente, se ha destacado la presencia de ácido oleico en los extractos cloroformo/metanol de esta semilla, razones por las cuales se sugiere el uso de este material para el desarrollo de otros productos en donde su actividad antioxidante pueda aportar valor [4], [5]. De otro lado, en un estudio desarrollado en México sobre la variedad *P. americana* var. Drymifolia, se realizó la extracción metanólica de las semillas y se examinó la actividad antioxidante de los extractos, encontrándose a nivel *in vitro* una actividad antioxidante entre 90.5 y 91.38% y una actividad antioxidante máxima (99.7%) por el método ABTS equivalente a un IC50 de 0.035 mg/mL [6].

En cuanto a la *Calendula officinalis* esta pertenece a la familia Asteraceae y también ha sido estudiada por su actividad antioxidante, relacionada con su composición, que incluye: esteroides, terpenoides, ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides. Por esta razón esta planta ha sido usada en las industrias farmacéutica, cosmética y de alimentos, en donde también se ha destacado su actividad antiinflamatoria[7]. Estimando que la actividad antioxidante *in vitro* de su aceite, determinada por el método del DPPH corresponde a un EC 50 entre 8.05 g/L y 8.55 g/L. Mientras el máximo de inhibición de radicales libres por el método del ABTS expresado en equivalentes de Trolox (TEAC) fue de 86.05 ± 0.05% a 200 µg/mL de concentración [8].

De otro lado, las emulsiones son sistemas heterogéneos constituidos por dos líquidos inmiscibles, donde uno de ellos se encuentra disperso en el seno del otro en forma de finas gotas o glóbulos. Tienen dos fases, la discontinua o interna (el líquido dispersado en el líquido circundante) y la fase continua o externa. Una de estas es la fase acuosa y la otra es la fase oleosa u orgánica [9]. Dentro de los procesos desarrollados para su obtención, es importante destacar el papel que cumplen los emulsionantes, sustancia que, al ser añadidas estabilizan las dos fases inicialmente inmiscibles, es decir, sirven de unión entre estas. A este grupo de moléculas pertenecen los tensioactivos, que reducen la tensión superficial entre las dos fases, permitiendo que se mezclen de manera más uniforme y evitando que se separen con el tiempo [9].

Generalmente, los mecanismos empleados en la elaboración de emulsiones incluyen procesos como la agitación mecánica, el batido y la emulsificación por alta presión. Estos métodos permiten reducir el tamaño de las gotas de la fase oleosa facilitando su distribución uniforme en el líquido de la fase acuosa. Además, algunos métodos avanzados, como la emulsificación térmica o el uso de ultrasonido, se utilizan para mejorar la estabilidad de las emulsiones y prevenir la unión de las gotas dispersas, lo que ayuda a prolongar su duración [10].

En cuanto al desarrollo de formulaciones cosméticas empleando extractos vegetales, se ha estudiado la incorporación el aceite de semilla de merey (*Anacardium occidentale* L) dentro de una formulación para retardar el envejecimiento [11]. En este caso la fase acuosa de la emulsión incluía agua destilada, trietanolamina, propilenglicol y nipagin, mientras que la fase oleosa estaba conformada por monoestearato de glicerilo, vitamina E, alcohol cetílico, Emulgin B2, aceite mineral, nipasol y el perfume. Ambas fases se calentaron hasta los 75°C, luego mezclaron agregando la fase acuosa a la oleosa. Como resultado de la

revisión de este trabajo, se propuso emplear una formulación similar, incluyendo el Emulgin B2 como agente emulsificante y el alcohol cetílico como coemulsificante. El Emulgin B2 (Suquin S.A.S) es un alcohol graso de origen natural, etoxilado con 20 moles de óxido de etileno. Tensoactivo no iónico que con un HLB de 15.4, razón por la cual puede actuar como emulsificante. De otro lado el alcohol cetílico, conocido como 1-hexadecanol o alcohol hexadecílico, es un modificador de consistencia empleado en la fabricación de productos cosméticos. Es un sólido blanco, insoluble en agua, soluble en alcohol, aceites e hidrocarburos en caliente. Se obtiene típicamente a partir del aceite de coco o de la cera de abejas y actúa como un emoliente, agente espesante y estabilizante.

En este contexto, este estudio buscó desarrollar una emulsión que presentará actividad antioxidante, incorporando el aceite esencial de caléndula y la semilla de aguacate, como alternativas a los antioxidantes sintéticos.

## 2. METODOLOGÍA

### Caracterización de la semilla de aguacate y del aceite de caléndula

Para este trabajo se empleó aceite de caléndula de la marca Bell Franz. Este aceite, es reconocido por su origen natural y su potencial antioxidante, garantizando su alta calidad y pureza para los fines del estudio. De otro lado, las semillas de aguacate (*Persea americana*) empleadas en este trabajo fueron obtenidas de mercados locales. Luego de su llegada al laboratorio, se lavaron con agua destilada para retirar cualquier excedente de la pulpa que estuviera adherido. Posteriormente, las semillas se llevaron a un secador de aire caliente a una temperatura de 45°C y una velocidad de ingreso del aire de 0,2 m/s, y se dejaron allí durante aproximadamente 150 min [12]. Cuando las semillas estuvieron secas, se redujo su tamaño hasta alcanzar un diámetro de partícula entre los 100 y 1000 µm. Esto, considerando que las semillas además de aportar actividad antioxidante al producto pudieran cumplir una doble función como material exfoliante. En ese sentido, se tuvo en cuenta que partículas con diámetros superiores a 1000 µm, pueden resultar abrasivas para la piel y, por lo tanto, no podrían ser empleadas dentro de un producto cosmético.

A la harina obtenida se le determinó el pH, mediante la preparación de una suspensión de 2 g de muestra en 200 mL de agua destilada y el uso de un potenciómetro OHAUS de referencia Starter 300. En cuanto a su humedad, esta se determinó empelando una termobalanza (Sartorius MA35M). La evaluación de la actividad antioxidante y la concentración de compuestos fenólicos en la harina de semilla y en el aceite de caléndula, se realizó a partir de la preparación de un extracto alcohólico. Para ello, se mezcló la muestra correspondiente con una solución de etanol al 96% v/v en una proporción 1:7. A la mezcla se agregó NaF 2mM para inactivar la enzima polifenoloxidasa y prevenir la degradación de los polifenoles durante el ensayo. La mezcla se homogeneizó en un Vortex y se centrifugó a 10000 rpm durante 15 min a 10 °C recuperando el sobrenadante. La actividad antioxidante, se determinó mediante el ensayo del DPPH. La reacción se llevó a cabo en la oscuridad durante 30 min. Como blanco se empleó la solución de DPPH y el solvente sin la adición del extracto. En este caso se midió la absorbancia a 517 nm [13].

El porcentaje de inhibición se calculó utilizando la ecuación (1):

$$\%Inhibicion = \left(1 - \frac{A\text{bsorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia del control}}\right) x100 \quad (1)$$

Para la cuantificación de compuestos fenólicos se empleó el reactivo de Folin-Ciocalteu, determinando la absorbancia a una longitud de onda de 765nm [14]. En este caso se empleó una curva de calibración elaborada con ácido gálico como patrón.

**Evaluación de diferentes formulaciones para el desarrollo de una emulsión con actividad antioxidante**

Considerando que una emulsión, se conforma de una fase oleosa y una fase acuosa, en este proyecto la fase oleosa incluyó: aceite de caléndula (Bell Franz), manteca de Karité, Emulgin B2 (Suquin S.A.S) y alcohol cetílico. Mientras que la fase acuosa se compuso de agua destilada y Genamin (cloruro de cetrimonio).

Y con el objetivo de evaluar el efecto de la formulación sobre la emulsión obtenida, se trabajó con un diseño experimental de mezcla que aleatorizó los componentes de la fase oleosa que incluía el aceite de caléndula, la manteca y el emulsificante (correspondientes al 25% de la emulsión), manteniendo constante la fase acuosa que correspondía al 75% de la emulsión, y que se encontraba compuesta por agua, semilla de aguacate, conservantes y aromatizantes como se observa en la tabla 1. Para realizar este diseño experimental se hizo uso de la herramienta Minitab ®.

Tabla 1. Diseño de mezcla evaluado.

| Ensayo | % Aceite de caléndula | % Manteca de karité | % Emulsificante (Emulgin B2) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 19 | 6 |
| 2 | 2.25 | 17.75 | 5 |
| 3 | 0 | 23 | 2 |
| 4 | 3 | 16 | 6 |
| 5 | 3 | 20 | 2 |
| 6 | 1.5 | 19.5 | 4 |
| 7 | 0.75 | 19.25 | 5 |
| 8 | 0.75 | 21.25 | 3 |
| 9 | 2.25 | 19.75 | 3 |

Cada uno de los ensayos fue realizado por duplicado. Las unidades experimentales evaluadas correspondían a 250 mL.

Para la preparación de cada emulsión, una vez se pesaron los ingredientes de la fase oleosa y la fase acuosa por separado, se calentaron en un baño María hasta llegar a una temperatura de 60 a 70 °C. Posteriormente, se vertió la fase acuosa sobre la oleosa mientras se agitaba constantemente hasta que se formó la emulsión, empleando una batidora (Oster) en su revolución más baja durante un minuto [15]. Al enfriarse la mezcla se adicionaron, los conservantes (ácido sórbico- Sharomix y vitamina E), el aromatizante y la semilla triturada de aguacate con una agitación de 200 (RPM), asegurando que todos los ingredientes se dispersaran de manera uniforme (Ergo Cream). Posteriormente cada emulsión se envasó para su análisis posterior.

Como variables de respuesta, a cada emulsión se le determinó la viscosidad empleando un viscosímetro de Brookfield en condiciones de temperatura 20,7 °C. La densidad se cuantificó mediante picnómetro, el pH con un potenciómetro (OHAUS de referencia Starter 300), el color usando un colorímetro (Konika minolta TR 400), la estabilidad frente a la luz se cuantificó exponiendo las muestras a una luz blanca fluorescente durante 48 h para luego medir su color con el colorímetro y la sinéresis, que se evaluó de acuerdo con el protocolo presentado

Del mismo modo, con el fin de estudiar el efecto del tiempo de almacenamiento sobre las emulsiones desarrolladas, se llevó a cabo su almacenamiento, en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente por 60 días realizando el seguimiento de las mismas variables.

## 3. RESULTADOS

**Caracterización de la semilla de aguacate y el aceite de caléndula**

Usando la termobalanza se determinó que el porcentaje de humedad presente en las semillas del aguacate, encontrado que esta era del 65.94%. Este hallazgo guarda similitud con lo reportado en otras investigaciones, que registran una humedad entre el 55 y el 70% [16]. De otro lado, el análisis granulométrico de la harina de semillas de aguacate obtenida indicó que la mayoría de las partículas eran finas, con un 70% de la muestra pasando a través de tamices de 300 µm o menores. En cuanto al pH de los microgránulos de la semilla, la lectura en el potenciómetro indicó un valor de 6.4 a una temperatura de 20.2 °C, lo que significa que la semilla tiende a ser ligeramente ácida. De otro lado, los resultados obtenidos se encuentran en los rangos esperados compararlos con otros estudios, que registran un pH entre 4.5 y 6.8 para este mismo material [17].

La actividad antioxidante de la semilla de aguacate determinada por el método del DPPH, señaló un porcentaje de inhibición de radicales libres del 84.72%, lo que indica una destacada capacidad antioxidante de las semillas de aguacate para reducir radicales libres y contrarrestar el estrés oxidativo. Estos resultados confirman la hipótesis inicial de la presencia de compuestos antioxidantes, como se evidenció previamente en otra investigación, en la cual se determinó un porcentaje de inhibición de radicales libres del 82%[18].

Respecto al aceite de caléndula, el porcentaje de inhibición obtenido fue de 15.38%, lo que sugiere una actividad antioxidante moderada que podría contribuir a la estabilidad del aceite, además de combatir el daño oxidativo asociado con el envejecimiento y la inflamación [19]. Otros autores, evaluaron la capacidad antioxidante de la caléndula utilizando hojas y tallos de la planta en lugar de extractos, obteniendo una capacidad antioxidante de la caléndula de 16.67%, un valor que se encuentra cercano a los resultados obtenidos en este trabajo [20].

En cuanto a los resultados de contenido de compuestos fenólicos, la semilla de aguacate presentó una concentración de compuestos fenólicos de 0.18 mg equivalentes de ácido gálico/g, este resultado coincide con lo encontrado por otros investigadores quienes observaron que el extracto de cáscara de aguacate contenía 190 mg/g de compuestos fenólicos, lo que refuerza la idea de que estos compuestos son clave en su potencial antioxidante [21]. En cuanto al aceite de caléndula, la concentración de compuestos fenólicos en el aceite fue de 0.33 mg equivalentes de ácido gálico/g. Comparando el resultado obtenido en este ensayo con una determinación de la capacidad antioxidante en plantas de *Calendula officinalis*, realizada anteriormente, en este trabajo se alcanzaron mayores cantidades de polifenoles, puesto que la información anterior sugería que el extracto contenía 0,015 mg/g (equivalentes de ácido gálico), esto puede deberse factores como: el tipo de material vegetal empleado en la extracción y las condiciones de procesamiento y purificación de los extractos, que pueden afectar la concentración de los compuestos fenólicos [19].

**Resultados correspondientes a la elaboración y caracterización de las formulaciones evaluadas**

En la tabla 2 se presenta un resumen general de las nueve formulaciones evaluadas, considerando el diseño experimental propuesto. Y en la figura 1, se presenta la formulación 1.

Tabla 2. Formulaciones evaluadas

| **Componente** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **F5** | **F6** | **F7** | **F8** | **F9** | **Unidades** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aceite esencial de caléndula | 0 | 7 | 0 | 10.5 | 10.5 | 5.25 | 2.6 | 2.6 | 7 | mL |
| Manteca de karité | 63.7 | 57.33 | 73.25 | 51 | 63.7 | 62.12 | 60.5 | 66.9 | 63.7 | g |
| Emulsificante (Emulgin B2) | 8.5 | 7.1 | 2.85 | 8.5 | 2.85 | 5.7 | 7.1 | 4.25 | 4.25 | g |
| Alcohol cetílico | 8.5 | 7.1 | 2.85 | 8.5 | 2.85 | 5.7 | 7.1 | 4.25 | 4.25 | g |
| Agua destilada | 216 | 216 | 216 | 216 | 216 | 216 | 216 | 216 | 216 | mL |
| Conservante (Sharomix) | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | mL |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Genamin | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | mL |
| Vitamina E | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | mL |
| Aromatizante | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | mL |
| Harina de semillas de aguacate | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | g |

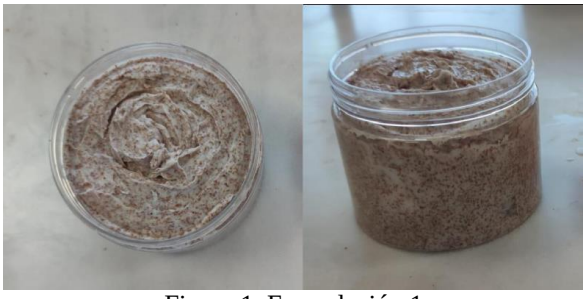


Figura 1. Formulación 1

En cuanto a los resultados de las propiedades evaluadas, el promedio de las densidades varió entre 0.75 g/mL y 0.94 g/mL siendo similares a el dato de 0.864 g/mL reportado para un producto similar por[22]. Y, respecto a la variación de la densidad durante los 60 días de almacenamiento, se evidenció una tendencia general a su disminución en la mayoría de las formulaciones. Esto podría indicar que, a medida que pasan los días, las emulsiones pueden experimentar cambios en su composición debido a las interacciones químicas entre los componentes o a la degradación de estos[23]

En relación con la viscosidad, se observan tendencias entre las diferentes formulaciones; algunas muestras presentaron cambios mínimos en la viscosidad a lo largo del tiempo, mientras que otras experimentan fluctuaciones más significativas. La viscosidad es un parámetro crucial para evaluar la calidad y la aplicabilidad de las emulsiones, especialmente en el caso de las emulsiones exfoliantes. Según la literatura, la viscosidad adecuada para las emulsiones debe situarse en un intervalo de 6416.8 a 8642.2 mPa·s. ya que esta medida, es coherente con una consistencia en el producto que facilite su aplicación uniforme y efectiva sobre la piel. En el contexto de este estudio. se observó que la viscosidad de las emulsiones exfoliantes analizadas osciló entre 7098.8 y 84412.2 mPa·s [24].

Con respecto al pH, se pudo observar que todas las formulaciones evaluadas experimentaron una reducción en esta variable con el tiempo, como se puede apreciar en la figura 2. El cambio en el pH de las formulaciones puede atribuirse a la actividad microbiológica, la oxidación de componentes sensibles al oxígeno, la hidrólisis de ingredientes y/o la interacción con el material del envase de almacenamiento. El pH de una emulsión exfoliante suele situarse en el rango de 5.5 a 6.5. Este pH específico garantiza un equilibrio óptimo respetando el pH natural de la piel, que suele estar alrededor de 5.5. Además, un pH ácido en la emulsión exfoliante facilita una descomposición suave y eficiente de las células muertas de la piel, promoviendo así la renovación celular y dejando la piel suave y rejuvenecida [25]. Según el análisis realizado, se encontró que el pH de las emulsiones varió entre 7.17 y 3.51. observándose este rango principalmente entre los días 15 y 30.

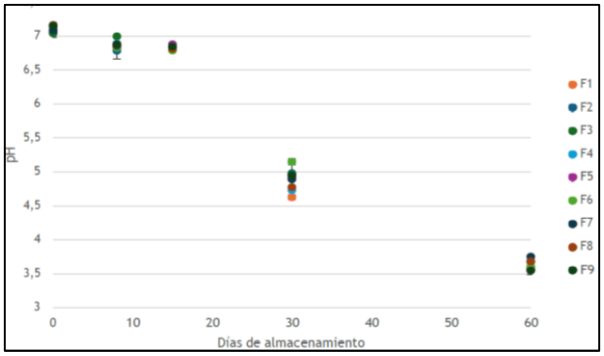



Figura 2: Evolución del pH durante el almacenamiento de las 9 formulaciones evaluadas.

De otro lado, sobe el análisis del color, los datos de la coordenada “L”, relacionada con la luminosidad o el brillo (valores cercanos a 0 describen un negro absoluto y los cercanos a 100 un blanco absoluto), se apreció que la luminosidad disminuyó con el tiempo en la mayoría de las formulaciones. Los datos de la coordenada “a”, que representan el color en el eje verde-rojo, indicaron que las formulaciones se inclinaban hacia los tonos rojos. Y sobre la coordenada “b”, que representa el componente de la escala de azul-amarillo, se observó que las formulaciones evaluadas presentaban tonalidades más amarillas. Los cambios de color en una crema exfoliante pueden ser atribuidos a la oxidación de ingredientes sensibles, a reacciones químicas entre componentes, a la contaminación microbiológica, las condiciones de almacenamiento y la variabilidad en los ingredientes naturales utilizados [26].

Sobre el efecto de la exposición a la luz, se observó una clara diferencia entre las formulaciones expuestas a la luz y aquellas que permanecieron en la oscuridad. Las formulaciones expuestas a la luz exhibieron variaciones significativas en la luminosidad a lo largo del tiempo, mientras que las formulaciones no expuestas a la luz se mantuvieron más estables. Esto es importante considerando lo expuesto por otros autores que señalan que las propiedades del color como tono, intensidad y brillo promueven un efecto sinérgico o supresor en las preferencias sensoriales de las emulsiones [27].

Igualmente, se evaluó la estabilidad mediante la determinación de la separación de las fases luego de la centrifugación de la emulsión. Sin embargo. en ninguna de las emulsiones evaluadas se observó una separación de fases. Estos resultados, son congruentes a los obtenidos en el diseño de una crema regeneradora con quitina para después del bronceado, en donde sus desarrolladores concluyeron que las características psicofisiológicas durante el almacenamiento se encontraban invariables comparadas con las que presentaban al inicio de la prueba, corroborando la estabilidad de las formulaciones [28].

Sobre la concentración de compuestos fenólicos, en un estudio sobre su estabilidad en harina de trigo, se encontró que los contenidos totales de polifenoles (TPC) y flavonoides (TFC) disminuyen con el tiempo, independientemente de las condiciones de almacenamiento. indicando una degradación continua de estos compuestos bioactivos [29]. Esto es consistente con los resultados obtenidos, donde la concentración de compuestos fenólicos muestra una tendencia decreciente con el tiempo de almacenamiento. Estos resultados se presentan en la figura 3.

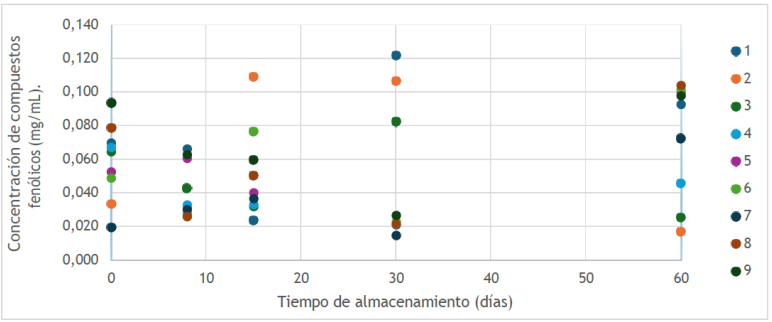



Figura 3: Evolución de la concentración de compuestos fenólicos durante el almacenamiento.

Y sobre la actividad antioxidante, evaluada como el porcentaje de inhibición de radicales libres a lo largo del estudio, el porcentaje de inhibición de la formulación 4, por ejemplo, varió desde 12.22% hasta llegar al 90.65% a los 60 días. Las emulsiones con porcentajes de inhibición más altos y mayor actividad antioxidante, tras pasar los 60 días de almacenamiento son las formulaciones 1 (91.3%). 3 (92.1%) y 4 (90.7%). Estos resultados se presentan en la figura 4. Según la literatura, un porcentaje de inhibición alto se considera generalmente superior al 70-80%. Un extracto con una actividad antioxidante de más del 80% en la prueba de DPPH se considera que tiene una capacidad antioxidante muy potente. En el caso del extracto de *Butea superba*, se encontró que la capacidad antioxidante era comparable a la del ácido gálico, lo que indica que cualquier valor de inhibición que se acerque o supere este umbral puede considerarse alto (Sirichaiwetchakoon & Eumkeb, 2024).

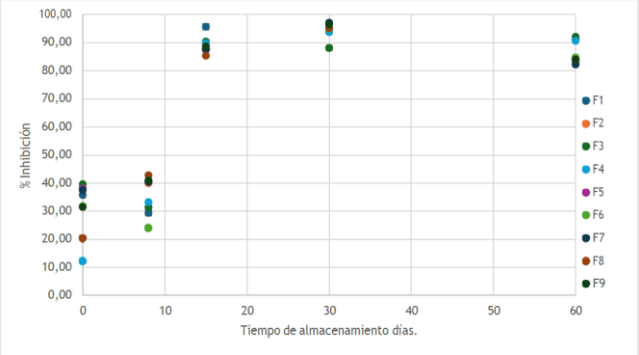



Figura 4: Evolución de la actividad antioxidante durante el almacenamiento.

En cuanto al análisis del diseño experimental propuesto, empleando el software Minitab, este se realizó considerando los datos al tiempo cero y a los 60 días de almacenamiento del producto. Como resultado, se observó que el modelo de regresión obtenido para el tiempo cero, en relación con la densidad, la viscosidad y el pH, no se ajustaba adecuadamente a los datos experimentales explicando menos de 55% de la variabilidad en estas tres variables. Sobre la concentración de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, el modelo de regresión solo explicó el 13% de la variabilidad en la concentración de compuestos fenólicos determinados mediante la técnica de Folin y el 39% de la variabilidad en el porcentaje de inhibición del DPPH. En cuanto a los resultados del análisis, considerando los datos correspondientes a los 60 días de almacenamiento, los resultados fueron similares. Sin embargo, respecto a la actividad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición de radicales libres, el modelo de regresión explicó aproximadamente el 83% de la variabilidad en el porcentaje de inhibición, con un ajuste moderado según el R-cuadrado ajustado. Este alto valor de R-cuadrado, sugiere que el modelo tiene una capacidad significativa para predecir el porcentaje de inhibición, lo que lo convierte en el único resultado con una relevancia estadística.

## 4. CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se observó que la semilla de aguacate y el aceite de caléndula tienen un alto potencial antioxidante de inhibición de radicales libres, ratificando su uso en productos cosméticos con actividad antioxidante. Y al utilizar estos componentes en la formulación de las evaluaciones estudiadas, estas presentaron un pH neutro (7.01 y 7.15), una densidad entre 0.75 y 1.08 g/mL y una viscosidad de 7875 a 8130 mPa*s. resultando similares productos cosméticos comerciales. Su actividad antioxidante varió del 12 al 39% de inhibición de radicales libres evaluados mediante la técnica del DPPH y su concentración de compuestos fenólicos osciló 0.07 y 0.32 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de emulsión.

Respecto a la estabilidad de estas emulsiones durante su almacenamiento por 60 días se observaron pequeñas variaciones en cuanto a viscosidad, color y contenido de compuestos fenólicos. Sin embargo, el pH disminuyó a valores ácidos cercanos a 3.5 y la densidad también bajó. En ese sentido, sería necesario a futuro extender el seguimiento de las propiedades fisicoquímicas de modo que sea posible detectar cambios

adicionales y evaluar la estabilidad a largo plazo, proporcionando una comprensión más completa de la evolución y calidad del producto obtenido.

En lo relacionado con el análisis estadístico se recomiendo modificar el diseño evaluado para robustecer el análisis y lograr una mejor comprensión de los fenómenos que se desarrollar, logrando también una mejor predicción de las variables de respuesta. A futuro, se sugiere utilizar métodos analíticos avanzados, como técnicas cromatográficas o espectroscópicas, para mejorar la precisión en la medición de antioxidantes y para identificar los compuestos responsables de la actividad antioxidante. También, se recomienda emplear técnicas como dispersión de luz dinámica (DLS) o difracción de rayos X (XRD) para estudiar el tamaño y distribución de partículas en las emulsiones, información valiosa para conocer más sobre su estabilidad y uniformidad.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Las autoras reconocen el acompañamiento del profesor Bernay Vanegas y de Camilo Zaraté, por sus valiosos aportes a la investigación. A la profesora Ludy Pabón por su contribución en la implementación del método de evaluación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante mediante DPPH. Finalmente, se agradece a la Universidad de La Salle, por proporcionar los espacios y herramientas necesarias para la realización de este trabajo, contribuyendo tanto a la formación académica como al desarrollo integral de los participantes.

## 6. REFERENCIAS

[1] Hoang, H. T.; Moon, J.-Y. ; Lee, Y.-C. "Natural Antioxidants from Plant Extracts in Skincare Cosmetics: Recent Applications, Challenges and Perspectives," *Cosmetics*, 2021,vol. 8, no. 4, p. 106, doi: 10.3390/cosmetics8040106.

[2] Dini, I; Laneri, S. "The New Challenge of Green Cosmetics: Natural Food Ingredients for Cosmetic Formulations," *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 13, p. 3921, doi: 10.3390/molecules26133921.

[3] Harhaun, R; Kunik, O; Saribekova, D; Lazzara, G. "Biologically active properties of plant extracts in cosmetic emulsions," *Microchemical Journal*, 2020, vol. 154, p. 104543, doi: 10.1016/j.microc.2019.104543.

[4] Alissa, K; Hung, Y.C.; Hou, C. Y.; Lim, W; Ciou, J. Y. "Developing New Health Material: The Utilization of Spray Drying Technology on Avocado (*Persea Americana* Mill.) Seed Powder," *Foods*, 2020, vol. 9, no. 2, p. 139, doi: 10.3390/foods9020139.

[5] Alkhalaf, M. I. ; Alansari, W.S; Ibrahim, E.; Elhalwagy, M. E. "Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract," *J King Saud Univ Sci*, 2019, vol. 31, no. 4, pp. 1358–1362, doi: 10.1016/j.jksus.2018.10.010.

[6] Zavala-Guerrero B., et al., "Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Methanolic Fraction from Native Mexican Avocado Seed Oil," *The FASEB Journal*, 2020, vol. 34, no. S1, pp. 1–1, doi: 10.1096/fasebj.2020.34.s1.07300.

[7] Silva, D.; Ferreira, M. S; Sousa-Lobo, J. M; Cruz, M. T; Almeida, I. F. "Anti-Inflammatory Activity of *Calendula officinalis* L. Flower Extract," *Cosmetics*, 2021, vol. 8, no. 2, p. 31, doi: 10.3390/cosmetics8020031.

[8] Sahingil, D. "GC/MS-Olfactometric Characterization of the Volatile Compounds, Determination Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oil from Flowers of Calendula (*Calendula officinalis L* .)," *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2019, vol. 22, no. 6, pp. 1571–1580, doi: 10.1080/0972060X.2019.1703829.

[9] Venkataramani, D.; Tsulaia, A.; Amin, S. "Fundamentals and applications of particle stabilized emulsions in cosmetic formulations," *Adv Colloid Interface Sci*, 2020, vol. 283, p. 102234, doi: 10.1016/j.cis.2020.102234.

[10] Calvo, F; Gómez, J.M.; Ricardez-Sandoval, L; Alvarez, O."Integrated design of emulsified cosmetic products: A review," *Chemical Engineering Research and Design*, 2020, vol. 161, pp. 279–303, doi: 10.1016/j.cherd.2020.07.014.

[11] Mujica, V.; Delgado, M.; Ramírez, M; Velásquez, I; Pérez, C; Rodríguez-Corella, M. "Formulación de un producto cosmético con propiedades antiarrugas a partir del aceite de semilla

de Merey (*Anacardium Occidentale* L),” *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, 2010, vol. 25, no. 2, pp. 119–131.

[12] Viteri Moya, J.; Salazar Reyes, R.; Medina Romo, S; Viteri Sánchez, C. “Complemento nutricional granulado a partir de la semilla de *Persea americana*,” *UNIANDES EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación.*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 355–364.

[13] Tovar del Río, J. “Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera,” Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2013. Accessed: Sep. 17, 2024. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/28bb3599-16cd-4c41-9c48-0a0dc4a9b5e2/content

[14] Molina, G. A,; González-Fuentes, F.; Loske, A.M; Fernández, F.; Estevez, M. “Shock wave-assisted extraction of phenolic acids and flavonoids from Eysenhardtia polystachya heartwood: A novel method and its comparison with conventional methodologies,” *Ultrason Sonochem*, 2020, vol. 61, p. 104809, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.104809.

[15] Xavier, M. P. ; Miraballes, I; Pardo, H.; Mombrú, A.; López, T.; Medrano, C.A. “Encapsulación de quercetina en nano y micro-emulsiones alimenticias,” *Revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay*, 2011, vol. 6, pp. 37–41.

[16] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuraria -Agrosavia. “Manejo de semillas, sustrato y riego en vivero para aguacate Persea americana,” Manejo de semillas, sustrato y riego en vivero para aguacate Persea americana. Accessed: Sep. 17, 2024. Disponible en: https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/frutales/recomendaciones-protocolos-y-metodolog%C3%ADas/607-recomendaciones-de-manejo-de-semillas-sustrato-y-riego-para-la-producci%C3%B3n-de-material-de-siembra-de-aguacate-en-vivero

[17] Osorio Yat, G. “Evaluación del efecto de dos niveles de pH en la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill.),” Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2013. Accessed: Sep. 17, 2024. Disponible en: https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/db017b17-cc1d-49a0-88ba-1442fe41b2df/content

[18] Melgar B. *et al.*, “Bioactive characterization of Persea americana Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants,” *Ind Crops Prod*, 2018, vol. 111, pp. 212–218, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.10.024.

[19] Camacho Pérez, L. M. . “Determinación de la capacidad antioxidante de plantas aromáticas. Calendula officinalis,” Universidad de Jaén, Jaén, 2020. Accessed: Sep. 17, 2024. Disponible en: https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/12347/1/TFG%20Quimica%20LUISAMARIACAMACHOPEREZ.pdf

[20] Montoya, B.; Lemeshko, V.; López, J.; Pareja, A.; Urrego, R.;Torres, R. “Actividad antioxidativa de algunos extractos vegetales,” *Vitae*, 2003, vol. 10, no. 2, pp. 72–79.

[21] Rojas-García, A. *et al.*, “Biological Evaluation of Avocado Residues as a Potential Source of Bioactive Compounds,” *Antioxidants*, 2022, vol. 11, no. 6, p. 1049, doi: 10.3390/antiox11061049.

[22] Bottini, J. “Emulsión Glucídica Hidratante,” Colegio de Farmacéuticos de la Provincia de Buenos Aires, Colfarma.

[23] Andueza, I.; Calo, K.; Rodríguez, M; Castillo, J. “Efecto de la temperatura y humedad sobre algunas propiedades fisicoquímicas de formulaciones tópicas con nanopartículas de plata y zinc,” *Revista de la Facultad de Farmacia*, 2021, doi: 10.54305/RFFUCV.2021.84.1-2.12.

[24] Rivera Barreto,J.L; Luna Fox, S. B.; Rodríguez Almeida, N.; Dahua Gualinga, R. D..“Evaluación de las propiedades antioxidantes y físicas de una crema exfoliante desarrollada a partir de la cáscara de *Mauritia flexuosa* L. (morete),” *Polo del Conocimiento*, 2024,vol. 9, no. 1, pp. 491–510, doi: 10.23857/pc.v9i1.6388.

[25] Lukić, M; Pantelić, I; Savić,S. D.. “Towards Optimal pH of the Skin and Topical Formulations: From the Current State of the Art to Tailored Products,” *Cosmetics*, 2021,vol. 8, no. 3, p. 69, doi: 10.3390/cosmetics8030069.

[26] Guamán Anilema, D. A. “Diseño de un jabón dermatológico con propóleos y miel,” Universidad de La Habana, La Habana, 2022. Accessed: Sep. 17, 2024. Disponible en: https://fototeca.uh.cu/files/original/2131650/Diego_Arnaldo_Guaman_Anilema[24-11-22].pdf

[27] Oliveria W.; Toscarrollo, I.. "Influencia del color en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los cosméticos hidratantes." *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2021, vol. 06, pp. 5–19.

[28] Pérez Ramos, P.; Nieto Acosta, O. M.; Bilbao Reboredo, M.; López Torres, A.; González Cabrer, L. "Diseño de una crema regeneradora con quitina para después del bronceado," *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 239–251.

[29] Zhang, Y.; Truzzi, F.; D'Amen, E.; Dinelli, G. "Effect of Storage Conditions and Time on the Polyphenol Content of Wheat Flours," *Processes*, 2021,vol. 9, no. 2, p. 248, doi: 10.3390/pr9020248.

[30] Sirichaiwetchakoon, K; Eumkeb, G. "Free radical scavenging and anti-isolated human LDL oxidation activities of Butea superba Roxb. extract," *BMC Complement Med Ther*, 2024, vol. 24, no. 1, p. 75, doi: 10.1186/s12906-024-04373-w.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OBTENCIÓN DE LECHE GELIFICADA DE SOYA PARA ADULTO MAYORES

**Aniely M´Boumba[1], Yisel León[2], Carola Iñiguez[2] y Margarita Núñez de Villavicencio[2]**

[1] Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marinao,
[2] Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, Carrera al Guatao km 3½ La Lisa,
[1]e-mail: yiselleon@iiia.edu.cu, [2]e-mail: anielym@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación consistió en desarrollar una leche gelificada a partir de leche de soya con destino a la alimentación de las personas de la tercera edad. Para la selección de los niveles de sólidos de leche de soya y de la mezcla de estabilizadores se ensayaron contenidos de 6,7 y 8 % y entre 1,05 y 1,45 %, respectivamente; se decidió desarrollar un producto reducido en azúcar. Se seleccionaron como variables de respuesta, el atributo de textura, consistencia y la calidad sensorial global. El análisis de los resultados se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta y optimización numérica de múltiples respuestas. Para establecer la proporción del saborizante de plátano, la formulación óptima fue sometida a un ensayo de ordenamiento con la prueba de Friedman. La leche gelificada fue caracterizada en sus principales indicadores físicos, químicos y microbiológicos y con el propósito de establecer las características sensoriales se efectuó una prueba descriptiva. La evaluación de la aceptabilidad del producto se realizó mediante una prueba de aceptación sensorial poblacional. Los resultados evidenciaron que es posible obtener a partir de leche de soya una leche gelificada libre de lactosa y colesterol, con adecuadas características composicionales y microbiológicas. El resultado en la valoración de la calidad global permitió una evaluación de muy buena, mientras que el 96 % de los participantes evaluaron el producto entre la categoría me gusta mucho y me gusta extremadamente.
El costo del producto por envase de 450 ml es 12,55 CUP.

**PALABRAS CLAVES:** Leche gelificada, soya, adultos mayores

**OBTAINING GELLED SOY MILK FOR OLDER ADULTS**

**ABSTRACT**

The objective of the present investigation consisted of developing gelled milk from soymilk destined for the feeding of the elderly. For the selection of the levels of soy milk solids and the mixture of stabilizers, levels of 6, 7 and 8% and between 1.05 and 1.45% were tested respectively, it was decided to develop a product reduced in sugar, considering as response variable the global sensory evaluation and the attribute of texture, consistency. The analysis of the results was performed using the response surface methodology and numerical optimization of multiple responses. To establish the proportion of banana flavoring, the optimal formulation was subjected to a ranking test using the Friedman test. The gelled milk was characterized in its main physical, chemical and microbiological indicators and to establish the sensory characteristics, a descriptive test was carried out. The evaluation of the acceptability of the product was carried out by means a population sensory acceptance test. It was concluded the possibility of obtaining from soymilk, gelled milk without lactose and cholesterol with adequate compositional, sensory and microbiological characteristics. The result in the evaluation of the overall quality allowed an evaluation of very good, while 96% of the participants evaluated the product between the category I like it a lot and I like it extremely. The cost of the product in a container of 450 ml is 12,55 CUP.

**KEY WORDS:** gelled milk, soy. older adults

## 1. INTRODUCCIÓN

Las leches gelificadas se caracterizan por presentar una consistencia firme con textura blanda y lisa [1], condición que las hace muy recomendables para los adultos mayores con dificultades en la masticación o que padecen de disfagia, síntoma de importante repercusión a nivel físico ya que ocasiona que la

alimentación del anciano no cubra sus necesidades nutricionales y pueda llegar a provocar el síndrome geriátrico de desnutrición. El volumen de producción de estas leches ha experimentado un rápido ascenso a nivel mundial [2],[1].En este postre lácteo, que es una mezcla compleja de productos lácteos combinados con hidrocoloides, edulcorantes naturales y artificiales, al cual se le puede incorporar frutas, colorantes y saborizantes, se toma como ingrediente básico en su formulación la leche en diferentes proporciones, razón por la que son consideradas fuente de calcio, fósforo, magnesio y sodio [3]
.
No obstante, las exigencias cada vez más complejas de los consumidores y el incremento de la demanda de alimentos que provean beneficios a la salud sin sacrificar las características sensoriales de los productos, ha propiciado considerar ingredientes alternativos en el desarrollo de nuevos productos o la reformulación de los ya existentes, resaltando entre estos ingredientes la leche soya. El gran mérito de la leche de soya es la alta calidad nutricional de sus proteínas, su digestibilidad, que no contiene colesterol ni lactosa, su riqueza en ácidos grasos poli insaturados, y otros nutrientes como hierro, zinc, fósforo, magnesio, vitaminas del complejo B y ácido fólico. A la leche de soya le son atribuidas además importantes propiedades benéficas entre las que resaltan la regulación de los niveles de glucosa, la disminución de hipertensión, de los niveles de colesterol y triglicéridos, la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y la osteoporosis [3]; [4].

Los adultos mayores integran un segmento de la población con mayor prevalencia de desnutrición debido a una serie de cambios fisiológicos, sociales, económicos y psicológicos que favorecen la aparición de enfermedades, que a su vez repercuten negativamente en el estado nutricional del anciano, instaurándose de esta manera un círculo vicioso malnutrición-enfermedad [5].

Todo lo explicado anteriormente y la búsqueda de opciones para la alimentación de este sector de la población cubana, propiciaron el desarrollo de la presente trabajo cuyo objetivo consistió en desarrollar y evaluar una leche gelificada a partir de leche de soya con destino a la alimentación de adultos mayores

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se formuló una leche gelifica de soya partiendo de la tecnología desarrollada en el Instituto Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA) [6], en la que se sustituyó leche reconstituida y de búfala por leche de soya. Para la selección de los niveles sólidos totales de la leche de soya 6, 7 y 8 %, se tuvieron en cuenta los niveles de sólidos que se refieren como los más adecuados para leche de soya con destino a diferentes productos como el yogur y la leche chocolatada [7], [8]. Dado que los ingredientes encargados de impartir la textura a la leche gelificada son el almidón y la gelatina, los mismos fueron modificados obteniéndose diferentes muestras con el propósito seleccionar aquella que garantice la textura característica del producto. La elección de los niveles de estabilizadores 1,05; 1,25 y 1,45 % así como las proporciones de gelatina y almidón 64 y 36% respectivamente de la mezcla, se realizó en base a estudios anteriormente llevados a cabo en la institución relacionados con mezcla de estabilizantes en el desarrollo de productos similares a partir de leche de búfala y leche reconstituida [6], [9].

Se utilizó un diseño experimental de superficie de respuesta factorial a 3 niveles ($3^2$) [10]. Para la selección de la mejor variante se utilizó el método de optimización numérica de múltiples respuestas empleando la aplicación informática [10]. Como variables respuesta en cada una de las corridas resultantes del diseño, se consideraron los atributos de textura: homogeneidad y consistencia y se evaluó además la calidad sensorial global [11]. Cada tratamiento se evaluó según lo establecido en la norma correspondiente ; [12]; [11]. mediante una escala de 10 cm de longitud estructurada y acotada en ambos extremos con intensidad creciente de izquierda a derecha en la que se establecieron los extremos desde “ausencia” hasta “muy marcado” para cada atributo, en el caso de la evaluación global como extremos de la escala se consideraron desde pésimo a excelente. Para la selección de la mejor variante se impusieron las siguientes restricciones: Consistencia y homogeneidad entre moderada y marcada, equivalente en la escala estructurada utilizada a puntuaciones de 6,0 a 8,0. En la calidad global, la restricción fue para una puntuación mayor o igual a 8 equivalente en la escala utilizada a una valoración de muy buena a excelente y que presentara el mínimo de estabilizante.

Se tomó como base el grupo poblacional al que va dirigido el producto y la importancia que actualmente se le atribuye al desarrollo de productos lácteos con contenidos reducidos de azúcar incorporada, menos 30% del total de azúcar del patrón [13]. Por lo que se procedió a elaborar una leche gelificada reducida en este ingrediente, por lo cual se adicionó solo un 7 %.

Las variables de control consideradas fueron la acidez total (expresada como porcentaje de ácido láctico) [14], grasa [15]. y sólidos totales [16].
Una vez obtenidos los modelos de mejor ajuste, la selección de la mejor variante se realizó por el método de optimización numérica de múltiples respuestas. Una vez definida la formulación óptima se procedió a determinar el nivel de aromatizante en este caso, el sabor plátano. Las formulaciones ensayadas fueron 0,06; 0,08y 0,10% y se sometidas a una prueba sensorial de ordenamiento con ocho catadores entrenados, estableciendo un orden ascendente, que consideró la tipicidad (calidad e intensidad) del olor y sabor del aromatizante [17].Durante esta prueba se determinó la suma de rango y se realizó comparación estadística mediante la prueba de Friedman para demostrar el reconocimiento de diferencias entre las muestras por los catadores.

Definida la mejor proporción de sabor plátano para evaluar las características generales del producto obtenido y para el estudio de la durabilidad, se realizaron tres corridas experimentales de 100 L.

Para la caracterización del producto, en adición a los análisis establecidos para el control físico- químico de este tipo de producto, se realizaron las determinaciones de: contenido de proteínas [18], de ceniza [19] e hidratos de carbono (por diferencia). Para la realización de los análisis microbiológicos fueron tomadas 5 muestras representativas por cada corrida efectuándose los conteos de microorganismos coliformes [20], conteo de microorganismos a 30 ºC [21]., hongos y levaduras [22]. La calidad sensorial global de la variante seleccionada se determinó mediante una escala descriptiva

Para la caracterización sensorial del producto desarrollado se realizó una prueba descriptiva con la participaron de nueve catadores adiestrados en la cata de este producto, el método utilizado fue el de la discusión y consenso. La evaluación de la aceptabilidad del producto desarrollado se realizó mediante una prueba de aceptación sensorial poblacional en la que participaron 100 consumidores mayores de 60 años, entre ellos los ancianos del hogar del adulto mayor "José Manuel Lazo de la Vega". Se empleó una escala hedónica de 7 categorías, donde correspondió a "me gusta extremadamente" y 1 a "me disgusta extremadamente" [23].

Para el estudio de durabilidad, tres lotes de leche gelificada aromatizada con adecuadas características de composición, calidad higiénica sanitaria y sensorial, envasadas en potes de polipropileno de 450 mL fueron conservados a 4 °C.

Durante el almacenamiento la calidad del producto fue determinada, considerando el uso de criterios sensoriales y microbiológicos. Adicionalmente se realizó la determinación de la acidez, aunque esta determinación no fue tomada en cuenta para la determinación de la vida útil del producto, puede servir de valiosa información sobre posibles alteraciones en alguna de las características del mismo, relacionadas fundamentalmente con la detección de un sabor ácido marcado o muy marcado o la presencia de sinéresis.

La comisión encargada de la evaluación sensorial estuvo constituida por siete catadores entrenados en el producto cada uno de los cuales emitía un criterio basándose en términos de acepto–rechazo. Se le solicitó a los evaluadores que indicaran en la boleta la causa del rechazo (alteraciones en el sabor, olor, consistencia, entre otras). Los lotes se consideraron rechazados siempre que se alcanzó en el dictamen el número mínimo significativo de juicios fallo (muestras rechazadas) para $\alpha = 0,1$ dada por una distribución binomial $p < 0,1$ [24]. Por tratarse de un producto perecedero se decidió efectuar las determinaciones de acidez y la evaluación sensorial diariamente.
Desde el punto de vista microbiológico las determinaciones de los indicadores microbiológicos conteo total de microorganismos, coliformes, hongos y levaduras, se efectuaron cada 72 h y, una vez aparecido algún rechazo, diariamente hasta el fallo. Para la aceptación o rechazo de lote el número de muestras a tomar y los parámetros microbiológicos son los establecidos en la norma cubana correspondiente [25].

Para la estimación de la durabilidad se asumió que el tiempo de vida útil de la leche gelificada se distribuye probabilísticamente de acuerdo a la Ley de Weibull y se utilizó para el ajuste la técnica de riesgo para datos incompletos de fallo admitiendo 5 % de unidades defectuosas [24].

Se estimó el costo que se deriva de la elaboración leche gelificada a partir de leche de soya, gelatina y almidón de maíz, tomándose los modelos de la ficha de costo elaborada en el IIIA, para determinar los costos directos, indirectos y gastos generales, la misma tiene como base de cálculo 1 tonelada de producto (2222 potes de 450 ml). Los precios de las materias primas fueron suministrados por el departamento de contabilidad y finanzas del IIIA. Se tuvo presente en esta evaluación las pérdidas que se generan en el proceso productivo.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

A niveles de sólidos de la de soya de 7 y 8 % para los tres niveles de mezcla de estabilizadores considerada, se obtuvieron puntuaciones entre 9,5 y 8,5 para consistencia equivalentes a geles demasiado fuertes, mientras que la combinación de sólidos de leche y mezcla de estabilizadores que considera los niveles más bajos obtuvo la menor puntuación, motivado probablemente por un gel demasiado blando. La variante que considera el nivel más bajo de sólidos de leche de soya y el medio de estabilizadores, 6 y 1,25 % resultó la mejor valorada al presentar consistencia de gel lisa y firme al corte.

Para todas las variantes la grasa y los sólidos totales de las leches gelificadas entre 1-1,2% y 14-17% respectivamente, se encontraron dentro del rango previsto a obtener de acuerdo con el balance de masa realizado mientras que los valores de acidez entre de 0,09-0,11 % ácido láctico, se consideran normales de acuerdo las especificaciones de calidad para productos similares [26].

Para la variable respuesta homogeneidad se obtuvo que el análisis de varianza de la regresión para el modelo lineal obtenido resultó significativo ($p \leq 0,05$), mientras que en las variables respuesta consistencia y calidad global se obtuvo que el análisis de varianza de la regresión resultó significativo ($p \leq 0,05$) para los modelos cuadráticos. En todos los casos la prueba de falta de ajuste resultó no significativa ($p > 0,05$), mientras que los valores del coeficiente de determinación ($R^2$) indican que los modelos explican adecuadamente las variaciones de la variables respuesta. El análisis de los residuos mostró que los residuos estandarizados siguen la distribución normal y no se detectaron observaciones atípicas.

En el modelo ajustado codificado para la variable respuesta homogeneidad todos los coeficientes resultaron significativos:

Homogeneidad = 8,45+ 0,8167 A + 0,3000 B  $R^2$ =84 %

Los sólidos de le leche de soya son los que más influyen sobre la homogeneidad, evidenciándose, claramente una tendencia a una homogeneidad marcada en la medida en que se incrementa el nivel de sólidos de la leche de soya. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la homogeneidad.

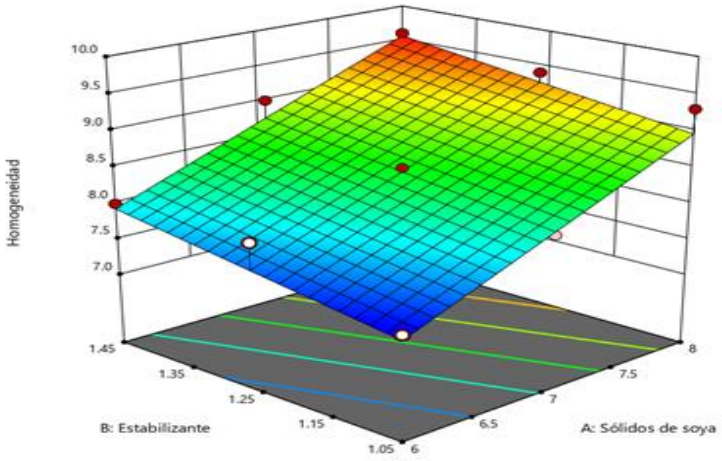



**Figura 1. Superficie de respuesta de la homogeneidad.**

En el modelo ajustado codificado para la consistencia, resultaron significativos ($p \leq 0,05$) los coeficientes de los términos lineales y la interacción entre los dos factores.

Consistencia = 8,73 + 1,12 A + 0,4833 B –0,4750AB – 0,3086 $A^2$ – 0,2086 $B^2$ $R^2$ =95 %

Los sólidos de la leche de soya y la mezcla de estabilizadores son los que más influyen sobre la consistencia, evidenciando una tendencia a que la consistencia sea más firme a medida en que se incrementan los sólidos de la leche y la proporción de estabilizadores Este resultado coincide con los referidos en la literatura [1]. La Figura 2 muestra el comportamiento de la consistencia.

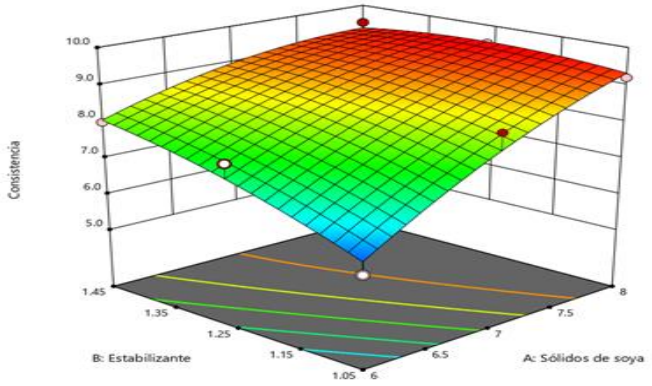



**Figura 2. Superficie de respuesta de la Consistencia**

En el modelo ajustado codificado para la calidad global, todos los coeficientes, excepto el cuadrado del estabilizante, resultaron significativos.

Calidad global = 7,51 – 0,8833 A + 0,5167 B – 0,8250 AB –1,10 $A^2$ –0,5983 $B^2R^2$ =87%

Como se puede observar tanto los sólidos de soya como su interacción con el estabilizante son lo que más influye sobre la calidad global.

Al disminuir los niveles de sólidos de soya y aumentar el estabilizador aumenta la calidad global. Los catadores percibieron una consistencia moderada, un gel firme sin llegar a ser marcadamente fuerte. En la figura 3 se muestra el comportamiento de la calidad global.

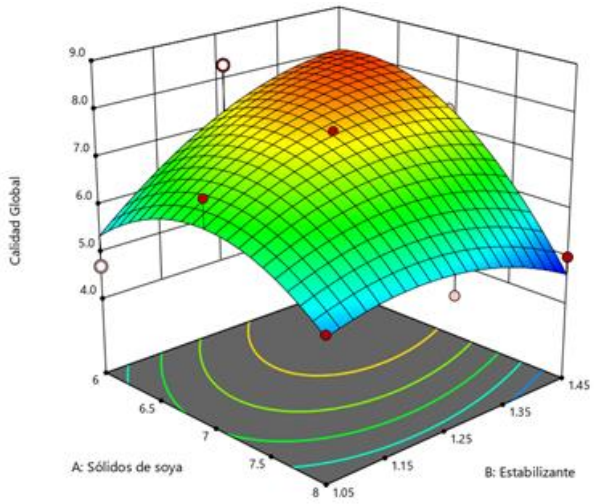



**Figura 3. Superficie de respuesta de la calidad global.**

Como resultado de la optimización numérica se obtuvo una solución que obtuvo las mejores calificaciones y que cumple satisfactoriamente las restricciones impuestas. Fue la que presentó una composición de 1,35% de estabilizantes (0,86 % de gelatina+0,49 % de almidón) y 6,41% de sólidos de leche soya.

Los resultados para la selección del nivel de sabor plátano demostraron con un 95% de confiabilidad que existieron diferencias significativas entre las muestras. Mediante el cálculo de la diferencia mínima significativa, para 3 muestras y 8 evaluadores, se logró concluir que la muestra diferente es la que considera una proporción de sabor plátano de 0,08%. De forma general, en los valores de menor intensidad del sabor hubo una baja valoración de la tipicidad por baja percepción de sabor y con la intensidad más alta, también hubo una baja valoración de tipicidad dada por la detección de un sabor amargo y olor intenso como probable derivación de una dosis excesiva que afecta la calidad global.

La Tabla 1 informa las características generales de la leche gelificada desarrollada y la puntuación alcanzada en la evaluación sensorial global.

Tabla 1: Composición y características generales

| Constituyente | Valor (desviación estándar) |
|---|---|
| Grasa (%) | 1,2 (0,02) |
| Proteínas (%) | 3,2 (0,01) |
| Cenizas (%) | 0,26 (0,01) |
| Hidratos de carbono totales (%) | 9,51 (0,03) |
| Humedad (%) | 85,64 (0,15) |
| Acidez (% de ácido láctico) | 0,09 (0,01) |

| | |
|---|---|
| Calidad sensorialglobal (puntos) | 8,0 |
| Energía (kcal)<br>(kJ) | 62<br>259 |

Los contenidos de grasa y proteína se comportaron acorde con la composición a obtener en el producto, mientras que el de hidratos de carbono totales, se correspondió con los niveles de los oligosacáridos, estaquiosa y rafinosa que aporta la leche de soya 1,92 % (al representar aproximadamente el 30 % de los sólidos de la leche) y el porcentaje de azúcar libre en 7 %.

Si se toma en cuenta que el adulto mayor necesita consumir alimentos ricos en nutrientes pero bajos en calorías, ya que las necesidades energéticas disminuyen con la edad al reducirse gradualmente la actividad física, y la masa muscular [27],[28],el aporte energético del producto desarrollado de solo 62 Kcal (279 calorías según envase considerado de 450 mL), inferior al de productos similares [29], [6], resulta un beneficio para este sector poblacional.

La puntuación alcanzada en la evaluación sensorial global 8 puntos permite una evaluación cualitativa de muy buena, lo que avala una adecuada valoración de las características sensoriales

Los indicadores microbiológicos de conteo total de microorganismos, coliformes, hongos y levaduras cumplieron con las especificaciones establecidas en la norrma < 10 ufc/g [25], lo que avala la adecuada calidad higiénica sanitaria del producto.

Como resultado de la prueba descriptiva realizada mediante el método de la discusión y el conceso, las características sensoriales de este postre lácteo resultaron las siguientes: consistencia de gel firme entre moderada y marcada, sin exudación de suero y dulzor ligero.

El resultado alcanzado en la prueba de aceptación poblacional demostró la gran aceptabilidad que presentó el producto al ser clasificado por el 96% de los participantes entre me gusta mucho y me gusta extremadamente.

Durante la conservación de la leche gelificada, los conteos de los parámetros microbiológicos considerados: conteo total de microorganismos coliformes, hongos filamentosos y levaduras viables no sustentaron el rechazo de los lotes en estudio al resultar inferiores al máximo establecido en la Norma Cubana correspondiente [25], y las variaciones de acidez estuvieron centradas a límites muy estrechos por lo que no existió deterioro del producto por acidificación.

En la medida en que transcurrió el estudio de durabilidad, algunos jueces comenzaron a detectar afectaciones en las características sensoriales. El atributo que influyó decisivamente en las bajas puntuaciones resultó el aspecto.De forma general los panelistas manifestaron afectación relacionada con el desuere en la superficie, lo que provocó finalmente el rechazo de los jueces y el fin del estudio, estableciéndose consecuentemente la vida útil de la leche gelificada mediante criterios sensoriales.

Los parámetros estimados $\alpha$ y ß al percentil del 5 % permitieron establecer la vida útil leche gelificada envasada en potes de 450mL de capacidad provistos de tapas de plásticos y mantenidos a 4ºC en 15 días. Los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov indicaron que los tiempos de fallo pueden ser explicados mediante la distribución de Weibull, confirmándose el estimado de durabilidad obtenido [24],

El costo del producto por envase de 450 ml es 12,55 CUP. La Tabla 2 muestra la ficha de costo para la producción de 1 tonelada de leche gelificada (2222 envase de 450 ml) a partir de leche de soya, gelatina, azúcar, almidón de maíz, sal, saborizante y agua.

Tabla 2: Ficha de costo de la leche gelificada de soya

| Concepto de gastos | CUP |
|---|---|
| Gastos directos | 23838,49 |
| Gastos indirectos de producción | 806,0795 |
| Gastos totales | 24644,57 |
| Precio mayorista | 25129,68 |
| Precio unitario | 12,55 |

## 4. CONCLUSIONES

Se definió la formulación de una leche gelificada a partir de un 91,37 % de leche de soya con 6,41% sólidos totales, 7% azúcar, 1,35% de mezcla estabilizante, 0,2% sal y 0,08% de sabor plátano. El producto con características generales satisfactorias presentó contenidos de proteínas de 3,2 %, de grasa de 1,2 % e hidratos de carbono de 9,51 % La leche gelificada desarrollada, reducida en azúcar, libre de colesterol y lactosa, y con un aporte energético de solo 62 kcal, resulta adecuada para su inclusión como postre en la dieta de los adultos mayores.

El resultado alcanzado en la evaluación de la calidad global permitió una evaluación de muy buena, mientras que el 96% de los consumidores evaluaron el producto entre la categoría me gusta mucho y me gusta extremadamente. El producto desarrollado presentó un sabor definido a plátano, un dulzor equilibrado, y una consistencia de gel firme entre moderada y marcada, sin exudación de suero. La vida útil de la leche gelificada en envases de polipropileno de 450 mL de capacidad conservada a 4 ºC fue de 15 días. El costo del producto por envase de 450 ml es 12,55CUP.

## REFERENCIAS

1.Martínez OL. Desarrollo y evaluación de un postre lácteo con fibra de naranja. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 2008; 15(2):219-25.

2.Irles-Rocamora JA, García-Luna PP.;El menú de textura modificada; valor nutricional, digestibilidad y aportación dentro del menú de hospitales y residencias de mayores. NutrHosp. 2014; 29(4):873-9.

2.Gastón AV. Desarrollo de un postre lácteo congelado a base de leche de soya (*Glicine max*) y leche de vaca. Proyecto especial como requisito parcial para optar por el titulo de Ingeniería en Agroindustria alimneticia en el grado académico de licenciatura. Honduras: Zamorano; 2014.

3.Amaya G M. Elaboración de leche de soya gelificada saborizada. (tesis para Ingeniería delos Alimentos). Bogotá: Universidad de La Salle; 2002.

4.Xner,M.,Hermann,M.,Hofbauer.R.,Genisteinpreventstheglucosaautoxidationmeditedatherogenicmodification of lowdensityprotein. Free Radic Res, 2001,34(1):101-102.

5. Bayarre H., Álvarez M, Pérez J., Almenares K., Rodríguez A., PríaM.C.,Corral A. Enfoques,evolución y afrontamiento del envejecimiento demográfico en Cuba. Pan American Journal of PublicHealth, 2018, 42(21), 8. doi: 10.26633/RPSP.2018.21

6. Regalado O. Leche gelificada a partir de leche de vaca y de búfala. Alimentaria 2001; (323):79-81.

7. NEIAL 110-6737-129 Soyur. Especificaciones. Cuba; 2012.

8. NEIAL 110-6737-39: Leche chocolatada. Especificaciones. Cuba; 2006.

9. León YC. Desarrollo de una leche gelificada con harina de arroz y reducción de azúcar. Alimentaria 2019; 29(3):38-41.

10. Stat-Ease Design Expert. Minnapolis; 2010.

11. Duarte C. (2013). Métodos objetivos para el control de la calidad sensorial. Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 23(2);12-7.

12. NC ISO 13299: Análisis sensorial. Metodología. Guía general para el establecimiento de un perfil sensorial. Cuba; 2008.
13. Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (CE) No 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. Disponible en https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1924&from=DE.
14. NC ISO 11869. Yogur. Determinación de acidez titulable. (Método potenciométrico). Cuba; 2006.
15. NRIAL 042:08 Leches fermentadas. Determinación de materia grasa. (Método de rutina). Cuba; 2008.
16. NC 78-03- Leche y productos lácteos Yogur. Métodos de análisis. Cuba; 1981
17. NC-ISO 8587. Análisis sensorial. Metodología y ordenamiento. Cuba; 2008.
18. NC-ISO-8968-1. Leche. Determinación del contenido de nitrógeno Parte 1. Método Kjeldahl. (Método de referencia) Cuba; 2010.
19. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Chemists. Arlington, VA, Washington DC; 2016.
20. NC/ISO 4832:2010 Microbiología de consumo humano y animal – Método horizontal para la enumeración de coliformes – Técnica de conteo de colonias Método de referencia (ISO 4832:2003, IDT)
21. NC ISO 4833-1:2014. Microbiología de la cadena alimentaria – Método horizontal para la enumeración de microorganismos – Parte 1: Conteo de colonias a 30°C por la técnica de placa vertida (ISO 4833-1:2013, IDT)
22. NC 1004. Microbiología de alimentos de consumo humano y animal – Guía general para la enumeración de levaduras y mohos – Técnica A 25 °C. Cuba; 2016.
23. ISO 11136: Sensory analysis. Methodology. General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area; 2014.
24 Nuñez de Villavicencio, Margarita, René Hernández Álvarez, Ivania Rodríguez Álvarez, José L. Rodríguez, y Yailén López. (2018). «Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. II. Métodos de estimación». Ciencia y Tecnología de Alimentos 27(2):75-82
25. NC 585. Contaminantes Microbiológicos en Alimentos. Requisitos sanitarios. Cuba 2017
26.NRIAL 6737-005-(1987). Leche y sus derivados. Leche de búfala gelificada aromatizada. Especificaciones de calidad.
27. Novartis Requerimientos nutricionales en la tercera edad. Editado por Novartis Consumer Health S.A. 1998.
28. Sociedad Española de Geriatría y Gerontología. La nutrición en el anciano. Guía de Buena Práctica clínica en geriatría. 2013.
29. Iñiguez C (2000)Características del ganado bubalino y su lecheIndustrialización de la leche bubalina en Cuba. Instituid de Investigaciones para la Industria Alimenticia

**Sobre los autores**

**Aniely M'Boumba** Rodríguez: Ingeniera Química (CUJAE, 2005). Master en Ingeniería Alimentaria (CUJAE,2009). Investigador Auxiliar (IIIA 2017). Profesor instructor (CUJAE, 2021). Sus principales líneas de trabajo son helados artesanales e industriales y productos fermentados a partir de leche y soya y revaloriza del suero lácteo.
**Yisel de la Caridad León Alomá**: Licenciada en Ciencias Alimentarias (IFAL, 2018). Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (2018). Sus principales líneas de trabajo son el desarrollo de helados artesanales e industriales y postres lácteos.
**Carola Íñiguez**: Licenciada en Química (UH, 1970). Investigador Auxiliar (IIIA 2024). Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Sus principales líneas de trabajo son el desarrollo e implantación de nuevas técnicas analíticas para la determinación de los índices de calidad físico químicos de leche y derivados, empleo de extensores en leches fermentadas, utilización de cultivos probióticos en leches fermenta-das a partir de leche de búfala. Es miembro del Comité Técnico de Normalización de Leche y Productos Lácteos

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INCORPORACIÓN DE SUERO LÁCTEO EN LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTAS

**Yisel León[1] , Carola Iñiguez[1], Urselia Hernández[1], Aniely M´Boumba[2]**

[1] Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, Carrera al Guatao km 3½ La Lisa,
[2]Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marinao,
[1]e-mail: yiselleon@iiia.edu.cu, [2]e-mail: anielym@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Se evaluó el uso del suero de queso como sustituto de los sólidos no grasos de leche en helado saborizado con pulpa de fruta, mediante la evaluación global del producto y su calidad sensorial. Se empleó la tecnología de helado de leche con un contenido de 7 % de grasa y 7 % de sólidos no grasos de leche. Los niveles de suero de quesería en estudio fueron 15, 25 y 35 %. Los productos obtenidos fueron sometidos a una prueba de ordenamiento, los catadores ordenaron las muestras en orden descendente, considerando la impresión general de textura, basada en los atributos de cuerpo, cremosidad, granulosidad y derretimiento. Se determinaron las características fisicoquímicas de control así como el rendimiento y derretimiento. La diferencia entre las variantes fue establecida mediante análisis de varianza clasificación simple utilizando la prueba de Duncan. A la variante seleccionada elaborada a escala piloto se le determinó su composición y características generales. La calidad sensorial fue establecida mediante una escala evaluativa de 20 puntos. El helado de leche tipo artesanal con adición de pulpa de fruta desarrollado con sustitución del 25 % de sólidos no grasos de leche por sólidos de suero presentó adecuadas características microbiológicas y composicionales y adecuadas características de rendimiento y derretimiento. La puntuación alcanzada en la evaluación sensorial permitió obtener una evaluación cualitativa de muy bueno.

**PALABRAS CLAVES:** Suero de queso, helado, sustitución de sólidos no grasos, evaluación sensorial.

# INCORPORATION OF WHEY IN THE PRODUCTION OF FRUIT ICE CREAM

**ABSTRACT**

The use of cheese whey as a substitute for non-fat milk solids in fruit pulp flavored ice cream was evaluated through overall product evaluation and sensory quality. Milk ice cream technology with a composition of 7% fat and 7% non-fat milk solids content was employed. The levels of cheese whey under study were 15%, 25%, and 35%. The obtained products were subjected to a ranking test, tasters ranked the samples in descending order, considering the overall impression of texture, based on the attributes of body, creaminess, graininess, and melting. The physicochemical characteristics of control as well as the yield and melting were determined. The difference between the variants was established by simple classification analysis of variance using Duncan's test. The selected variant elaborated at pilot scale was determined for its composition and general characteristics. The sensory quality was established using a 20-point evaluation scale. The artisanal type milk ice cream with fruit pulp addition developed with the substitution of 25% of non-fat milk solids by whey solids presented adequate microbiological and compositional characteristics and adequate yield and melting characteristics. The score achieved in the sensory evaluation allowed obtaining a qualitative evaluation of very good.

**KEY WORDS:** Whey cheese, ice cream, non-fat solids replacement, sensory evaluation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El helado uno de los derivados lácteos de mayor popularidad, es un producto alimenticio, higienizado y edulcorado, obtenido a partir de una emulsión de grasas y proteínas con adición de otros ingredientes y aditivos permitidos por la legislación vigente, o bien a partir de una mezcla de agua, azúcares y otros

ingredientes, sometidos a congelamiento, con batido o sin él en condiciones tales que garanticen la conservación del producto en estado congelado o parcialmente congelado durante su almacenamiento y distribución. El helado presenta una textura y grado de plasticidad especial, características que deberá mantener hasta el momento de ser consumido ([NC 47 2009, Pantoja D. 2013 Mora y Maestre 2017).
Entre todos los componentes del helado las leches en polvo entera (LEP) y descremada (LDP) desempeñan un papel muy importante en la estructura del producto, al proveer los sólidos no grasos (SNG). Si estos últimos, se utilizan en poca cantidad se debilita la estructura del helado y si son utilizados en exceso vuelven arenoso al helado, mientras que un balance adecuado garantiza una textura más firme y un cuerpo más cremoso y esponjoso con mayor volumen. Sin embargo, el alto costo de las leches en polvo, ha incentivado la tendencia entre los fabricantes de helados de disminuir costos de elaboración, mediante la sustitución de la leche por otros ingredientes alternativos.
Uno de los ingredientes que consigue disminuir los costos de producción es el suero lácteo, señalándose que las propiedades de sus proteínas le imparten al helado mayor cremosidad y frescura (Aracel 2006). Adiciones de un 25 y 50 % incrementan las características de dureza, la resistencia a derretimiento y la intensidad en el color del producto (Hinojosa, 2021). El uso del suero se encuentra limitado por el alto nivel de lactosa presente (aproximadamente el 70 % del extracto seco total), ya que este disacárido reductor en elevadas proporciones afecta al cristalizar, una propiedad textural en la cual se aprecian pequeñas partículas granulosas en el producto (arenoso) ( Andrade, 2012).

Se conoce que el suero derivado de la producción de quesos resulta un severo contaminante a nivel ambiental y productivo por afectar física y químicamente al suelo lo que provoca la disminución en el rendimiento de las cosechas. Además que su vertimiento en las fuentes de agua hace que la misma se quede sin oxígeno y favorece la acción microbiana que transforma la materia orgánica en compuestos que disminuyen el pH del agua y traen como consecuencia la producción de malos olores y la muerte de los organismos acuáticos que allí se encuentren (Schaller, 2012; Araujo y Monsalve, 2013).

En Cuba, la gestión del suero de quesería, es considerada un problema no resuelto. En el suero se encuentra aproximadamente el 50 % de los sólidos totales de la leche y las proteínas presentan beneficios confirmados para todos los grupos etarios, desde la nutrición infantil hasta la de adultos mayores, por lo que resulta un ingrediente alimenticio dinámico, capaz de desempeñar un papel fundamental en diversas áreas de la salud (Días, 2005.; Teniza, 2008; Parra, 2009; Sanmartin, 2010; Hernández y col.. 2014).Teniendo en cuenta todos estos antecentes se decidió realizar este estudio cuyo objetivo consistió en definir el nivel adecuado de suero de queso para la formulación de un helado de leche saborizado con pulpa de frutas, que presente adecuadas características de calidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación se emplearon las siguientes materias primas:
Leche entera en polvo (LEP): 26% de grasa, 71% de sólidos no grasos (SNG) y 3% de humedad.
Grasa vegetal (GV): De nombre comercial es LACTO 200 P suministrada por La Fabril, Ecuador.
Sal común de producción nacional calidad alimentaria: Granulometría 0.2-1.2CINA:99%, Humedad máx.: 1% .Producido por UEB Salinera (NC 480:2014)
Estabilizador integrado: Estabilizador para helados SPE03492. Producido por LBG Silicia Srl, procedente de Italia.
Pulpa de guayaba 10,2 % sólidos totales. Se consideró el porcentaje de pulpa de guayaba tradicionalmente utilizado en el helado de leche con adición de esta pulpa (NC 47 2009).
Azúcar refino: Humedad % máx. 0.06-0.07, Cenizas (%):0.03-0.07, Tamaño del grano: máx.28 micas (NC 377 2013)
Suero dulce de queso proveniente de la fabricación de queso blanco de vaca con 6,3 % de sólidos totales (NC ISO 6731:2001); 0,15 % de materia grasa (NC ISO 2446 2003) con 0,08 % de acidez (expresado como ácido láctico) (NC 71:2019) y densidad 1,021 g/mL a 15 ºC (NC 119 2018).
El producto fue envasado en recipientes plásticos de 450 mL de capacidad y embalado en cajas de cartón corrugado horadado
Por ser muy apreciados por la mayoría de los consumidores y debido a sus excelentes características texturales se diseñó un helado de leche con 7 % de materia grasa, 7 % de sólidos no grasos de leche y un 25 % mínimo de sólidos totales (NC 47 2009).

Por resultados satisfactorios obtenidos anteriormente relacionados con el uso del suero de queso en helados de crema y en helado de yogur, se consideraron 3 niveles de sustitución de SNG de leche: 15, 20, 25 % por sólidos de suero. (Rodríguez. M' Boumba 2017; .Padrón y col. 2023)
El trabajo experimental se desarrolló en la Planta Piloto de Cereales del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA).
El proceso empleado en la elaboración de la mezcla fue similar al establecido para el helado tradicional de leche. Los ingredientes en polvo, (leche, parte del azúcar, y sal) fueron adicionados bajo constante agitación a la fase liquida de agua – suero, correspondiente al tamaño de masa y al nivel de sustitución de SNG de leche por sólidos de suero 15, 20 y 25 %, en orden creciente de solubilidad, se elevó la temperatura de 35 a 40 ºC. Una vez disueltos, el estabilizador previamente mezclado con parte del azúcar en relación 1:5 m/m (estabilizador – azúcar) para facilitar su dispersión, fue incorporado a la base liquida.

La grasa vegetal previamente fundida fue incorporada bajo agitación constante al total de la masa, este proceso de mezclado se realizó elevando la temperatura de 45 a 70 ºC. Una vez disueltos todos los ingredientes, y para lograr una mejor homogenización de la mezcla, se continuó elevando la temperatura hasta 80-85 ºC, agitándose por 6 minutos. Posteriormente se pasteurizó a 85 ºC por 3 minutos. La mezcla se enfrió entre 4 - 5 ºC y se envejeció a la misma temperatura durante 4 h. Después de madurada la mezcla, se le añadió la pulpa de guayaba y se procedió a la congelación. Se empleó una mezcladora para batir e incorporar aire, el batido de la mezcla se efectuó en dos etapas: primero la mezcla se colocó en cámara a -35 ºC por 2 h para lograr una mezcla semi-congelada (- 5 ºC) y se realizó el primer batido (7 min.), posteriormente se volvió a congelar por 1 h y se realizó el segundo batido (7 min.). El producto se envasó en potes de polipropileno 450 mL, y se conservó a -28 ºC.
Cada corrida experimental fue de 30 L y en cada una se tomaron muestras representativas para la evaluación de las variables de control, contenido de grasa (NRIAL 178: 2003) y de sólidos totales (NC ISO 3728:2006). Las pruebas se realizaron por duplicado para cada nivel de suero ensayado.

Durante el proceso de congelación de las mezclas se controló el Overrum del helado obtenido. Para el cálculo del overrun se utilizó la siguiente expresión: (Ferrer, G 2016)
Para el cálculo del overrun se utilizó la expresión (1)

$$Overrun=\frac{(PNM - PNH)}{PNH}100 \quad (1)$$

Donde
PNM: peso neto de la mezcla.
PNH: peso neto del helado.
El peso del helado se determinó tomando la muestra a la salida del congelador en el envase utilizado (450 mL) llenado cuidadosamente. La mezcla se pesó en igual volumen después de ser envejecida a 4 ºC.
El ensayo del derretimiento, se realizó en un local a 22 ºC a las 24 horas de endurecido el helado a -28 ºC, pesando una porción de helado que fue colocada en una malla de 2 mesh sobre un embudo. El derretido se recogió en una probeta durante 30 minutos. Posteriormente la porción de helado no derretida se pesó y se calculó porcentaje de derretimiento con relación a la porción inicial (Ferrer, G 2016)
La diferencia entre las variantes se estableció mediante un análisis de varianza clasificación simple y la prueba de Duncan. Se consideraron como variable de repuesta el rendimiento y el derretimiento del helado.
Para la valoración sensorial, las muestras del helado, fueron evaluadas a -18°C por 7 catadores adiestrados, quienes ordenaron las muestras en orden descendente de mayor a menor impresión general de textura, basada en los atributos: cuerpo, cremosidad granulosidad, y derretimiento (PAES 2006), se solicitó a los evaluadores particularizaran en la cristalización. En la prueba de ordenamiento se determinó la suma de rangos y se realizó la comparación estadística mediante la prueba de Friedman (Análisis de varianza por rangos) para demostrar el reconocimiento de diferencias entre las muestras por los jueces (NC ISO 8587:2020).
Establecida la mejor variante, se efectuaron 3 corridas experimentales a nivel de 60 L cada una. Para la caracterización físico-química, sensorial y microbiológica, se tomaron 5 muestras representativas de cada lote, y se determinó el contenido de materia grasa y sólidos totales (NRIAL 178: 2003, NC ISO 3728:2006). Además se efectuaron conteos de microorganismos a 30°C (NC ISO 4833-1: 2014),

coliformes totales (NC ISO 4832: 2013), E. coli (NC ISO 7251:2011), Salmonella (NC 1270:2018) y Staphylococcus aureus (NC-ISO 6888:2003).
La evaluación sensorial de la calidad global se llevó a cabo por 7 catadores entrenados, en un local climatizado haciendo uso del procedimiento analítico vigente para el control de calidad sensorial (PAES Instrucción SCC-2-13-01-01-1:2006), Se aplicó el análisis y calificación de los atributos que conforman sus características (NC ISO 11035: 2015).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 1 muestra los resultados de las características fisicoquímicas de control, realizadas a las mezclas para helado, con los 3 niveles de sustitución de SNG de leche por sólidos de suero (NC 47 2009). Todos los resultados se encontraron dentro del intervalo a obtener en este tipo de helado según el balance de masa efectuado.

Tabla 1: Resultados de las características físico-químicas de control

| Variantes adición de suero | Grasa Media | Sólidos Totales Media |
|---|---|---|
| 15 | 7,00 (0,01) | 35,46 (0,35) |
| 25 | 7,10 (0,02) | 35,29(0,42) |
| 35 | 7,00 (0,01) | 35,57 (0,40) |

Valores ( ) representan la desviación estándar n=5

La Tabla 2 presenta los resultados de derretimiento y el rendimiento de los helados con los diferentes niveles de sustitución.

Tabla 2 : Resultados del rendimiento y derretimiento del helado

| Niveles de sustitución de SNG de leche | Rendimiento $\bar{X}$ | Derretimiento $\bar{X}$ |
|---|---|---|
| 15 | 93(0.408)a | 14,2(0.503)a |
| 25 | 94(0.284)a | 13,9(0.156)a |
| 35 | 91(0.295)a | 14,1(0.212)a |

Valores ( ) representan la desviación estándar
Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Respecto al derretimiento y rendimiento de los helados no se encontraron diferencias significativas entre las variantes. El derretimiento se considera típico para este tipo de helado de leche con 7 % grasa, lo que pone de manifiesto que estos niveles de sustitución garantizan una adecuada incorporación de aire a la mezcla durante la etapa de congelación, las variantes probaron además un rendimiento de 90 %, establecido para este tipo de helado

La Tabla 3, informa los resultados de la prueba sensorial de ordenamiento en orden decreciente del helado de leche con adición de suero de quesería según la calidad de la textura.

Tabla 3: Prueba sensorial de ordenamiento

| Suma de rangos | Niveles de sustitución de sólidos no grasos de leche (%) | | |
|---|---|---|---|
| | 15 | 25 | 35 |
| | 11 | 12 | 19 |
| F calculada | 25,53 | | |
| Fα = 0,05 | 7,14 | | |

Los resultados para la selección del nivel de sustitución de SNG de leche por sólidos de suero, tomando en consideración el número de catadores (7), el número de variantes (3) el riesgo asumido que F [F calculada (25,536› F crítica (7,14)], demostraron para 95% de confiabilidad y α=0.05 que existieron diferencias consistentes entre la suma de rangos y por consiguiente, al menos una muestra es diferente. Mediante el cálculo de la diferencia mínima significativa para 3 muestras y 7 evaluadores se logró concluir que la muestra diferente es la que consideró el 35 % cuya suma de rango resultó superior. Los otros dos niveles α = 0,05 no presentaron diferencias siendo seleccionado el mayor nivel de sustitución para la continuación de la etapa de trabajo.

De forma general los catadores manifestaron arenosidad y abundantes cristales de hielo en el producto con la variante que consideró un 35% de sustitución de SNG de leche por sólidos de suero. Este comportamiento pudiera relacionarse con el incremento de la lactosa que provoca este nivel de sustitución, que induce a una mayor cristalización en el helado, por la baja solubilidad de este disacárido reductor, lo que provoca este defecto en la textura por lo que limita el uso del suero de quesería en helados (Rodríguez. M' Boumba 2017, Andrade 2012).

Al no presentar los otros 2 niveles de sustitución diferencias significativas α = 0,05 y dado el rendimiento alcanzado y la característica del derretimiento, se decidió continuar la etapa de trabajo con un nivel de sustitución de 25 %.

La Tabla 4 presenta las características de calidad, composicionales y la evaluación sensorial del helado de leche saborizado con pulpa de guayaba con 25 % de sustitución de los SNG

Tabla 4 : Características composicionales generales y evaluación sensorial del helado con sustitución del 25 % de los SNG de leche

| Constituyente | Valor medio % |
|---|---|
| Grasa | 7.10 (0,02) |
| Sólidos totales | 35.31(0,16) |
| Rendimiento | 94(0.174) |
| Derretimiento | 13,4(0.150) |
| Evaluación sensorial | 18,9 |

Valores ( ) representan la desviación estándar

Los contenidos de grasa y sólidos totales se comportaron acorde al balance de masas realizado para obtener en el producto un 7 % de materia grasa y 35,31 % de sólidos totales. En concordancia con el rendimiento obtenido (overrum) se puede afirmar que durante la etapa de congelación la incorporación de aire se correspondió con lo establecido para helados de leche.

La Tabla 5 presenta los resultados de los indicadores microbiológicos del helado de leche

Tabla 5. Resultados de la calidad microbiológica del producto

| Parámetro | Helado con sustitución de SNG. | Especificaciones (NC 585:2017) |
|---|---|---|
| Conteo Coliformes (ufc/g) | <10 | $<10^2$ |

| | | |
|---|---|---|
| Conteo de microorganismos a 30 `C (ufc/g) | <10 | $<10^5$ |
| Salmonella | Ausencia | Ausencia en 25g |
| E. coli | Ausencia | Ausencia |
| Staph. aureus coag.+ (ufc/g) | < 10 | $< 10^2$ |

Como puede apreciarse los indicadores microbiológicos cumplieron con las especificaciones establecidas en la norma (NC 585: 2017), lo que avala la adecuada calidad sanitaria del producto y el cumplimiento de las buenas prácticas de elaboración.

## 4. CONCLUSIONES

Se obtuvo un helado de leche saborizado con pulpa de guayaba sustituyendo un 25 % de SNG de leche por sólidos de suero de quesería. El helado obtenido presentó adecuadas características sensoriales y de calidad sanitaria. El rendimiento obtenido y las características de derretimiento se consideraron apropiadas para este tipo de helado.

## REFERENCIAS

1. NC 47 Helado Especificaciones. Cuba 2009
2. PANTOJA, D. "Utilización de suero de queso en la elaboración de helado saborizado con pulpa de mortiño (Vacinnium floribundum Kunt)". Tesis de grado previa la obtención del título de Ingeniero en Desarrollo Agropecuario. Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales- Universidad Politécnica Estatal del Carcini. Tulcán, 2013.
3. MORA J, MAESTRE S. *Fundamentos científicos de la Heladería*. Universitat d´Alacant: UNE . 2017. ISBN: 978-84-9717-534-.
4. ARACEL L. "Caracterización del suero lácteo y diagnóstico de alternativas de sus usos potenciales en el salvador". Tesis presentada para optar por el Título de Ingeniero Químico. Universidad del Salvador. 2006.
5. Hinojosa M. Suero de leche para helados bajos en calorías [ref. de 16 de agosto 2021]. Disponible en Web: - https://www.ciatej.mx › comunicación › Noticias › Suer...Acceso CIATEJ
6. Andrade M. Estudio de la harina de quinua y suero de leche en polvo (0, 15 y 25%) como sustitutos de los sólidos no grasos en la elaboración de helados de leche. Tesis de Grado Previa a la obtención del título de Ingeniero en Industrias Pecuarias Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Pecuarias Escuela de Ingeniería en Industrias Pecuaria. Riobamba. Ecuador. (2012)
7. Schaller A Cadenas alimentarias. Sueros de quesería Dirección Nacional de Agroindustria. Alimentos Argentinos. 2012
8. Araujo Guerra Á, V, Monsalve Castro LM. Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. Revista de Investigación Agraria y Ambiental (2013). 4 (2). ISSN 2145-6097
9. Días C. Obtención y estudio de concentrados de proteínas séricas y subproductos de clarificación procedentes de suero de quesería y suero desproteinizado de origen ovino. Memoria para optar por el grado de Doctor en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos. Universidad de Santiago de Compostela. 2005.
10. Teniza. O .Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del mismo Tesis para obtener el grado de Maestro en Tecnología Avanzada Tlaxcala México Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2008.
11. Parra R. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos Rev .Fac .Nal. Agr. Medellín. 2009. 62(1): 4967-4982.

12. Sanmartín B. Aprovechamiento de suero de quesería de origen caprino mediante la obtención de concentrados de proteínas séricas y subproductos de clarificación estudio de sus propiedades tecnológicas. Tesis doctoral Universidad de Santiago de Compostela. 2010.
13. Hernández-Rojas M; Vélez-Ruíz J.F. Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales https://silo.tips › download › suero-de-leche-y-su.accedo Programa de Maestría en Ciencia de los Alimentos. Temas selectos de Ingeniería de los Alimentos. 2014. (8) 2 ,13 -22. Edición PDF
14. NC 480. Sal. Calidad Alimentaria. Cuba; 2014.
15. NC 377. Azúcares blancos. Especificaciones. Cuba; 2013
16. NC ISO 6731. Leche Crema de leche. Determinación de sólidos totales Método de referencia. Cuba 2001
17. NC ISO 2446. Leche Determinación de materia grasa. Metodo de rutina. Cuba 2003
18. NC 71 Leche. Determinación de acidez, Cuba 2019
19. NC119 Leche. Determinación de densidad Cuba 2018
20. Padrón I. Uso del suero de queso en helado de yogur. Trabajo no publicado. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia 2022
21. NRIAL 178 Helados listos para el consumo y mezclas de helados. Determinación del contenido de materia grasa. Método de rutina. Cuba 2003
22. NC ISO 3728. Helado. Determinación del contenido de sólidos totales. Método de referencia. Cuba 2006
23. Ferrer, G. Evaluación del uso de harina de yuca en un helado de crema. Tesis presentada en opción al título de ingeniero químico. Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. 2016
24. PAES Instrucción SCC-2-13-01-01-1:2006. Procedimiento analítico para evaluación sensorial de productos lácteos
25. NC ISO 8587 Análisis sensorial - metodología - ordenamiento. (ISO 8587:2006, IDT). Cuba; 2020.
26. NC ISO 4833-1. Microbiología de la cadena alimentaria –Método horizontal para la enumeración de microorganismos – Parte 1: Conteo de colonias a 30°C por la técnica de placa vertida, Cuba; 2014.
27. NC ISO 4832. Microbiología de alimentos de consumo humano y animal. Guía general para la enumeración de coliformes. Técnica de placa vertida. Cuba; 2013
28. NC ISO 7251:2011 Microbiología de alimentos de consumo humano y animal. Método horizontal para definición y enumeración de E.coli presuntiva. Técnica del número más probable.
29. NC1270:2018. Microbiología de alimentos de consumo humano y animal-Guía general para la detección de salmonella-Método cromogénico y fluorogénico de rutina.
30. NC ISO 6888:2003. Microbiología de alimentos de consumo humano y animal. Método horizontal para la enumeración de staphylococcus aureus y otras especies).Parte 1.
31. NC ISO 11035. Análisis sensorial - identificación y selección de descriptores para el establecimiento de un perfil sensorial mediante un enfoque multidimensional (ISO 11035:1994, IDT). Cuba; 2015.
32. Rodríguez T, M' Boumba A. Utilización de suero de queso en helados Cienc Tecnol Alim. 2017; 21(3).
33. NC 585 Contaminantes microbiológicos en alimentos. Requisitos sanitarios. Cuba 2017

**sobre los autores**

Yisel de la Caridad León Alomá: Licenciada en Ciencias Alimentarias (IFAL, 2018). Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (2018). Sus principales líneas de trabajo son el desarrollo de helados artesanales e industriales y postres lácteos.
Carola Íñiguez: Licenciada en Química (UH, 1970). Investigador Auxiliar (IIIA 2024). Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Sus principales líneas de trabajo son el desarrollo e implantación de nuevas técnicas analíticas para la determinación de los índices de calidad físico químicos de leche y derivados, empleo de extensores en leches fermentadas, utilización de

cultivos probióticos en leches fermenta-das a partir de leche de búfala. Es miembro del Comité Técnico de Normalización de Leche y Productos Lácteos

**Urselia Hernández[1]**

Aniely M'Boumba Rodríguez: Ingeniera Química (CUJAE, 2005). Master en Ingeniería Alimentaria (CUJAE,2009). Investigador Auxiliar (IIIA 2017). Profesor instructor (CUJAE, 2021). Sus principales líneas de trabajo son helados artesanales e industriales y productos fermentados a partir de leche y soya y revaloriza del suero lácteo.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EMPLEO DE DOS CATALIZADORES HETEROGÉNEOS EN LA TRANSFORMACIÓN DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL

**Marilin García Díaz[1], Magda Victoria Acosta Fernández-Getino[1], José Gandón Hernandez[1], Carlos Cordoví Felipe[1], José Raúl Correa[2]**

[1] Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echevarría", CUJAE
[2] Departamento de Química General e Inorgánica, Facultad de Química. Universidad de La Habana.
[1]e-mail: mgarcia@quimica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El uso excesivo del aceite vegetal residual en el proceso de fritura es perjudicial para la salud y, además, por su baja biodegradabilidad, se ha convertido en un problema medioambiental la deposición final de este aceite una vez desechado. Debido a estas razones se estudia su transformación en biocombustible, empleando la reacción de transesterificación. En esta, se ha generalizado la utilización de catalizadores heterogéneos, pues minimiza el riesgo de reacciones colaterales y se pueden extraer, por medios físicos, una vez terminada la reacción para ser reutilizados. Emplear dos catalizadores preparados para estimar el rendimiento de la transformación del aceite vegetal residual es el objetivo de esta investigación. Para que ocurriera la reacción de manera satisfactoria, se sometió previamente al aceite a un proceso de purificación, cuyo material adsorbente fue la zeolita natural. Además, se realizó la reacción de esterificación. En la reacción de transesterificación los catalizadores que se emplearon fueron el óxido de calcio soportado en gamma alúmina (CaO/ ɣ - $Al_2O_3$), y el catalizador CaO obtenido a partir de las cáscaras de huevo. Con ambos catalizadores se evidenció la separación de fases y se obtuvieron rendimientos hasta el 26%.

**PALABRAS CLAVES:** aceite vegetal usado, purificación, transesterificación, catalizadores sólidos, biocombustible.

## USE OF TWO HETEROGENEOUS CATALYSTS IN THE TRANSFORMATION OF RESIDUAL VEGETABLE OIL

## ABSTRACT

The excessive use of the residual vegetable oil in the frying process is harmful for health and, also, due to its low biodegradability, it has become an environmental problem the final deposition of this cooking oil once casted away. Due to these reasons, their transformation in biodiesel is studied, using the transesterification reaction. In this, the use of heterogeneous catalysts has been generalized, because it minimizes the collateral reactions risk and they can be extracted by physical means, once the reaction to be reused is finished. Using two prepared catalysts to estimate the yield of the transformation of the residual vegetable oil is the objective of this research. So that the reaction would befall in a satisfactory way, the oil was previously submitted to a purification process whose adsorbent material was natural zeolite. Besides the transesterification reaction was made with the catalyst calcium oxide supported in gamma alumina (CaO /ɣ - $Al_2O_3$), and the catalyst CaO obtained from the eggs shells. With both catalysts the separation of phases was evidenced and yields until 26%.

**KEY WORDS:** used vegetable cooking oil, purification, transesterification, solid catalysts, biodiesel.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, el proceso de fritura ha sido una de las técnicas de preparación de los alimentos empleadas por el hombre. En la actualidad, los productos fritos tienen una gran popularidad en el mundo, por lo que se han ganado la preferencia de casi todos los consumidores. En este proceso, los aceites vegetales comestibles tienen gran aplicación, ya que actúan como agente transmisor de calor y le aportan al alimento sabor, textura, color y aspecto distintivo. El aceite alcanza temperaturas elevadas entre 150ºC y 200ºC trayendo como consecuencia la aceleración de los procesos químicos y enzimáticos que potencian las reacciones de oxidación, hidrólisis y polimerización [1].

Estas reacciones químicas conducen a la formación de mezclas complejas de productos volátiles y no volátiles, que pueden producir disminución de los componentes nutricionales y aumento en la formación de compuestos tóxicos. Convirtiéndose en un residuo peligroso que al consumirlo puede incidir, de forma directa e indirecta, en muchos problemas de salud [2]. Algunos de los daños más comunes por el consumo excesivo de aceites usados, están relacionados con el hígado, riñón, trastorno del colon, problemas vasculares e incluso un posible cáncer gástrico [3]. El aceite vegetal usado además de causar daños a la salud humana también afecta directamente al medio ambiente si no se manipula de forma adecuada, pues provoca la contaminación de tierras, ríos y mares por su baja biodegradabilidad.

Con el propósito de ofrecer una solución a esta problemática y brindarle un buen aprovechamiento a este residuo, se han estudiado las características de los aceites comestibles usados para ser utilizados como materia prima en la fabricación de biodiesel. Este, es similar al diésel convencional [4], sin afectar el medio ambiente, ya que genera menores emisiones a la atmósfera y es renovable comparado con los combustibles de origen petroquímico [5].

Para la gestión de este residual la transesterificación se considera una solución viable que consiste en una reacción de los triglicéridos que contienen las grasas o aceites con un alcohol de cadena corta, para formar ésteres y glicerina en presencia de un catalizador homogéneo o heterogéneo. En esta reacción, dependiendo del alcohol usado, se obtendrán ésteres metílicos al utilizar metanol, y ésteres etílicos si se utiliza etanol [6]. El uso de un catalizador heterogéneo trae como desventaja el envenenamiento del catalizador, debido a productos o impurezas encontradas en el aceite, que ocupan sitios activos disponibles para la catálisis. Por tal motivo, es necesario que la materia prima principal sea purificada previamente.

Los catalizadores sólidos son sistemas complejos formados principalmente por tres componentes: la fase activa, el soporte y el promotor. El soporte es la matriz sobre la cual se deposita la fase activa y permite optimizar sus propiedades catalíticas. Debe ser poroso y tener un área por gramo elevada, lo que favorece la dispersión de la fase activa, entre otras características. Soportes con actividad catalítica como las alúminas ($Al_2O_3$) son de los más difundidos en esta rama de la ciencia. Durante la preparación se puede garantizar la efectividad de los componentes.

El catalizador básico más empleado en la reacción de transesterificación es el óxido de calcio. Este se puede obtener a partir del carbonato de calcio presente en la cáscara de huevo mediante un tratamiento térmico. Las cáscaras de huevo son desechos que no tienen uso y se descartan a rellenos sanitarios; tan sólo en China se generan 4 000 000 de toneladas anuales. Además, es el residuo sólido más importante de la industria de procesamiento y manufactura de alimentos [7].

Si bien la investigación de catalizadores, derivada de cáscaras de huevo no supera los 10 años, existen diversos autores que han logrado generar catalizadores con resultados comparables a los obtenibles mediante catálisis homogénea. Más aún, existen precedentes de tratamientos de cáscara de huevo que han permitido aumentar el rendimiento global del catalizador [7].

Es por esto que, por primera vez, el grupo de investigación de Ingeniería de los alimentos dirige su atención a la obtención de CaO como catalizador a partir de las cáscaras de huevos para la reacción de transesterificación; pues se han realizado trabajos de diplomas donde el rendimiento no supera el 28% [8,

9]. Es por ello que se plantea el siguiente objetivo: Emplear dos catalizadores sólidos preparados la transformación de aceite vegetal residual. Una vez que se completa la reacción se estima el rendimiento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima fundamental para realizar esta investigación es el aceite de soya usado proveniente de la línea de papas fritas de la fábrica Guatao, perteneciente al establecimiento ¨Elpidio Aguilar Rodríguez¨ de la Empresa de Conservas de Vegetales Doña Delicias.

**Caracterización del aceite vegetal usado**

Se determinan algunos propiedades físico-químicas del aceite de soya usado como la densidad, el grado e índice de acidez, la viscosidad, índice de saponificación, índice de peróxidos e índice de yodo. La primera se realizó a partir del método del picnómetro. La segunda a partir de la norma NC-ISO 660:2001. En el caso de la viscosidad se empleó un viscosímetro capilar de Oswald. Para el índice de saponificación y de peróxidos se empleó las técnicas analíticas que aparecen descritas en el manual de análisis de alimentos, específicamente de aceites y grasas [10].

**Caracterización del material absorbente**

Se empleó como material adsorbente la zeolita natural proveniente del yacimiento de Tasajera, cuya caracterización se realizó en el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM). La composición mineralógica de la zeolita la determinaron por difracción de rayos X (DRX) donde se comprobó que del 70 al 85% de su estructura es de clinoptilolita – modernita. También reportan la composición química y propiedades físicas [11].

**Preparación y caracterización de los catalizadores**

El CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$ fue preparado por el Centro de Investigaciones de la Industria del Petróleo (CEINPET) utilizando el método de impregnación por exceso de disolución en un rotoevaporador (RE). En ese propio lugar se caracterizó mediante la técnica de adsorción-desorción de Nitrógeno a 77 K en un equipo ASAP, Micromeritics modelo 2020 según las normas ASTM D3663-03 y ASTM D4222-03. Este equipo proporciona información sobre el volumen y tamaño de poros y el área superficial de los catalizadores.

El otro catalizador que se utilizó es el CaO obtenido a partir cáscaras de huevo residual. Para su preparación se procede como se describe en la literatura [12-16]: Se lavan las cáscaras de huevo con abundante agua de acueducto procurando que no queden restos de proteínas, y luego con agua destilada dos veces. Se colocan en la estufa a 110°C durante 8 horas para retirar la humedad. Luego, se dejan enfriar en una desecadora para evitar el contacto con el medio.

Posteriormente se tritura con un mortero hasta obtener polvo o tamaños de partículas muy pequeños. Luego se tamizan para clasificarlas por diámetro de partícula con tamices de 0,5 mm, 0,4 mm, 0,355 mm, 0,25 mm, 0,16 mm y 0,05 mm; y se colocan en cápsulas de porcelana. Finalmente, se calcinan colocando las cápsulas de porcelana en la mufla a 900°C durante 4 horas. Una vez terminado el tiempo de calcinación, se dejan refrescar, se retiran las vasijas y se colocan en la desecadora nuevamente. En el periodo que se realizó este trabajo no se dispuso del equipamiento para realizar su caracterización.

**Preparación y purificación del aceite vegetal usado**

Primeramente, se filtra el aceite proveniente de la Empresa de Conservas de Vegetales Doña Delicias utilizando una bomba de paletas para vacío marca MLW modelo DSE2, haciendo uso de papel de filtro Whatman número 202, con una presión de 0,9 kp/$cm^2$. Dicho procedimiento se realizó con el objetivo de eliminar los sólidos suspendidos en el aceite como consecuencia del proceso de fritura.

La purificación se realizó en una columna que se encuentra rellena de zeolita con diámetro de partícula de 2,5 mm, por la cual se hace pasar por la acción de la componente de la fuerza de gravedad el aceite residual previamente calentado. El procedimiento se realiza de la siguiente forma: Añadir a la columna el material adsorbente que en este caso es la zeolita natural. En un erlenmeyer de 1 L que se encuentra en un nivel superior a la columna, añadir el aceite residual para precalentarlo a una temperatura de 70ºC en una plancha de calentamiento RH 3. Abrir la válvula y dejar fluir el aceite para que este entre por el tope de la columna. En este paso se fija un flujo de 1,7 mL/s, tomando como precedente trabajos anteriores [17].

Tomar la muestra de aceite a analizar por el fondo de la columna, el cual sale con una temperatura de 40ºC. Centrifugar la muestra en la centrífuga T32B JANETZKI para separar las partículas de zeolita que puedan permanecer en el aceite, durante un tiempo de 15 min a una velocidad de 9200 rpm. Al aceite purificado posteriormente se le mide la densidad, la viscosidad y el grado de acidez, lo cual se hace por triplicado tomándose la media aritmética como resultado y otro parámetro que también se midió es la absorbancia.

**Diseño de experimento**

Esta investigación se inicia tomando como referencia el trabajo de diploma ¨Utilización del $CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ en la transformación de aceite de soya usado¨ [8]. Por esto se planteó el mismo diseño de experimentos, es decir, un diseño factorial $2^4$ con una réplica, donde las variables a analizar eran: concentración de catalizador, relación molar, tipo de aceite y tiempo de reacción. Esto arrojó un total de 32 corridas por lo que resultó necesario optimizar el diseño ya que no se disponía de suficientes recursos y materia prima para trabajar. Se decide entonces que para alcanzar una D-eficiencia de un 85,66% se necesitaban realizar 12 corridas experimentales.

Con el catalizador preparado a partir de las cáscaras de huevo el procedimiento estadístico que se siguió fue un análisis de Varianza (ANOVA) simple. En este caso se analiza el tamaño de partícula tomando como criterio el estudio bibliográfico [12-16] y la disponibilidad de tamices en el laboratorio. Los tamaños seleccionados fueron: 0,05 mm, 0,25 mm, 0,355 mm y 0,4 mm. En este caso también se trabaja con el *software profesional StatGraphics Centurion versión 17.2*

**Transformación química del aceite vegetal usado**

Para llevar a cabo las reacciones de esterificación y transesterificación hay que conocer la cantidad de reactivos a emplear. Fijando el valor del aceite se puede saber la cantidad de metanol a emplear a través de la relación molar alcohol: aceite. Se trabajó con dos tipos de aceite: aceite de soya refinado y aceite de soya usado.

La esterificación parte de 100 mL de aceite, previamente filtrados para los dos niveles de relación molar y la cantidad de $H_2SO_4$ representa un determinado porcentaje con respecto a la masa de aceite, en este caso se utilizó un 1,5% másico con respecto a la masa de aceite [18]. Esta reacción se lleva a cabo a una temperatura de 60ºC y agitación magnética a 600 rpm durante un tiempo de 1 hora.

La reacción de tranesterificación se llevó a cabo en un balón de dos bocas de 150 mL acoplado a un condensador para evitar la evaporación del metanol. Una vez concluido el tiempo se procede a filtrar la mezcla para separar el catalizador. Se deja reposar y luego se centrifuga sino ocurre la separación de las fases. Luego se determina el rendimiento volumétrico con respecto al volumen inicial de aceite.

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los valores promedios resultados de las mediciones de las propiedades físico-químicas realizadas al aceite vegetal usado.

Tabla 1: Valores promedios de las propiedades físico-químicas del aceite vegetal usado

| **Propiedades** | **Valores** |
|---|---|
| Densidad (kg/m$^3$) | 924,93 |
| Índice de acidez (mgKOH/$g_{aceite}$) | 17,02 |
| Grado de acidez (% en función del ácido oleico) | 8,55 |
| Viscosidad cinemática (mm$^2$/s) | 35,40 |
| Viscosidad dinámica (Pa·s) | 327,38 |
| Índice de saponificación (mg KOH/g de aceite) | 211,31 |
| Índice de peróxidos (meq$O_2$/kg de grasa) | 7,4 |
| Índice de yodo | - |

En la literatura se reporta que el valor de la densidad del aceite residual de soya a 20°C oscila entre 906 y 924 kg/m$^3$ [19]. Los valores del grado e índice de acidez del aceite de soya usado reportados en la tabla se encuentran fuera del límite establecido pues el índice de acidez debe ser como máximo de 0,6 mg de KOH/ g de aceite [20] y el grado de acidez tiene que ser inferior al 2% ya que dificulta en gran medida la reacción de transesterificación heterogénea y puede ocurrir contaminación o envenenamiento del catalizador sólido [21]. Dichos resultados indican la presencia de ácidos grasos libres en el aceite usado, debido principalmente a los ciclos de fritura a los que fue sometido y al tiempo de almacenamiento [22].

Un elevado índice de acidez es consecuencia de la presencia de agua proveniente del producto frito. Además de que a elevadas temperaturas se favorece la reacción de hidrólisis de los triglicéridos aumentando la cantidad ácidos grasos libres [23]. Los valores obtenidos de grado de acidez indican que el aceite debe ser esterificado previo a la reacción de transesterificación para disminuir el porcentaje de ácidos grasos presentes [23].

El valor promedio de la viscosidad cinemática obtenido a 40°C fue de 35,40 mm$^2$/s, valor superior al máximo admitido para los aceites según se reporta en la bibliografía consultada (32,40 mm$^2$/s) [24]. Como era de esperar, se incrementa el valor de esta propiedad con respecto al aceite limpio; siendo esto el resultado de las transformaciones que traen aparejadas el proceso de fritura, fundamentalmente, la reacción de polimerización, favorecida por las elevadas temperaturas, donde los radicales libres que se une entre sí o con los ácidos grasos forman compuestos de mayor tamaño y peso molecular (polímeros) que incrementan la viscosidad del aceite y producen la formación de espuma.

El índice de saponificación obtenido es elevado de acuerdo a la literatura consultada, que reporta como máximo valor para el aceite de soya 195 mg KOH/g de aceite. Esto se debe a que en los aceites de frituras el nivel de ácidos grasos libres se incrementa como se observa en el índice de acidez, además de que ofrece una medida del peso molecular promedio de los triglicéridos que constituyen la grasa. Este índice también refleja la calidad del aceite.

El índice de peróxidos obtenido es superior al valor máximo que reporta la bibliografía consultada, pues esta arroja un valor de 2 $m_{eq}O_2$/kg de grasa. En este caso no se compara dicho producto con los investigados ya que se habla de un aceite puro de soya que no es el caso. Además, la norma española arroja que el índice de peróxidos para un aceite de oliva refinado es de 13,11 $m_{eq}O_2$/kg lo cual, aunque no es comparable con el nuestro se considera aceptable. No obstante, se evidencia un incremento de dicho valor con el nivel de uso del aceite.

**Propiedades de la zeolita empleada**

A la zeolita empleada como material absorbente se le determinó la porosidad, densidad aparente y densidad de partículas. Los resultados obtenidos son 0,56; 0,885 g/mL y 1,99 g/mL respectivamente. En esta investigación se empleó una mezcla de diferentes tamaños de partículas, no obstante, los resultados de la densidad aparente se comparan con los reportados por Sánchez y col. [25] en el que plantea que la densidad aparente varía de 0,68 a 0,83 según el tamaño de partícula analizada. En ese caso, se atribuyen las irregularidades en los valores al grado de compresión y al arreglo de partículas que dependen del tamaño de estas.

**Purificación del aceite sucio**

Se sometió el aceite de soya usado al proceso de purificación mediante la columna rellena con zeolita. A partir de la observación se pudo constatar la limpieza del aceite pues al pasar varias veces por la columna mejora la transparencia del mismo. Esto verifica la efectiva adsorción por parte de la zeolita sobre las impurezas del aceite. Específicamente, puede deberse a que se está operando con la máxima altura del lecho (35 cm) y con un flujo pequeño de 1,7 mL/s, condiciones que favorecen el proceso de adsorción debido a que el tiempo de contacto del aceite con la zeolita es mayor. Además, el tamaño de partícula de 2,5 mm es pequeño, existiendo así, una mayor área interfacial que garantiza también una mayor adsorción [26].

**Caracterización de los catalizadores**

Los análisis realizados al catalizador en estudio $CaO/\gamma - Al_2O_3$ proveniente del CEINPET utilizando la técnica de adsorción-desorción. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por la técnica BET.

**Tabla 2.** Resumen de los resultados obtenidos por la técnica BET

| Catalizadores | Área Superficial BET ($m^2/g$) | Volumen de poro ($cm^3/g$) | Tamaño de poro (nm) |
|---|---|---|---|
| **$\gamma - Al_2O_3$** | 246 | 0,46 | 7,51 |
| **$CaO/\gamma - Al_2O_3$ (CEINPET)** | 153 | 0,35 | 9,26 |

** El equipo brinda los valores en Å, se convierte a nm para cumplir con SIU.*

En la tabla anterior se puede observar la disminución en el valor del área superficial de la muestra obtenida por el método de impregnación por exceso de disolución (153 $m^2/g$) con respecto al soporte $\gamma - Al_2O_3$ (246 $m^2/g$), teniendo en cuenta la deposición del CaO que ha obstruido ligeramente algunos poros de la superficie a través del método de rotoevaporación por la precipitación de más especies de nitrato de calcio utilizado como precursor. La disminución en el valor del volumen de poros (0,35 $cm^3/g$) y el aumento del diámetro de poros (9,26 nm) también se explica por la formación de la monocapa y el taponamiento de los poros de menor tamaño.

La literatura muestra valores de área superficial entre 174 $m^2/g$ [18] y 208 $m^2/g$ [27] y tamaño de los poros entre 20 Å [18] y 156 Å [27] de $\gamma - Al_2O_3$. Sin embargo, sus propiedades pueden ser diferentes a partir del tratamiento empleado para su obtención [28]. De la misma manera la literatura muestra que al realizar la impregnación el área superficial disminuye, pero no de forma sustancial. El catalizador obtenido a partir de las cáscaras de huevo empleado en la investigación está pendiente a su caracterización a través de esta técnica. No obstante, se observa que el producto después de calcinado es muy blanco, con características similares al óxido de calcio reactivo que se encuentra en el laboratorio.

**Esterificación del aceite de soya usado**

Se realizó el proceso de esterificación del aceite de soya residual siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior, procurando disminuir el porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite y así mejorar el rendimiento de la posterior etapa de transesterificación. Las cantidades para llevar a cabo cada reacción se muestran en la tabla 3.

El porcentaje de ácidos grasos libres en el aceite usado era de 8,55%, valor que se encuentra fuera del intervalo establecido, pero al someterlo a la reacción de esterificación este valor disminuyó a 1%, logrando entonces el objetivo propuesto.

**Tabla 3.** Cantidades de reactivos y materia prima para la esterificación

| | **Relación molar** | |
|---|---|---|
| **Cantidad de reactivos** | **1:6** | **1:9** |
| **Volumen de aceite (mL)** | 100 | 100 |
| **Volumen de metanol (mL)** | 25 | 38 |
| **Masa de $H_2SO_4$ (g)** | 1,37 | 1,37 |

**Transesterificación del aceite de soya**

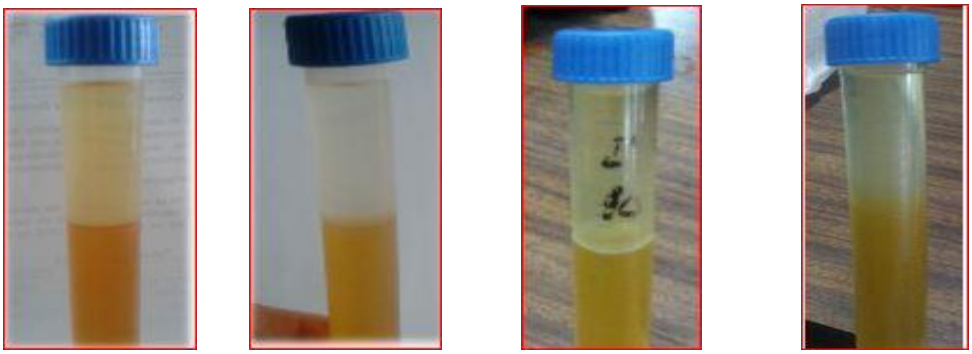
Se utilizó el CaO/ $\gamma - Al_2O_3$ por el método de impregnación por exceso de disolución en el rotoevaporador para efectuar las reacciones a las distintas proporciones, tiempo de reacción y tipo de aceite (esterificado y sin esterificar). En todas las reacciones se evidenció separación de fases, suponiéndose que la fase superior corresponde al biodiesel y la fase inferior a la glicerina, pues no se pudo realizar la caracterización para corroborarlo.

Se comprobó que al aumentar la relación molar aceite: alcohol, el tiempo de la reacción y el porcentaje de catalizador, se obtienen rendimientos mayores que con una relación menor a menores tiempos. Esto se debe a que en la práctica se debe trabajar con un exceso de metanol para lograr un desplazamiento del equilibrio a la derecha, y así escindir el enlace del ácido graso de la glicerina [28], procurando una mayor producción de biodiesel. Mientras mayor sea el tiempo de operación mayor será la interacción entre las partículas de catalizador y las moléculas de aceite favoreciendo al producto deseado, la concentración de catalizador debe encontrarse entre 1 y 6 % para que no se promueva la formación de sales y la emulsificación de la mezcla.

En el caso del CaO obtenido de las cáscaras de huevos se efectuaron las corridas experimentales planificadas con los diferentes tamaños de partículas y manteniendo las proporciones de reactivos y materia prima durante 2 horas según la literatura [7]. Es importante destacar que todo el aceite empleado en estas reacciones es esterificado con la relación molar aceite: alcohol (1:6). En todas las corridas experimentales ocurrió la separación de fases, suponiéndose que la fase superior corresponde al biodiesel y la fase inferior a la glicerina pues no se pudo realizar la caracterización para comprobarlo.

**Rendimiento volumétrico**

En la siguiente figura se muestra los resultados de la reacción de transesterificación empleando el CaO/ɣ-$Al_2O_3$ y el CaO proveniente de las cáscaras de huevos.



A B C D

**Figura 1:** Muestras centrifugadas de la transesterificación empleando el catalizador CaO/ɣ-Al2O3 (A y B) y el CaO proveniente de las cáscaras de huevos ( C y D), al cabo de 1 día de reposo.

El rendimiento volumétrico se calcula en base al volumen inicial de aceite. En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para el catalizador soportado en ɣ-$Al_2O_3$.

**Tabla 4.** Rendimientos volumétricos empleando CaO/ɣ-$Al_2O_3$

| **Corridas** | **Cantidad de catalizador** | **Relación molar** | **Tipo de aceite** | **Tiempo de reacción** | **Rendimiento** |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 3,0 | 9,0 | Sin esterificar | 5,0 | 2,4 |
| **2** | 5,0 | 9,0 | Esterificado | 3,0 | 17,0 |
| **3** | 5,0 | 6,0 | Sin esterificar | 3,0 | 1,0 |
| **4** | 5,0 | 6,0 | Esterificado | 5,0 | 8,0 |
| **7** | 3,0 | 6,0 | Esterificado | 3,0 | 0,6 |
| **9** | 5,0 | 9,0 | Esterificado | 3,0 | 23,0 |
| **10** | 3,0 | 6,0 | Sin esterificar | 5,0 | 5,0 |
| **14** | 5,0 | 6,0 | Esterificado | 3,0 | 3,0 |
| **15** | 3,0 | 6,0 | Esterificado | 5,0 | 7,0 |
| **16** | 3,0 | 9,0 | Esterificado | 3,0 | 26,2 |
| **18** | 3,0 | 9,0 | Sin esterificar | 3,0 | 12,0 |
| **21** | 5,0 | 9,0 | Esterificado | 5,0 | 2,0 |
| 22 | 3,0 | 6,0 | Sin esterificar | 3,0 | 0,5 |
| 24 | 5,0 | 9,0 | Sin esterificar | 5,0 | 14,0 |
| 27 | 5,0 | 9,0 | Sin esterificar | 3,0 | 4,0 |
| 28 | 3,0 | 9,0 | Esterificado | 5,0 | 14,2 |
| 29 | 5,0 | 6,0 | Sin esterificar | 5,0 | 2,0 |

Analizando la tabla anterior se observa que los mayores rendimientos se obtuvieron con el aceite esterificado debiéndose a que disminuye el porcentaje de ácidos grasos y facilita la conversión a ésteres. Sin embargo, uno de los rendimientos más altos fue empleando aceite sin esterificar, pero con la mayor relación molar aceite: alcohol (1:9), concentración de catalizador y tiempo, comprobándose una vez más la influencia de dichas variables en la reacción de transesterificación.

Comparando los rendimientos alcanzados con la literatura [28] se aprecia que no son altos, pues los obtenidos por Enguilo resultaron ser mayores de 80%. Una de las causas de este resultado puede ser la pequeña área superficial que reporta su caracterización, aspecto que influye significativamente en la reacción de transesterificación.

En la tabla 5 se muestran los resultados de la reacción de transesterificación empleando el CaO proveniente de las cáscaras de huevo.

**Tabla 5.** Rendimientos volumétricos empleando CaO (Cáscaras de Huevos)

| Corridas | Tamaño de partículas (mm) | Rendimiento (%) |
|---|---|---|
| **1** | 0,05 | 20 |
| **2** | 0,05 | 20,8 |
| **3** | 0,05 | 18,8 |
| **4** | 0,25 | 19,2 |
| **5** | 0,25 | 21,2 |
| **6** | 0,25 | 24 |
| **7** | 0,355 | 24 |
| **8** | 0,355 | 24,8 |
| **9** | 0,355 | 20 |
| **10** | 0,4 | 26 |
| **11** | 0,4 | 25,6 |
| **12** | 0,4 | 25,88 |

En estas corridas se evidenció para un mayor tamaño de partícula (0,4 mm) un mayor rendimiento. Esto se debe a que mientras mayor sea el tamaño de partícula mayor es el área superficial disponible para llevar a cabo la reacción, que guarda una estrecha relación con el tamaño de poros, dato que está pendiente a determinar.

Al igual que las reacciones anteriores, empleando el CaO/ɣ-$Al_2O_3$ como catalizador, no se obtuvieron altos rendimientos en comparación con la literatura. En este caso, puede deberse a que el catalizador obtenido a partir de las cáscaras de huevo no tenga suficiente óxido de calcio para llevar a cabo la reacción de transesterificación, es por esto que se recomienda caracterizarlo.

No obstante, a pesar que se evidenció separación, existe la posibilidad de que la fase superior sea alcohol, pues en algunas muestras se observó que la misma disminuía en el tiempo, por lo que se supone que existe una evaporación del alcohol. Además, el color que presenta es muy transparente en comparación con otros biocombustibles obtenidos de la misma materia prima.

**Análisis estadístico**

La etapa de transesterificación se analizó desde el punto de vista estadístico con ayuda del programa computacional *Statgraphic Centurion*. Con los rendimientos obtenidos con el catalizador de CaO/ɣ-$Al_2O_3$ a partir del diseño se elaboró un modelo. Una vez analizada las pruebas de calidad de ajuste del modelo se concluye que este no es adecuado, ya que no hay coeficientes significativos resultando este excluyente del modelo. Esas variables no explican la variabilidad de los datos, los niveles no son significativos.

Para el caso del CaO de las cáscaras de huevos en la tabla de ANOVA se obtuvo que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Rendimiento entre un nivel de tamaño de partículas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó la Pruebas de Rangos Múltiples. En la misma se observó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, es decir, en este caso, el mayor tamaño de partículas es el que presenta diferencias, por lo que es donde deben estar los mayores rendimientos de biocombustible.

## 4. CONCLUSIONES

1. Se caracterizó el aceite vegetal residual empleado como materia prima, obteniendo una densidad de 924,93 kg/$m^3$, un índice de acidez de 17,02 $mg_{KOH}/g_{aceite}$, un grado de acidez de 8,55%, una viscosidad cinemática de 35,40 $mm^2/s$, un índice de saponificación de 211,31 $mg_{KOH}/g_{aceite}$ y un

índice de peróxidos de 7,4 $m_{eq}O_2/kg_{grasa}$. Igualmente se caracterizó el aceite limpio obteniéndose resultados inferiores a estos, lo cual corroboró el carácter residual del aceite de soya usado.

2. Se realizó la purificación del aceite con la zeolita en una torre rellena, verificando la efectiva adsorción de parte de la zeolita sobre las impurezas del aceite, pues a pesar que no se pudieron determinar nuevamente las propiedades del aceite, se observó que la transparencia de este mejoró después de pasarlo varias veces por la columna.
3. Se preparó el catalizador a partir del residuo de las cáscaras de huevos por el método de calcinación y posteriormente se clasificó en tamaños de partículas de 0,05 mm, 0,25 mm, 0,355 mm y 0,4 mm.
4. Se desarrollaron los experimentos planificados para la transesterificación con ambos catalizadores heterogéneos ($CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ y CaO), obteniéndose separación en todas las corridas, pero bajos rendimientos. En el caso del $CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ ninguna variable resultó estadísticamente significativa en los intervalos estudiados, mientras que en el CaO se evidenció mayor rendimiento con el tamaño de partícula más grande.

## REFERENCIAS

1. Suaterna Hurtado, A., La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. Perspectivas en nutrición humana, mayo 2009. 11.No. 1: p. 39-53.
2. Sarracent López, A., Estudio de la transformación del aceite de soya usado en ésteres etílicos, in Facultad de Ingeniería Química. Junio 2013, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría": La Habana. p. 77.
3. García Díaz, M., Estudio del aprovechamiento del aceite comestible usado, in Ingeniería química. 2013, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”: La Habana. p. 81.
4. Ramírez Duque, J., Evaluación del uso de biodiésel obtenido a partir de aceite de cocina usado en un motor diésel. El Hombre y la Máquina, 2012(40).
5. Torres Baratute, Y., Estudio de los ésteres metílicos de aceite usado de soya para su uso como combustible, in Ingeniería química. 2014, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana. p. 103.
6. López, L., J. Bocanegra, and D. Malagón-Romero, Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. Enero-Junio 2015. 19(1).
7. Rodríguez Gallardo, J., Estudio de un catalizador heterogéneo derivado de cáscara de huevo para la transesterificación de aceite, in Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. 2017, Universidad de Chile: Santiago de Chile. p. 62.
8. Capote Bello, D., Efectividad del CaO como catalizador en la reacción de transesterificación, in Departamento de alimentos de ingeniería química. 2018, Universidad Tecnológica de la Habana "Jose Antonio Echeverría": Cuba. p. 79.
9. Hernández Medina, L., Utilización del CaO/γ-Al2O3 en la transformación de aceite de soya usado, in Ingeniería química. 2019, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría: La Habana. p. 102.
10. Manual of methods of analysis of foods oils and fats. 2016: p. 113.
11. Mendoza Navarro, L., Pretratamiento del aceite de soya residual con vistas a mejorar el rendimiento y la calidad del biocombustible mediante la reacción de transesterificación homogénea, in Ingeniería Química. Junio 2018, Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría¨: La Habana. p. 68.
12. Ayodeji, A., et al., Data on CaO and eggshell catalysts used for biodiesel production. 2018.
13. Buasri, A., et al., Application of Eggshell Wastes as a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production. 2013. 1.No.2.
14. Niju, S., K. Meera S. Begum, and N. Anantharaman, Modification of egg shell and its application in biodiesel production. Saudi Chemical Society, 2014. 18.
15. Muhammad, R., et al. Utilization of duck eggshell and chicken eggshell as catalyst for biodiesel synthesis from waste cooking oil. 2019.
16. Asri, N., et al., Utilization of eggshell waste as low-cost solid base catalyst for biodiesel production from used cooking oil. 2017. 67: p. 7.

17. Rojas Hernández, L., Eliminación de impurezas en el aceite residual del proceso de fritura empleando zeolita. Junio 2019, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría: La Habana. p. 62.
18. Di Serio, M., et al., Transesterification of soybean oil by using heterogeneous basic catalysts. 2013. Vol 45 No. 9.
19. Rojas González, A. and H. Torres Castañeda, Variables de operación en el proceso de transesterificaión de aceites vegetales. 2010: p. 17-22.
20. Ayala Ramírez, M., Evaluación de la calidad del aceite de mezclas vegetales utilizado en doce frituras sucesivas empleado para freír plátano hartón verde. 2011, Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá. Colombia. p. 41.
21. Da Silva TARN, W.B., Estudo da Redução da Acidez do Óleo Residual para a Produção de Biodiesel utilizando Planeamiento Factorial Fraccionado. 2013. 5. No. 5
22. Herrera Restrepo, J. and J. Velez, Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un biocombustible (biodiesel) in Facultad de Tecnología Química. 2018, Universidad Tecnológica de Pereira: Colombia. p. 82.
23. Bulla Pereira, E., Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura. 2014, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia. p. 196.
24. Azian Morad, N., A. Mustafa Kamal, and T. Yew, "Liquid Specific Heat Capacity Estimation for Fatty Acids,Triacylglycerols, and Vegetable Oils .Based on Their Fatty Acid Composition". JAOCS, 2000. 77.
25. Sánchez, R., et al., Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Junio, 2009. 35.No. 2: p. 147-156.
26. Morales, M.M., Tensión superficial: fenómeno sencillo, fenómeno más que observado, pero tantas veces desconocido por su nombre, in Escuela de Educación Técnica, 2006, Nº1: Argentina. p. 6.
27. Becerra M, C.A., Giraldo SA, Búsqueda de Catalizadores sólidos básicos para la producción de biodiesel. 2010. Vol 21 No. 4.
28. Enguilo Gonzaga, V., Estudio de actividad catalítica de CaO soportado en Al203 en la obtención de biodiesel a partir de aceite de cártamo. 2016, Universidad Autónoma del estado de México, Facultad de Química: Toluca, México. p. 80.

**sobre los autores**

Marilin García Díaz: Facultad de Ingeniería Química. CUJAE. La Habana. Cuba. Ingeniera química. MSc. Ingeniería Alimentaria. Profesora Auxiliar. Miembro: ACTAC, UNAICC, SCQ.

Magda Victoria Acosta Fernández-Getino: Facultad de Ingeniería Química. CUJAE. La Habana. Cuba. Ingeniera química.

José Gandón Hernández: Facultad de Ingeniería Química. CUJAE. La Habana. Cuba. Ingeniero químico. MSc. Especialista en diseño de procesos. Profesor Auxiliar. Especialista de alto nivel de la UNAICC. Miembro: UNAICC, ACTAC, SCQ.

Carlos Cordoví Felipe: Facultad de Ingeniería Química. CUJAE. La Habana. Cuba. Ingeniero químico. DrC. Profesor Auxiliar.

José Raúl Correa: Facultad de Química. UH. La Habana. Cuba. Licenciado químico. DrC. Profesor Auxiliar. Miembro SCQ

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE UNA RESINA ADSORBENTE EN LA FILTRACIÓN DE AGUARDIENTE

**Salomé Alemán Carriazo[1,2], Juan C. González Delgado[1], Lianyí Tejeda Marrero[2], Guido Riera González[2], Luis Cruz Viera[2]**

1 Ronera Santa Cruz del Norte, Cuba Libre No. 1, Santa Cruz del Norte. Mayabeque, Cuba
e-mail:saleman@cubaron.co.cu
e-mail:jcgonzalez@cubaron.co.cu
e-mail:rllerena@cubaron.co.cu
2 Universidad Tecnológica de La Habana José A Echeverría, calle 114, No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao 19390, La Habana, Cuba
e-mail: guido@quimica.cujae.edu.cu
e-mail: lcruz@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se evaluó, a escala de laboratorio, una resina adsorbente en el filtrado de aguardiente añejo correspondiente a un material polimérico poroso utilizado para la eliminación de contaminantes, impurezas y separación de compuestos en otros procesos industriales, como sustituta del carbón activado. Se determinaron las condiciones de operación a nivel industrial resaltando la carga hidráulica, dada por el volumen de líquido por encima de la cama de carbón por unidad de área. Se realizó el escalado inverso o desescalado de un filtro de carbón activado a nivel industrial sobre la base de igualdad geométrica y carga hidrostática, a partir de lo cual se determinaron las dimensiones del equipo a nivel de laboratorio, así como sus parámetros operacionales: diámetro del filtro, altura del líquido por encima de la cama, tiempo de residencia y flujo volumétrico por unidad de área carga hidrostática. La resina investigada provocó cambios en el aguardiente filtrado, pero sin llegar a satisfacer los requerimientos establecidos industrialmente para el aguardiente, siendo el color el parámetro de mayor diferencia con respecto al aguardiente tratado en un filtro con carbón activado.

**PALABRAS CLAVES:** resina de adsorción, filtración, aguardiente, escalado inverso.

**ABSTRACT**

The present piece consists of an evaluation, at a laboratory scale, of the role of an adsorbent resin in the filtration process of “Aguardiente Añejo,” corresponding to a polymeric porous material utilized for the elimination of contaminants, impurities and for the separation of compounds in other industrial processes as a substitute for activated carbon. The operational conditions at an industrial level were determined, emphasizing the hydraulic charge, given by the volume of liquid above the carbon cover by area unit. It was executed a de-escalation, or reverse escalation of a carbon activated filter at an industrial level over the base of geometric equality and hydrostatic charge, from which the dimensions of the equipment at laboratory level were determined, as well as its operational parameters: filter diameter, high of the liquid over the carbon cover, residence time and volumetric flux by area unit of the hydrostatic charge. The researched resin provoked changes in the filtered Aguardiente, but still not reaching the industrially established standards, being “Color” the parameter with greater difference compared to the carbon activated filtered Aguardiente. In this regard the sensorial evaluation reported substantial differences between both filtration processes.

**KEY WORDS:** adsorption resin, filtration, aguardiente, reverse escalation

## 1. INTRODUCCIÓN

El ron constituye la primera bebida espirituosa que se fabricó en los países del Caribe con la llegada de los europeos. Hoy en día existen muchos tipos y marcas de rones que se obtienen por mezclas de alcoholes de origen de caña de azúcar que pueden estar añejados en barriles roble o no , agua, entre otras materias[1].
La historia del ron cubano es tan antigua como la colonización misma. Durante sus inicios, las raíces de la caña procedente de Islas Canarias prendieron en la virgen y fértil tierra cubana, donde encontraron un microclima con condiciones ideales para su crecimiento. Luego de un largo recorrido histórico y de modificaciones tecnológicas se logra en 1862 la producción del ron ligero cubano.
El proceso de fabricación de rones cubanos exige diferentes etapas, las cuales están estrechamente vinculadas con las características organolépticas del producto final y el importante cuidado del medio ambiente. Ejemplo de esto es la etapa de tratamiento con carbón activado del aguardiente añejo diluido, lo cual permite ajustar las propiedades organolépticas a los requerimientos del producto final.
En la Ronera Santa Cruz del Norte se realiza la filtración de aguardientes añejos diluidos usando el carbón activado granular el cual arroja excelentes resultados en el producto final. Este material ofrece un tamaño y estructura de poro capaces de adsorber una amplia gama de tamaños de moléculas. Posee buenas propiedades de adsorción, alta resistencia mecánica y bajo contenido de polvo. Estas cualidades de adsorción superiores facilitan la captura y retención de: contaminantes de color, olores e impurezas. La atracción electrostática y la unión química se utilizan para acumular y atrapar contaminantes en las paredes de los poros y en las superficies exteriores de los gránulos. El tamaño pequeño de los gránulos y la alta porosidad proporcionan un área de superficie que aumenta las tasas de adsorción [2].
En aras de contar con una alternativa de sustitución del carbón activado ante de cualquier contingencia y lograr que la producción de rones no se detenga se plantea la presente investigación cuyo objetivo fue evaluar, a escala de laboratorio, una resina adsorbente en el filtrado de aguardiente añejo correspondiente a un material polimérico poroso utilizado para la eliminación de contaminantes, impurezas y separación de compuestos en otros procesos industriales [3].
Se observa un aumento en el número de publicaciones en las cuales se describe el empleo de resinas macroporosas para la recuperación y la concentración no térmica de compuestos polifenólicos. Se describe también el empleo de resinas para el fraccionamiento de extractos naturales obtenidos a partir de productos y subproductos de la industria alimentaria, entre ellos la cáscara de cítricos y las melazas o para los extractos en disolventes de los licores de autohidrólisis de bagazo [4-5-6-7-8].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de los filtros industriales

Se realizó la caracterización de los filtros dado por sus dimensiones y parámetros operacionales. Las características del carbón empleado se obtuvieron a partir de la información ofrecida por la empresa que lo comercializa, siendo estas su densidad aparente, 400 kg/m$^3$, y porosidad, 0,73.
Se determinaron todas las condiciones industriales de operación que permitieron calcular los parámetros de operación: volumen de la columna, volumen de la cama de carbón, volumen de los espacios vacíos (volumen de huecos), volumen de carbón, masa de carbón y tiempo de residencia.
Para el cálculo de estos parámetros se emplearon las ecuaciones (1) – (11):

$$V = \pi \cdot D^2 \cdot H/4 \qquad (1)$$

donde: V, volumen de la columna (m$^3$); H, altura de la columna (m); D, diámetro interno de la columna (m).

$$V_c = \pi \cdot D^2 \cdot Z/4 \qquad (2)$$

donde: $V_c$, volumen de cama de carbón ($m^3$); D, diámetro de la columna (m); Z, altura de cama de carbón (m).

$$V_h = \xi \cdot V_c \quad (3)$$

donde: $V_h$, volumen de huecos ($m^3$); $\xi$: porosidad.

$$V_{carbón} = V_c - V_h \quad (4)$$

donde: $V_{carbón}$, volumen de carbón ($m^3$)

La porosidad se calculó a partir de la ecuación (5) y el valor obtenido comprobado mediante comparación con el reportado en la ficha técnica del carbón:

$$\rho_a = \rho_p (1 - \xi) \quad (5)$$

donde: $\rho_a$, densidad aparente ($kg/m^3$); $\rho_p$, densidad de partícula ($kg/m^3$).

$$\rho_p = m_c / V_{Carbón} \quad (6)$$

donde: $m_c$, masa de carbón (kg).

$$t_r = V_h / Q \quad (7)$$

donde: $t_r$, tiempo de residencia (h); Q, flujo volumétrico ($m^3/h$).

$$A_t = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (8)$$

donde: $A_t$: área de la sección transversal de la columna ($m^2$).

$$Flux = Q / A_t \quad (9)$$

donde: flux, densidad de flujo volumétrico por unidad de área seccional de la columna ($m^3/m^2.h$)

$$C_h = V_t / A_t \quad (10)$$

donde: $C_h$, carga hidrostática (m); Vt: volumen de tope ($m^3$).

$$V_{tope} = \pi \cdot D^2 \cdot H_t / 4 \quad (11)$$

donde: $V_{tope}$, volumen de tope ($m^3$)**;** Ht, altura de tope de la columna (m).

**Escalado inverso**

El escalado inverso o desescalado se realizó considerando similitud geométrica y como estrategia igual carga hidrostática. Los parámetros de diseño y operación se determinaron a través de cálculos matemáticos, partiendo de las condiciones operacionales determinadas en el filtro industrial descritas anteriormente y utilizando las siguientes relaciones geométricas:

- D/H
- D/Z
- D/Ht

Donde D diámetro interno de la columna (m), Z altura de cama de carbón (m), H, altura de la columna (m) y Ht, altura de tope de la columna (m).

A escala industrial se tomaron muestras de aguardiente añejado diluido, al 54 % v/v, antes (muestra DAA) y después del tratamiento con carbón activado (muestra P). El muestreo se realizó cada 1 h, para un flujo de líquido de 1 500 L/h a través de los filtros de carbón.
A la escala de laboratorio se utilizó la resina PAD 400 (Polydivinylbenzene Macroporoso, resina adsorbente, forma no-iónico) [9] empleando el mismo aguardiente con igual dilución que a escala industrial (muestra DAA). Las muestras fueron tomadas durante el tratamiento, con un tiempo de contacto de 2 h, hasta recolectar 1 400 mL de dilución de aguardiente filtrado (muestra R).

**Determinaciones realizadas**

La densidad se estimó a partir de la expresión (12) [9]:

$$\rho_a = M/V_l \qquad (12)$$

donde: $\rho_a$, densidad aparente (g/mL); N, masa de partículas sólidas (g); $V_l$, volumen del lecho de partículas (mL).
Para determinar la masa de partículas sólidas se empleó una balanza técnica (KERN, Modelo 440-47 N, Alemania) con una precisión 0,1 g. El volumen de agua mediante una probeta graduada de 30 L con escala graduada de 1 mL.
Para el análisis del aguardiente filtrado primeramente se hizo fluir agua desmineralizada a través de la columna de manera reiterada. A cada muestra de aguardiente filtrado (muestra P y R) se le realizó las determinaciones de pH (Hanna Instruments Inc., EE. UU.) con una precisión de 0,01 y un error de medida ≤ 0,02 [10], así como grado alcohólico y color según NC 790: 2007 por el método de densimetría digital ,el equipo utilizado de marca Anton Para ,modelo 5001,Austria [11] y NC 529:2007 [12], respectivamente. El grado alcohólico (GA) se expresó como el porcentaje en volumen del alcohol etílico en la muestra, mientras que el color (C) como unidades de densidad óptica (UDO).

**Análisis estadísticos**

Todos los experimentos se realizaron por triplicado al igual que las determinaciones realizadas. Estas se reportaron como el valor medio con su desviación estándar. Se realizaron pruebas de comparación de medias considerando como causa de variación el medio filtrante ($p \leq 0,05$).
Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa Statgraphics Centurion XVII ((Statistical Graphics, Rockville, MD, EE UU)

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización de los filtros industriales**

El área de fabricación de la Ronera de Santa Cruz del Norte cuenta con una capacidad de filtración mayor de 100000 L/D, en cada filtro se coloca 1 tonelada de carbón activado según las especificaciones operacionales. La fuerza motriz presente en este proceso de filtrado es la diferencia de presión. Para mantener esta diferencia constante se garantiza una altura constante del líquido en la parte superior del filtro, Este proceso tiene un tiempo de duración de 5 h. En la figura 1 se representa esquemáticamente uno de los filtros de carbón activado empleados para la determinación de las condiciones reales de operación.

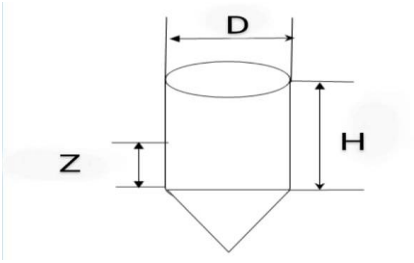



Figura 1: Filtro industrial: D, diámetro interno del filtro; H, altura del filtro; Z, altura de la cama de carbón; Ht, altura de tope de la columna.

A partir del diseño tecnológico de los filtros industriales (KNOW HOW protegido), se procedió a calcular el escalado inverso

**Escalado inverso**

Como se señaló, para el escalado inverso se tomaron las relaciones geométricas y la carga hidrostática (Ch) correspondientes al filtro industrial, a partir de las cuales se determinaron las dimensiones del filtro a escala de laboratorio. Además, se consideraron las propiedades y parámetros operacionales reportados en la Tabla 1.

Tabla 1: Datos adicionales para los cálculos en el desescalado

| | |
|---|---|
| $\xi$ | 0,42 |
| $\rho_a$ (kg/m$^3$) calculada | 586,66 |
| $\rho_p$ (kg/m$^3$) dato del fabricante | 1 020 |

Las dimensiones del filtro a escala de laboratorio se reportan en la Tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones del filtro a escala de laboratorio.

| H (m) | Z (m) | Ht (m) | D (m) |
|---|---|---|---|
| 0,590 | 0,083 | 0,0160 | 0,04 |

Las condiciones operacionales a escala de laboratorio se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones de operación a escala de laboratorio.

| V (m$^3$) | Vc (m$^3$) | Vh (m$^3$) | Vresina (m$^3$) | Vtope (m$^3$) | $A_t$ (m$^2$) | mresina (kg) | $t_r$ (h) | Flux (m$^3$/m$^2$h) | $C_h$ (m$^3$/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $7.10^{-4}$ | $1{,}1.10^{-4}$ | $4.10^{-5}$ | $6.10^{-5}$ | $2.10^{-4}$ | $1{,}3.10^{-3}$ | $6{,}21.10^{-2}$ | 0,767 | 0,0460 | 0,0357 |

Con esta información se construyó el filtro a escala de laboratorio. Con el propósito de conocer si la resina aportaba alguna variación en el pH del aguardiente filtrado se hizo fluir agua desmineralizada a través de la columna, hasta colectar el volumen de un litro al cual se le realizaron las determinaciones de pH. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: pH de las disoluciones obtenidas del lavado de la resina con agua desmineralizada.

| | PAD 400 |
|---|---|
| Promedio | 7,29 |
| Desviación estándar | 0,058 |
| Coeficiente de variación (%) | 0,803 |

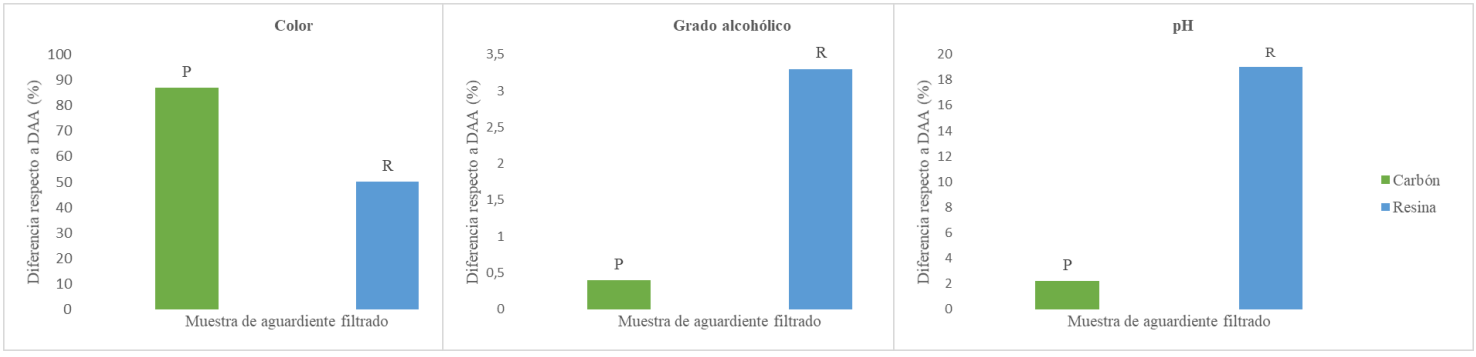
La resina no provocó variaciones significativas ($p \leq 0,05$) en el pH del agua desmineralizada en su paso a través de la columna. Sobre la base de este resultado se realizó una prueba de ~~la~~ filtración de aguardiente. Las muestras se tomaron una vez recolectados 1,4 L de aguardiente filtrado.
En la Tabla 5 se presentan los resultados de la medición del color, grado alcohólico y pH de los aguardientes filtrados con el empleo del carbón y de la resina.

Tabla 5: Evaluación del color (C), grado alcohólico (GA) y pH del aguardiente alimentado (DAA) y los filtrados (P y R) a las 2 h de operación.

| | C (UDO) | Desviación estándar |
|---|---|---|
| DAA | 0,125 | 0,00082 |
| P | 0,016 a | 0,00141 |
| R | 0,063 b | 0,0005 |
| | GA (%) | Desviación estándar |
| DAA | 54,92 | 0,15759 |
| P | 54,71 a | 0,01826 |
| R | 53,10 b | 0,10708 |
| | pH | Desviación estándar |
| DAA | 4,95 | 0,05679 |
| P | 5,07 a | 0,23171 |
| R | 5,90 b | 0,0269 |

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los aguardientes filtrados

Los filtrados obtenidos muestran diferencias significativas en las tres determinaciones realizadas.
En las Figuras 2(a), (b) y (c) se representa gráficamente la diferencia, expresada como porcentaje, de cada una de las citadas determinaciones (P y R) respecto a la muestra de aguardiente diluido sometido a filtración (DAA).




(a) (b) (c)

Figura 2: Diferencia (%) de las muestras P y R respecto a DAA. (a): color; (b) grado alcohólico; (c) pH.

Si bien la resina investigada reduce la coloración del aguardiente tratado, lo hace en menor proporción que el carbón. Mientras que el empleo del carbón provocó una disminución del 87,2 % del color, con la resina se logra una disminución del 49,6 %. Ello significa que el color del aguardiente filtrado mediante la resina posee una coloración 3,9 veces superior al obtenido mediante el carbón. Aunque el poder adsorbente de la resina resulto menor que el del carbón, este resultado corrobora una de las aplicaciones definidas en la hoja técnica de la resina aportada por la fabricante relacionada con la decoloración de caldos de cerveza.

El porcentaje de alcohol en volumen del aguardiente filtrado con el carbón disminuyó solo en un 0,36 % y con la resina esta disminución fue de 3,30 %, siendo el grado alcohólico obtenido mediante el empleo del carbón 1,03 veces superior al correspondiente al empleo de la resina. En el caso de la resina el valor obtenido (53,17 %) rebasa el límite inferior establecido para para este parámetro en la filtración industrial (53,5 %).

Analizando los resultados obtenidos esta variación en la graduación alcohólica esta pudo tener como causas, una pérdida por evaporación al no encontrarse hermetizada la columna experimental y un nivel de absorción de etanol por la resina. No se encontró en la literatura referencia sobre el comportamiento de la resina en relación a la graduación alcohólica.

El pH del filtrado patrón se incrementó 0,12 décimas con respeto al aguardiente alimentado, mientras que en el caso de la resina el aumento fue de 0,95, este aumento podo haber estado provocado por una adsorción de componentes ácidos por la columna de resina. El pH del filtrado patrón puede considerarse en el intervalo establecido industrialmente (4 - 5), no ocurriendo así para el caso del filtrado de la resina.

## 4. CONCLUSIONES

A partir del escalado inverso de un filtro industrial que emplea carbón activado como medio filtrante se determinaron las dimensiones y condiciones operacionales para un filtro a escala de laboratorio para evaluar el comportamiento de una resina en la filtración de aguardiente.

La resina investigada provocó cambios en el aguardiente filtrado, pero sin llegar a satisfacer los requerimientos establecidos industrialmente para el aguardiente, siendo el color el parámetro de mayor diferencia con respecto al aguardiente tratado en un filtro con carbón activado.

## REFERENCIAS

1. Alfonso Sosa Y, Hernández Louit D, Frías Chirino A, Grandón Hernández J, Riera González G. Uso del carbón activado de coco cubano en el filtrado de aguardientes. Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar Vol. 53 No. 3, 2019
2. Padrón, R.; Rodríguez, C.; Gómez, A.; García, A.; González, L. El carbón activado, un material adsorbente. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, 2013. http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad%20de%20Ingenierias/mo13253.pdf. Consultada: 2 marzo 2020
3. Company, P., Purolite Product Guide. Characteristics and Applications 2011
4. Grohmann, K.; Manthey, J.A.; Cameron, R.G.; Buslig, B.S., 1999. Purification of citrus peel juice and molasses. J. Agric. Food Chem. 47, 4859–4860
5. Kammerer, D.; Gajdos Kljusuric, J.; Carle, R.; Schieber, A., 2005. Recovery of anthocyanins from grape pomace extracts (Vitis vinifera L. cv. Cabernet Mitos) using a polymeric adsorber resin. Eur. Food Res. Technol. 220, 431–437
6. Kammerer, D.R.; Carle, R. 2008. Process strategies for the recovery and isolation of phenolic compounds from winery by-products. Electron. J. Environ. Agric. Food Chem. 7, 3226–3230
7. Cardona, J.A.; Lee, J.H.; Talcott, S.T., 2009. Color and polyphenols stability in extracts Bibliografía 195 produced from muscadine grape (Vitis rotundifolia) pomace. J. Agric. Food Chem. 57, 8421–8425
8. Kammerer, J.; Boschet, J.; Kammerer, D.R.; Carle, R., 2011. Enrichment and fractionation of major apple flavonoids, phenolic acids and dihydrochalcones using anion exchange resins. LWT-Food Sci. Technol. 44, 1079–1087
9. Purosorb PAD400.Hoja técnica.www.purolite.com
10. NC ISO 10523: 2016. Determinación del pH [ISO 10523:1994, IDT]

11. NC 290: 2007. Bebidas alcohólicas — Determinación del grado alcohólico en alcoholes, bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas, cocteles y extractos hidroalcohólico
12. NC 529:2007 BEBIDAS ALCOHÓLICAS—DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD COLORANTE EN RONES
13. Raúl G. Tirricella; Esperanza Zamira Utset y Horacio Pulido Álvarez. Evaluación Sensorial aplicada a la investigación, desarrollo y control de calidad de la Industria Alimentaria. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. La Habana, p.70-79.

**Sobre los autores**

**Salomé Alemán Carriazo:** ingeniera química, Maestra del ron cubano.

**Juan Carlos González Delgado:** Dr. C de los Alimentos. Labora en la ronera Santa Cruz desde 1976 en control de calidad e investigaciones, cromatografía de gases, evaluación sensorial y tecnología de ron. Primer Maestro del ron cubano; Presidente del del CTN de Bebidas Alcohólicas y líder del Movimiento de Maestros del Ron Cubano. Ha participado en misiones de trabajo en 13 países y en numerosos congresos y simposios. Tutor de tesis de nivel medio y universitario. Autor de artículos científicos, normas cubanasy formulaciones de licores y rones.

**Lianyí Tejeda Marrero:** ingeniera química

**Guido Riera González:** ingeniero químico, profesor auxiliar de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, doctor en Ciencias Técnicas, jefe del grupo del grupo de investigación de ingeniería de alimentos.

**Luis Cruz Viera:** ingeniero químico, profesor titular de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, doctor en Ciencias Técnicas, coordinador de programas de maestría y doctorado.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SECADO DE LA ALMENDRA DE LA SEMILLA DEL MANGO. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA HARINA

**Frías Chirino, A.[1], Abreu Saíz, S.[2], Leyva Rodríguez, J.L.[2], Mackay Hernández, J.[2], Cruz Viera, L.[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, cujae, calle 114 No. 11901, Marianao, La Habana. [2]Instituto de [2]Investigaciones en Fruticultura Tropical, Ave 7ma No. 3005 e/ 30 y 32, Playa, La Habana.
[*]e-mail: anabel@quimica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Los subproductos generados a partir de la industrialización del mango (Mangífera indica L.), como semillas y cáscaras, podrían representar un importante problema medioambiental si no se siguen políticas adecuadas para su gestión. Diversos estudios han puesto de manifiesto que éstas contienen compuestos bioactivos beneficiosos para la salud humana y pueden ser utilizadas como fuente potencial de ingredientes alimentarios funcionales. El objetivo de este trabajo fue abordar la producción de harina a partir de almendras de semilla de mango (var. Haden) con fines alimentarios. Para ello, se lavaron las semillas con agua para eliminar los restos de pulpa y, a continuación, se separó la almendra de la cáscara. Las almendras se secaron con aire caliente a 45 °C y 60 °C hasta alcanzar un contenido de humedad inferior al 8%. Las cinéticas de secado fueron descritas mediante el modelo de Peleg, obteniéndose un % varianza de 99,04 % y un error medio relativo (EMR) inferior al 12,8 %. Después, se molieron en un molinillo de café comercial (tamaño de partícula 0,20 (0,02) mm) y se envasaron en embalajes ziplot de nailon hasta su caracterización. La harina obtenida tenía 4,80 (0,30) % de humedad, 83,73 (1,20) % de carbohidratos, 6,10 + (0,41) % de proteínas y 2,40 (0,10) % de cenizas. Además, la harina mostró propiedades funcionales interesantes para la industria alimentaria, como el índice de absorción de agua y lípidos (8,67 (0,40) g gel/g muestra) y el índice de solubilidad en agua (23,66 (1,23) %). Además, el contenido fenólico de la harina fue de 108 (0,78) mg de equivalente de ácido gálico/g de producto seco. Estos resultados señalan que la producción de harina a partir de almendras de semilla de mango es una prometedora valorización de este subproducto.

**Palabras claves:** residuos del mango, valorización de residuos, secado convectivo, harina.

## DRYING OF MANGO KERNEL KERNEL. PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE FLOUR

## ABSTRACT

The by-products generated from the industrialization of mango (*Mangífera indica L.*), such as seeds and peels, could represent an important environmental problem if no adequate policies for their management are followed. Several studies have highlighted that these contain bioactive compounds that are beneficial to human health and can be used as a potential source of functional food ingredients. The aim of this work was to address the production of flour from mango seed almonds (Haden var.) for food purposes. Thus, the seeds were washed with water to eliminate pulp residues, and then the almond was separated from the peel. The almonds were dried with hot air at 45 °C and 60 °C until reaching a moisture content of less than 8%. The drying kinetics were described using the Peleg model, obtaining a % variance of 99.04 % and a mean relative error (MRE) of less than 12.74 %. After that, they were ground in a commercial coffee grinder (particle size 0.20 (0.02) mm) and packaged in nylon ziplot packaging until their characterization. The flour obtained had 4.80 (0.30) % of moisture, 83.73 (1.20) % of carbohydrates, 6.10 (0.41) % of protein and 2.40 (0.10) % of ash. The results obtained are similar to those reported in the literature by different authors for similar products. In addition, the flour showed interesting functional properties for the food industry, such as water and lipid absorption index (8.67 (0.40) g gel/g sample) and water solubility index (23.66 (1.23) %). Moreover, the phenolic content in the flour was 108 (0.78) mg of gallic acid equivalent/ g dry product.

These results pointed out that the production of flour from mango seed almonds is a promising valorization of this by-product.

**Key word:** waste recovery, mango waste, convective drying, flour.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las estimaciones de la FAO comunicadas en 2022 se sitúa el porcentaje de la pérdida de alimentos a nivel mundial en el 13,3 %, las frutas y hortalizas representan aproximadamente el 32 % de las pérdidas de alimentos (FAOSTAT, 2022). La forma más prevalente de residuos comprende los subproductos de frutas y hortalizas, como semillas, pulpa, pieles u orujo, que constituyen entre el 10 % y el 35 % de la masa bruta, así como raíces y tubérculos, con residuos que oscilan entre el 40 % y el 50 % del total de descartes, los procesos industriales son las principales fuentes de estos subproductos (Gupta, et al., 2024). Esta gran cantidad de residuos no sólo supone un despilfarro de recursos esenciales, sino que también aumenta la liberación de gases de efecto invernadero, agravando así el impacto medioambiental. Con una huella de carbono de 3,3 millones de toneladas, el desperdicio de alimentos contribuye en gran medida al cambio climático (FAOSTAT, 2022).

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más consumidas, debido a su aroma, sabor y contenido nutricional como carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Ramírez-Brewer, D., 2025, García-Mahecha et al., 2023). Los principales residuos del procesamiento del mango son la cáscara y la semilla. Durante su procesamiento, se genera aproximadamente un 35 - 60% de residuos dependiendo de los cultivares y los productos procesados (Cruz-Trinitat, et. al., 2019), de los cuales 12 - 15% consisten en cáscara, y 15 - 20% corresponden a la almendra (Ramírez-Brewer et al., 2025). La semilla del mango está formada por la cubierta de la semilla, que es una cáscara altamente lignificada que protege a la almendra, siendo la almendra la semilla viable del mango (Vilas-Franquesa, et. al., 2024), esta representa alrededor del 45-85% de la semilla (Das, et. al., 2018).

En general, los subproductos del mango se consideran fuentes baratas de alimentos valiosos e ingredientes nutracéuticos (Cruz-Trinitat et al., 2019). La almendra del mango, en particular, es una buena fuente de almidón y grasa -de la que los ácidos oleico y palmítico constituyen la mayor parte- y proteína, además, contiene cantidades relevantes de compuestos fenólicos como mangiferina, ácido gálico, quercetina, ácido cafeico, ácido ferúlico o ácido cumárico (Vilas-Franquesa et al., 2024). A estos compuestos se suma una serie de antioxidantes minerales como el potasio, el cobre, el zinc, el magnesio, el hierro y el selenio (Gremaline, et al., 2023).

Reportes de la literatura señalan a la harina del mango como una vía para la obtención de una harina rica en fibra dietética, que puede emplearse como ingrediente funcional en productos tales como fideos, panes, bizcochos, galletas, así como otros productos de panadería (Das, et al., 2022). La harina es obtenida del cotiledón o almendra de la semilla a partir de su secado, molido y tamizado, siendo la etapa de secado fundamental para la estabilización de la almendra y con ello la conservación de sus propiedades nutricionales.

Actualmente, el mango es el frutal con mayor representatividad en volúmenes productivos y área cultivada en Cuba, existe una tradición en su cultivo y posee un importante potencial productivo. La Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) de Cuba reportó que la producción nacional de este frutal fluctuó entre 230 000 - 263 000 toneladas en el período 2019 – 2022, alcanzando un rendimiento por área cosechada entre 7-10 t/ha (ONEI, 2023). Durante la cosecha del mango, entre los meses de mayo y julio se produce una “inundación de mango” debido a la estacionalidad del mango y a la sobreproducción durante los periodos de abundancia, por lo que son generados altos volúmenes de desechos producto de su transformación por la industria conservera del país (Toledo et al., 2020), de los cuales solo una pequeña parte de estos son aprovechados para alimento animal, en la mayoría de los casos no son procesadas o se disponen inadecuadamente, situación que contribuye a la proliferación de vectores y la contaminación ambiental.

Estos residuos presentan gran potencial para Cuba dado su elevado contenido en componentes de interés, por lo que su aprovechamiento revertiría en un impacto beneficioso desde el punto de vista social, económico y ambiental. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el secado convectivo de la almendra de mango y las características físico-químicas de la harina que se obtiene a partir de esta.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon almendras de las semillas de mangos maduros de la variedad Haden. Estos se encontraban en estado de madurez fisiológica y sin daños físicos, siendo adquiridos en un mercado local. Los frutos se lavaron con agua corriente procediéndose después a la eliminación manual del epicarpio y el mesocarpio. A las semillas obtenidas se les aplicó un lavado para eliminar los restos de la pulpa remanente. La extracción de las almendras se efectuó de manera manual empleando cuchillos de acero inoxidable; para ello se realizó un corte meridional del endocarpio para la separación de la almendra de la cubierta de la semilla y a su vez, cortados a la mitad, en forma de láminas. Las almendras obtenidas fueron envasadas en bolsas de PVC y almacenadas en congelación y protegidas de la luz solar hasta su utilización para así evitar su deterioro microbiológico y afectaciones en el contenido de sus componentes.

El proceso de secado se realizó en un horno de aire forzado (Labor Műszeripari Művek LP-32012, Hungría). Con el objetivo de evaaluar la influencia de la temperatura en la cinética de secado, se seleccionaron dos niveles: 45 y 60 °C, cada experiencia se realizó por duplicado. En cada experimento se controló la pérdida de peso de las muestras, se midió el peso en una balanza electrónica (Shanghai Bajiu YP3001N ((± 0,1 g), China), cada 15 min las primeras tres horas y posteriormente cada 30 min hasta que las muestras alcanzaron una pérdida de peso despreciable entre una pesada y otra. Después, las muestras se atemperaron durante 30 min en un desecador y fueron envasadas en bolsas de polietileno de doble cierre marca ziplot. Posteriormente, se determinó la humedad final de las muestras por triplicado, empleando una balanza de humedad Denver Instrument (IR35 (± 0,001 g), EE. UU.

Las muestras de almendras de mango deshidratadas se molieron empleando un molinillo eléctrico comercial (Daytron CG9101, Costa Rica) para reducir su tamaño y obtener la harina. La harina obtenida se caracterizó desde el punto de vista físicoquímico: humedad, proteína (Nitrógeno total), grasa pura, carbohidratos totales, cenizas totales y granulometría.

- **Granulometría:** con el objetivo de establecer el tamaño de partícula predominante, se tomaron 100 gramos de muestra de cada uno de los lotes de harina y se colocaron en la parte superior de un juego de tamices ASTM de 0,40, 0,30, 0,25 y 0,18 mm. Los tamices se agitaron por 15 minutos y el peso de la muestra retenida en cada tamiz, se expresó como rendimiento en porcentaje. Esta operación se repitió hasta que la mayor cantidad en peso de las cinco muestras de harinas, quedara retenida en el tamiz de 0.18 mm.
- **Humedad.** El contenido de agua, expresado como porcentaje de humedad, se comprobó de acuerdo con la (NC-ISO 712: 2002).
- **Cenizas totales**. El contenido de cenizas presente en cada una de las muestras de harina analizadas se realizó según la (NC-ISO 2171: 2002) y se expresó como porcentaje de cenizas en base seca mediante la ecuación (1).

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{\text{Peso}_{\text{Crisol+ceniza}}\,(\text{kg}) - \text{Peso}_{\text{crisol vacio}}(\text{kg})}{\text{P de la muestra (kg)}} \cdot 100 \qquad (1)$$

- **Proteína (Nitrógeno total).** Se determinó mediante el método Micro Kjeldhal, indicado en la (AOAC 11: 2001), utilizando un factor de conversión igual a 6,25. Los resultados se expresaron como porcentaje de proteína cruda en base seca.
- **Grasa cruda.** Se realizó según el método (AN 3005: 2001) y el resultado se expresó como porcentaje de grasa cruda en base seca.
- **Carbohidratos totales.** Los resultados fueron calculados por diferencia al restar del 100%, la proporción calculada de humedad, cenizas, proteína y grasa cruda y se expresaron en porciento de carbohidratos en base seca.

- **Índice de absorción de agua (I.A.A) e Índice de solubilidad en agua (I.S.A).** Se determinaron según la metodología establecida por (Anderson y col., 1969), se utilizaron las ecuaciones 2 y 3.

$$\text{I.A.A} = \frac{\text{Peso gel (kg)}}{\text{Pesomuestra b.s (kg)}} \quad (2)$$

$$\text{I.S.A} = \frac{\text{Peso sobrenadante seco (kg)}}{\text{Pesomuestra b.s (kg)}} \cdot 100 \quad (3)$$

- **Determinación del contenido de fenoles totales.** Se determinó mediante el método de Folin - Ciocalteau, procediéndose de acuerdo con lo descrito por Slinkard y Singlenton (1977). Los análisis se realizaron en tubos de ensayo de 15 ml de capacidad, en los cuales se adicionaron 50 µl de la muestra y 2500 µl de solución diluida de Folin (1+9 H2O). Después de esperar 5 minutos, se adicionaron 2000 µl de solución de carbonato de sodio (7,5 %), y posteriormente se esperó 2 horas para leer la absorbancia a 765 nm. El contenido de fenoles fue expresado como g de ácido gálico equivalente/L de extracto y los valores se presentaron como la media de los análisis realizados por duplicado (± desviación estándar).

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se determinó la humedad media inicial de la semilla de mango variedad Haden, alcanzando valores de 54,67 (0,3) kg de agua/kg de materia húmeda. En la Figura 1, se representan las curvas de secado en función de la humedad media adimensional (Ψ) frente al tiempo para las dos condiciones de temperatura estudiadas: 45 °C y 60 °C. La humedad media adimensional se calculó a partir de la ecuación 4, donde el término W es la humedad media (kg de agua/kg de materia seca) en el tiempo t (s), Wo la humedad inicial (kg de agua/kg de materia seca), We, humedad de equilibrio (kg de agua/kg de materia seca). Para la estimación de Ψ se considera We aproximadamente cero. Los valores de We son relativamente pequeños en comparación con W o Wo por lo que el error de simplificación, se consideró despreciable (Sariego, et. al., 2022).

$$\Psi = \frac{W(t) - W_e}{W_o - W_e} \quad (4)$$

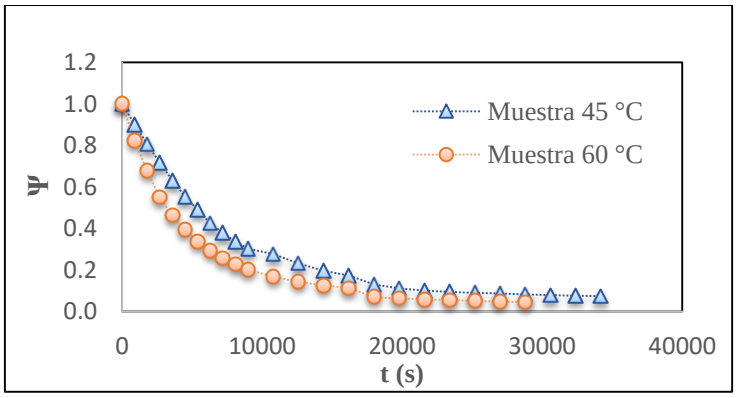



**Figura 1.** Cinéticas de secado de **Ψ vs t**

Como era de esperar el comportamiento de la cinética de secado es el esperado, durante la fase inicial del secado se produjo una rápida eliminación de humedad del producto, que posteriormente disminuyó. Como se ha señalado en la bibliografía, la temperatura afecta a la velocidad de secado, de modo que cuanto mayor es la temperatura más rápida es la deshidratación.

Se empleó el modelo de Peleg (ecuación 1) para describir el comportamiento cinético del secado de la almendra del mango. Donde, $k_1$ y $k_2$ son los parámetros del modelo (Sariego et al., 2022).

$$W(t) = W_o - \frac{t}{k_1 + k_2} \quad (1)$$

En la tabla 1 se muestran los valores medios con su desviación estándar de los parámetros del modelo, $k_1$ y $k_2$. También se reportan los valores de % de varianza (% var) y el EMR (%) para cada cinética analizada, estos son los más desfavorables obtenidos para cada una de las condiciones estudiadas. Los datos se procesaron a través de un análisis de varianza simple y gráficos exploratorios de probabilidad normal con un grado de confianza del 95% en el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XVII.

Tabla 1. Parámetros ajustados del modelo de Peleg.

| T (°C) | $k_1$ | $k_2$ | EMR (%) | % var |
|---|---|---|---|---|
| 45 | 4752,49 (358,14) [a] | 0,6042 (0,2029) [a] | 12,74 | 99,04 |
| 60 | 3322,14 (252,16) [b] | 0,8684 (0,0488) [a] | 11,18 | 99,33 |

* Letras minúsculas diferentes significa que existen diferencias significativas.

En el caso del coeficiente $k_1$ mostró una tendencia significativamente decreciente (p-value < 0,05) con la temperatura, por tanto, su inversa experimenta el comportamiento contrario. Este comportamiento confirma el hecho de que el parámetro $k_1$, considerado como el parámetro cinético del proceso, se encuentra inversamente relacionado con la temperatura del proceso. El coeficiente $k_2$ no presentó variaciones significativas (p-value > 0,05) con respecto a la temperatura de secado, lo cual está en correspondencia con el criterio de que este coeficiente se considera característico del material, no dependiendo por ello de las condiciones de operación. El modelo explica más del 99 % de la variabilidad de los datos experimentales, reportando valores de % EMR cercanos al 10 %, se puede plantear que el modelo de Peleg describe de forma satisfactoria las cinéticas de secado convectivo de la almendra de la semilla de mango. Estos resultados se confirman a partir de la coincidencia de las curvas de secado promedios predichas por el modelo y las curvas determinadas experimentalmente, (Figura 2 a) y b)).

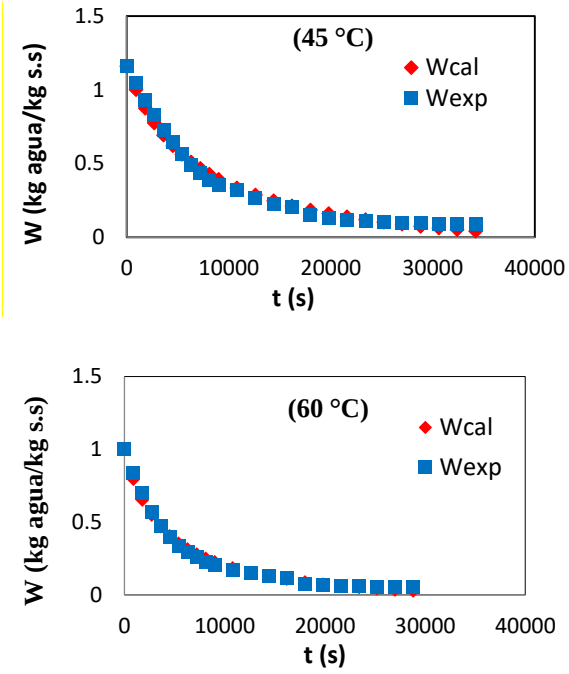



Figura 2. Cinéticas de secado experimental y calculada de la harina de almendra de mango a 45°C y 60 °C
.

La harina de almendra de la semilla de mango fue analizada para establecer su composición físico-química y sus propiedades funcionales, con el fin de establecer la viabilidad de su uso como ingrediente en la industria de alimentos y demostrar que es un producto altamente nutritivo como suplemento alimenticio y aditivo de formulaciones.

A partir de los resultados obtenidos (Tabla 2), se puede plantear que la harina elaborada exhibió propiedades funcionales de interés para la industria de los alimentos, tales como Índice de absorción de agua y lípidos 8,67 (± 0,40) (g gel/ g muestra) e Índice de solubilidad en agua 23,66 (± 1,23) %. Adicionalmente, los resultados mostraron que la harina constituye una fuente de carbohidratos 83,73%, proteínas 6,1 (0,41) % y fenoles 108 (± 0,78) (g de ácido gálico equivalente/kg de producto seco), entre otros compuestos bioactivos. La presencia de fenoles en la harina corrobora las potencialidades de este producto como una fuente potencial de antioxidantes naturales.

**Tabla 2.** Características físico químicas de la harina de almendra de la semilla de mango.

| **Análisis** | **Harina** |
|---|---|
| Tamaño de partícula (mm) | 0,4 (± 0,71) |
| Humedad (%) | 6,2 (0,45) |
| Cenizas totales (%) | 1,87 (0,27) |
| Proteínas (%) | 6,1 (0,41) |
| Grasa cruda (%) | 2,3 (0,60) |
| Carbohidratos totales (%) | 83,73 |
| I.A.A (kg gel/ kg muestra) | 8,67 (± 0,40) |
| I.S.A (%) | 23,66 (± 1,23) |
| Fenoles totales (mg de ácido gálico equivalente/g de producto seco) | 108 (± 0,78) |

* (Desviación estándar)

Los valores obtenidos en esta investigación se encuentran en el orden de los reportados en los estudios consultados en la literatura sobre la caracterización proximal de la harina de semilla de mango (YAOWIWAT, et al, 2024; Uuh-Narvaez et al., 2022). Das, et al., 2022, investigaron la composición proximal de 10 germoplasmas de mango locales no clasificados de diferentes localidades del distrito de Jorhat en Assam, India, obteniendo una harina con la siguiente composición proximal: humedad, 6,03 (0,42) %, proteína, 7,06 (0,26) %, grasa 10,10 (0,71) %, carbohidratos 74,12 (0,84) %, fibra cruda 2,58 (0,71) %, grasa cruda 2,3 (0,60) %, cenizas 2,79 %. También, determinaron la presencia de fenoles totales (25,49 mg equivalentes de catecol /g), además, de varios minerales como calcio, hierro, magnesio y potasio. Estos autores concluyen que la harina de mango es una buena fuente de nutrientes con actividad antioxidante.

Las variaciones en la composición proximal de la harina de la semilla de mango observadas entre los investigadores pueden deberse a variaciones en su composición genética, su estado de madurez, factores climáticos y edáficos, así como a los métodos de determinación utilizados (Das, et al., 2022). Según la norma cubana NC 877: 2022, la harina obtenida en este estudio se clasifica por la cantidad de proteínas en una harina débil (contenido de proteínas < 9,0).

Esta investigación constituye un cambio decisivo en el sistema agroalimentario, nuevo producto, la revalorización de desechos, el cierre de ciclos y un ingreso extra con el incremento de la variedad de productos y subproductos ofertados al mercado local para los transformadores de la industria del mango, tributando a la sostenibilidad y seguridad alimentaria y nutricional en el país.

## 4. CONCLUSIONES

La cinética de secado de la almendra de la semilla de mango fue descrita satisfactoriamente mediante el modelo de Peleg, obteniéndose en todos los casos un % de variación superior al 99 % y un EMR inferior al 12,74 %. Por otra parte, la harina de semilla de mango obtenida tiene características composicionales similares a las obtenidas por otros investigadores, además, presentó propiedades antioxidantes, contenido de fenoles totales, 108 (± 0,78) mg de ácido gálico equivalente/g de producto seco. La harina de la almendra del mango se pudiera utilizar en los productos de panadería como sustituto parcial de la harina de trigo y también, se puede utilizar como alimento para animales después de estudiar los efectos sobre la salud.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. AN 3005: 2001. Extraction of total fat in cereals and Cereal Products using hidrolizyng Unit 1047 in combination with Soxtec extraction systems according to ISO/FDIS 7302.
2. AOAC 11: 2001. Determinación del contenido de nitrógeno. Método Kjedalhl.
3. CRUZ-TRINIDAD B., SANCHEZ-BURGOS J. A., TOVAR, J., SAYAGO-AYERDI, S. G. Y ZAMORA-GASGA, V. M. (2019). In vitro gastrointestinal digestion of mango by-product snacks: Potential absorption of polyphenols and antioxidant capacity. International Journal of Food Science and Technology, 54: 3091–3098.
4. DAS, K., PATHAK, K., BAISHYA, S. (2022). Mango seed kernel: nutrient composition and quality characteristics of oil. Agricultural Research Journal 59 (6) : 1130-1136.
5. DAS, P.C., SATTAR, S., JONY, M.E. AND ISLAM, M.N. (2018). Rehydration kinetics of flour from dehydrated mango kernel. Food Research 2 (5): 474 – 480.
6. FAOSTAT. (2022). Estadísticas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
7. GREMALINE, F. (2023). Characterization and process development of mango seed flour. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 10(8): 121-131.
8. GUPTA, R.K., ALI E.A., ABD EL GAWAD, F., MECHEAL, V., SABRY, H., KARUNANITHI, S., SRIVASTAV, P.P. (2024). Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging applications. Waste Management Bulletin, 2: 21–40.
9. NC 877: 2022. Harina de trigo. Especificaciones.
10. NC-ISO 2171: 2002. Cereales y Productos de Cereales Molidos. Determinación de Cenizas Totales.
11. NC-ISO 2171: 2002. Cereales y Productos de Cereales Molidos. Determinación de Cenizas Totales.
12. NC-ISO 2171: 2002. Cereales y Productos de Cereales Molidos. Determinación de Cenizas Totales.
13. NC-ISO 712: 2002. Cereales y Productos de Cereales. Determinación del Contenido de Humedad.
14. ONEI. (2023). Anuario Estadístico de Cuba 2022. Edición 2023, de la Oficina Nacional de estadística e Información (ONEI) de la República de Cuba. Capítulo 9. Agricultura, ganadería, silvicultura y Pesca.
15. RAMÍREZ-BREWER, D., QUINTANA-MARTÍNEZ, S.E., GARCÍA-ZAPATEIRO, L.A. (2025). Modeling and optimization of microwave-assisted extraction of total phenolics content from mango (Mangifera indica) peel using response surface methodology (RSM) and artificial neural networks (ANN). Food Chemistry, (22) 101420.
16. SARIEGO, Y., CARNERO, R., B. ZUMALACÁRREGUI, B., CRUZ, L. (2022). Tomato skin drying: Mathematical modeling and effect on lycopene content extracted with Moringa oleifera oil. Afinidad Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry 79(596):349-357.
17. SLINKARD, K., SINGLENTON, V.L., (1977). Total, phenol analysis: automation and comparison with manual methods. Am. J. Enol. Vitic. 28, 49 – 55.
18. TOLEDO, D. R., BOTELLO, Y. M., DACAL, J. F. (2020). Propuesta para el procesamiento industrial de la almendra de la semilla de mango. Revista Cubana de Ingeniería, 11(2): 30-37.
19. UUH-NARVAEZ, J., CASTANEDA-PEREZ, E., CHEL-GUERRERO, L., HERNANDEZ-MARTINEZ, D.M., BETANCUR-ANCONA, D. (2023). Assessment of bioactive compounds and antioxidant capacity of peels and seeds from *Mangifera indica* L cv Ataulfo waste. European Food Research and Technology 249:1461–1468.

20. VILAS-FRANQUES, A., VILLASANTE, J. FOGLIANO, V. (2024). Fungal fermentation effectively upcycles mango kernel flour into a functional ingredient. LWT - Food Science and Technology, 206:116558.
21. YAOWIWAT, N., POOMANEE, W., LEELAPORNPISID, P., SRIPATANAKUL, W. (2024). Potential use of Thai mango (*Mangifera indica* Linn. cultivar Chok-Anan) seed porous starch for retention of aroma compounds from coffee extract. International Journalof Biological Macromolecules 265:131033

**Sobre los autores**

**Anabel Frías Chirino:** Graduada de Ingeniería Química (1997). Doctora en Ciencia Técnicas (2011). Profesora Auxiliar de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Desarrolla su trabajo de investigación en el campo de la ingeniería de alimentos.

**Sheyla Abreu Saíz**: Graduada de Ingeniería Química (1998). Especialista Principal del grupo de Industrias y Especialista en Procesos Agroindustriales del Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Diplomado en Producción Limpia (ONUDI). Desarrolla su labor de investigación vinculada a tres líneas principales: Investigación y desarrollo de nuevos productos agroindustriales para el sector frutícola; Aprovechamiento de residuos agroindustriales y cierre de ciclo productivo; Implementación de estrategias de PML en el sector frutícola y usos de fuentes renovables.

**Luis Cruz Viera**: Graduado de Ingeniería Química (1971). Doctor en Ciencias Técnicas (1989). Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Coordinador de programas de formación posgraduada. Desarrolla su trabajo de investigación en el campo de la ingeniería de alimentos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CINÉTICA DEL TRATAMIENTO ENZIMÁTICO DE RESIDUOS DE CAMARÓN PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO

# KINETICS OF THE ENZYMATIC TREATMENT OF SHRIMP WASTE TO OBTAIN CHITOSAN

**Caridad Curbelo Hernández[1], Nelson Iván Cisneros Pérez[2], Galo Arturo Perero Espinosa[2], Luzmila Elizabeth Burbano Mera[2]**

[1]Facultad de Ingeniería Química (CUJAE), calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao
[2]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí, avenida Universitaria y Ché Guevara, Portoviejo, Ecuador

## RESUMEN

El aumento en el cultivo de camarón debido a la demanda de este producto alimenticio, conlleva a un crecimiento de residuos orgánicos, constituidos por la cabeza, vísceras y el exoesqueleto de estos animales cuando son procesados para obtener el músculo comestible. Se conoce que estos residuos contienen minerales, proteínas, pigmentos y quitina. Esta última es un biopolímero de alto valor agregado y con disímiles aplicaciones en diversas industrias al igual que el quitosano, su principal derivado. La transformación del residuo de camarón para la obtención de este compuesto se puede realizar mediante tratamientos químicos, biológicos y enzimáticos o la combinación de ellos. Entre las etapas fundamentales se encuentran la desproteinización y desacetilación de los residuos de camarón *Litopenaeus vannamei*. En esta investigación se estudia la cinética de dichas etapas mediante el uso de enzimas. En la desproteinización de quitina las enzimas utilizadas fueron α-quimotripsina y papaína, mientras que en la desacetilación fue utilizada la enzima beta-glucosidasa. En ambos procesos enzimáticos los resultados experimentales cumplieron con el modelo cinético de Michaelis Menten, lo que permitió la determinación de los parámetros cinéticos en cada caso, a partir de los cuales fue seleccionada la papaína para la desproteinización, debido a que se obtuvo el menor valor de la constante Km, lo que sugiere una mayor afinidad de la enzima por el sustrato, obteniéndose un 67,13 % de deproteinización. En el caso de la desacetilación, los mejores resultados se obtuvieron con una relación enzima/sustrato (E/S) de 1:1, lográndose un porcentaje de desacetilación de 61 %.

*Palabras claves*: cinética, desproteinización, desacetilación, enzimas, quitosano.

## ABSTRACT

The increase in shrimp farming due to the demand for this food product leads to a growth of organic waste, made up of the head, viscera and exoskeleton of these animals when they are processed to obtain edible muscle. These wastes contain minerals, proteins, pigments and chitin. The latter is a biopolymer with high added value and with different applications in various industries, just like chitosan, its main derivative. The transformation of shrimp waste to obtain this compound can be carried out through chemical, biological and enzymatic treatments or a combination of them. Among the fundamental stages are the deproteinization and deacetylation of the residues of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. In this research, the kinetics of these stages are studied with the use of enzymes. In the deproteinization of chitin the enzymes used were α-chymotrypsin and papain, while in the deacetylation the enzyme beta-glucosidase was used. In both enzymatic processes, the experimental results ajusted the kinetic model of Michaelis Menten, which allowed the determination of the kinetic parameters in each case, from which papain was selected for deproteinization, because the lowest value was obtained of Km, which suggests a greater affinity of the enzyme for the substrate, obtaining 67.13% deproteinization. In the case of deacetylation, the best results were obtained with an enzyme/substrate (E/S) ratio of 1:1, achieving a deacetylation percentage of 61%.

*Key Words;* chitosan, deacetylation, deproteinization, enzyme, kinetic

**INTRODUCCIÓN**

El procesamiento industrial del camarón genera residuos sólidos significativos, principalmente exoesqueletos, que representan un promedio del 35 - 40 % del peso del animal [1]. Estos desechos presentan una rica composición química: proteínas (40 %), minerales (35 %), quitina (14 % al 30 %) y pigmentos carotenoides principalmente astaxantina. Además, son una fuente rica de sabores y enzimas, glicosaminoglicanos sulfatados [2] y aminoácidos tales como: metionina, arginina, fenilalanina, valina e histidina [3]. .

La quitina es un biopolímero que forma parte de la estructura de soporte de numerosos organismos vivos, tales como artrópodos (crustáceos e insectos), moluscos y hongos. Se plantea que el contenido de quitina en residuos de crustáceos (camarón) varía entre 14 % - 35 %. Este biopolímero está formado por unidades de 2-acetamida-2-deoxy-β-D-glucosa unidas por enlaces β-(1-4). Se obtiene fácilmente por un tratamiento químico o biológico de residuos de crustáceos con el fin de remover los pigmentos, las sales como el carbonato de calcio y las proteínas que se encuentran asociadas a ella [4].

El quitosano es el principal derivado de la quitina y estos dos biopolímeros presentan muchas aplicaciones en diversas ramas de la economía: tecnología de los alimentos, ciencia de los materiales, microbiología, agricultura, tratamiento de aguas residuales como coagulante, sistemas de administración de fármacos, ingeniería de tejidos, bionanotecnología.

La obtención de la quitina puede desarrollarse mediante tratamientos químicos, biológicos y enzimáticos, y en todos ellos existen tres etapas fundamentales: despigmentación (para la separación de los pigmentos), desmineralización (para eliminar la materia inorgánica) y desproteinización (para la separación de las proteínas). La vía química es la más empleada en la industria debido a su rapidez y bajo costo, aunque presenta como desventajas la generación de desechos corrosivos y la dificultad para recuperar proteínas y pigmentos [5,6].

Los métodos químicos para obtener quitina son altamente contaminantes, mientras que los métodos enzimáticos no presentan estos problemas y permiten la obtención de productos homogéneos y de alta masa molar [7]. El quitosano, derivado principal de la quitina, se obtiene mediante un proceso de desacetilación que afecta sus propiedades y aplicaciones dependiendo del grado de desacetilación (GD) y otros factores [8, 9,10].

Muchos investigadores han aplicado métodos combinados para la obtención de quitina a partir de residuos de crustáceos. En un trabajo reportado se utilizó el método químico para las etapas de despigmentación y desmineralización de exoesqueleto de camarón, mientras que se desarrolló la desproteinización enzimática de la quitina obtenida, utilizando la enzima papaína con una relación másica enzima-sustrato de 0,7:100 y se logró aproximadamente un 44 % de desproteinización. La quitina de cabeza presentó un 68 % de acetilación (GA), mientras que la de exoesqueleto alcanzó un 76 %. Al realizarse un análisis económico preliminar empleando el criterio beneficio/costo se obtuvo un valor igual a 1,83 [11].

En otro trabajo, los autores estudiaron la desacetilación de quitina a partir de exoesqueletos de crustáceos por vía química, utilizando NaOH concentrado a altas temperaturas, alcanzando un elevado porcentaje de desacetilación. La cinética del proceso fue seguido por la variación del ión acetato a través del tiempo y demostraron que la reacción de desacetilación era de primer orden [12].

También ha sido evaluada la reacción de desacetilación de quitina extraída de residuos de camarón, modificando el método químico con NaOH al 50 %, mediante el uso de radiaciones de ultrasonido y microondas en lugar de altas temperaturas de forma independiente. Se demostró que el tiempo de

reacción es un factor importante, obteniéndose un grado de desacetilación (GD) de 88 % a los 10 minutos y 85 % a los 90 minutos con el uso de microondas y ultrasonido, respectivamente [13].

Otro grupo de autores desarrollaron la desacetilación de la quitina extraída de exoesqueletos de camarón asistida con radiaciones de microondas, y estudiaron como factores del proceso la concentración de NaOH, la potencia de la radiación y el tiempo de reacción, resultando todos significativos y se alcanzó un grado de desacetilación de 96 % [14].

La desacetilación enzimática se presenta como una opción más ecológica, utilizando enzimas para catalizar el proceso y obtener un producto homogéneo, soluble e intacto. Sin embargo, estos métodos enzimáticos enfrentan limitaciones en términos de tiempo y costo de las enzimas. Recientemente, se reportó un trabajp donde se llevaron a cabo estudios variando los tiempos de reacción (1, 2, 4, 8 horas) y las relaciones enzima-sustrato (E/S, 0.5:1, 1:1 mg/g). La caracterización del quitosano se realizó mediante métodos potenciométricos y viscométricos para determinar el grado de desacetilación y la masa molar, respectivamente. Los resultados resaltan la posibilidad de obtener quitosano con diferentes grados de desacetilación mediante la optimización de parámetros experimentales. Se observó que los tratamientos enzimáticos afectan el grado de desacetilación, pero no la masa molar, lo que sugiere estrategias para optimizar el proceso mediante el aumento de la concentración de enzima y el tiempo de reacción [15].

El objetivo del presente trabajo es estudiar la cinética de dos procesos enzimáticos en la obtención de quitosano a partir de exoesqueleto de camarón.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describirán las condiciones experimentales para el estudio cinético de los procesos de desproteinización del exoesqueleto de camarón *Litopeneaus vannamei* (previamente despigmentado y desmineralizado) y la desacetilación de la quitina obtenida, ambos con el uso de enzimas.

### Desproteinización enzimñatica de los residuos de camarón

Para la obtención de quitina, el exosqueleto limpio y seco de camarón *Litopeneaus vannamei* se desmineralizó utilizando ácido acético al 5 % (m/v) y luego se realizó la desproteinización enzimática, utilizando proteasas comerciales, basándose en pruebas con papaína y α-quimotripsina como lo indicaron [2, 17, 18]. Se utilizaron soluciones tampón 1M Tris-HCl, pH 8 y 0,05M L-cisteína pH 8, donde sugieren una relación desecho-tampón de 1:20. Para cada ensayo, se prepararon soluciones al 0,7 % y al 0,5 % para la proporción enzima - quitina, se mantuvieron a pH 8 y se agitaron a 40 °C durante 72 horas (ver tabla 1). Los tratamientos se realizaron por triplicado y se analizaron al inicio y final del proceso.

La enzima se inactivó a 90 °C durante 10 minutos, se filtró el precipitado al vacío y se enjuagó con agua destilada. El precipitado se secó a 40 °C durante 24 horas [19] y se almacenó para su análisis posterior.

**Tabla 1.** Diseño experimental para la desproteinización enzimática

| Enzima | Relación E/S (g/g) | Enzima:sustrato (mg/g) | Tampón (mL) |
|---|---|---|---|
| α quimotripsina ≥ 40 U/mg | 0,5:100 | 7,5:1,5 | 30 |
| | 0,7:100 | 9,1:1,3 | 26 |
| Papaína (3,18 U/mg) | 0,5:100 | 50:10 | 200 |
| | 0,7:100 | 70:10 | 200 |

**Desacetilación enzimática de la quitina obtenida**

Para la desacetilación de la quitina y su transformación en quitosano se usó una enzima quitina desacetilasa comercial (obtenida generalmente de cepas fungi de *Mucor rouxii* o *Bacillus* turingiensis), que produjo la reacción de la N-acetil glucosamina para dar como resultado la quitina desacetilada (quitosano) en una relación enzima:sustrato recomendada de 1:20 [19]. Previamente, se hizo reaccionar la quitina en una relación 1:30 (m/v) con una solución de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) al 5 %, ajustando el pH de la solución a 4, ideal para la actividad de la enzima y de esta forma incrementar la solubilidad de la quitina y facilitar la acción de la enzima. Posteriormente, se agregó la enzima beta-glucosidasa en diferentes proporciones con el sustrato (quitina enzimática) en proporciones enzima:sustrato (E:S) 0,5:1 y 1:1 (mg/g). La reacción se llevó a cabo con reflujo a una temperatura de 40 °C con agitación durante 1, 2, 4 y 8 horas para cada proporción. En la tabla 2 se detalla el diseño experimental utilizado para la desacetilación de la quitina obtenida por desproteinización enzimática.

**Tabla 2.** Diseño experimental para la desacetilación enzimática

| Muestras | Cantidad de enzima beta-glucosidasa (mg/g) | Tiempo (h) |
|---|---|---|
| Q1 | 0,5 | 1 |
| Q2 | 0,5 | 2 |
| Q3 | 0,5 | 4 |
| Q4 | 0,5 | 8 |
| Q5 | 1 | 1 |
| Q6 | 1 | 2 |
| Q7 | 1 | 4 |
| Q8 | 1 | 8 |

El quitosano se filtró al vacío y se secó durante dos horas a 50 °C. La enzima se inactivó al aumentar la temperatura a 60 °C [20].

La caracterización del quitosano implicó describir el material de partida, el grado de desacetilación (GD), la masa molar promedio (Mv) y sus propiedades en solución. Sin embargo, debido al bajo rendimiento de desacetilación enzimática de quitina insoluble que se obtuvo con las enzimas quitina- desacetilasas (CDAs), se realizaron pruebas usando pre-tratamientos como: ciertas dosis de irradiación en microondas en soluciones de baja alcalinidad, transformaciones en productos derivados de quitina o la preparación de soluciones de quitina en solventes orgánicos como la dimetil acetamida (DMac/LiCl). Con estos pre-tratamientos se persiguió elevar la eficiencia de este proceso y se logró obtener quitosano. El producto obtenido se purificó mediante lavados con ácido acético diluido, seguido de neutralización, filtración y secado al aire.

**Cinética de la desproteinización enzimática del exoesqueleto de camarón**

Con esta finalidad, se realizó el proceso de desproteinización enzimática en un residuo previamente desmineralizado y decolorado de acuerdo a las mejores condiciones obtenidas para los procesos mencionados (no se presentan). Específicamente, para este proceso se utilizó una enzima específica, la papaína, con una actividad enzimática de 3,18 U/mg, regulando el pH a 8 con 200 mL de tampón de L-cisteína a una concentración de 0,05M. La relación entre el residuo y el tampón fue de 1:20 (w/v) para cada experimento (tabla 3).
Se prepararon soluciones con proporciones de E:S 0,5 % y 1 % manteniendo el pH constante. Estas soluciones se sometieron a agitación a temperaturas de 40 °C y 60 °C durante periodos de tres y 72 horas, respectivamente (tabla 4). En todos los experimentos se utilizaron dos gramos de sustrato y 40 mL de tampón.
Para inactivar la enzima se calentó la solución a 90 °C durante 10 minutos. Posteriormente, se realizó una filtración al vacío y se lavó el residuo con agua destilada. El precipitado resultante se secó en una estufa a 40 °C durante 24 horas y se almacenó para su análisis posterior. Los tratamientos se llevaron a cabo por

duplicado y se realizaron análisis tanto al inicio como al final del proceso. La combinación de estas condiciones de operación y sus respectivas réplicas fueron codificadas como Q1, Q2, …hasta Q8.

**Tabla 3.** Cantidades de enzima, sustrato y tampón empleadas

| Enzima | Relación E/S | Enzima:sustrato (mg/g) | Tampón (mL) |
|---|---|---|---|
| Papaina (3,18 U/mg) | 0,5:100 | 5:10 | 200 |
| | 1:100 | 10:10 | 200 |

**Tabla 4.** Diseño experimental para la desproteinización enzimática

| Muestras | Enzima (%) | Temperatura (°C) | Tiempo (h) |
|---|---|---|---|
| Q1 | 0,5 | 40 | 72 |
| Q2 | 0,5 | 60 | 72 |
| Q3 | 1 | 40 | 72 |
| Q4 | 1 | 60 | 72 |
| Q5 | 0,5 | 40 | 3 |
| Q6 | 0,5 | 60 | 3 |
| Q7 | 1 | 40 | 3 |
| Q8 | 1 | 60 | 3 |

**Cinética de la desacetilación enzimática de la quitina**

Para estudios de la cinética de la reacción se utilizaron las mismas condiciones descritas en la tabla 2. A partir de los resultados experimentales para los dos procesos enzimáticos se determinaron los parámetros del modelo cinético de Michaelis – Menten (ecuación 1), que describe la generalidad de las reacciones enzimáticas [21].

$$V_O = \frac{V_{máx}[S]}{K_m + [S]} \qquad (1)$$

donde:
Vo: velocidad de reacción (concentración de producto /tiempo; mM/min)
Vmáx: velocidad máxina de reacción; mM/min)
[S]: concentración de sustrato (mM)
Km: constante de Michaelis Menten (concentración de sustrato a la cual se alcanza la mitad de la velocidad máxima; mM)

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este acápite se analizará primeramente cada proceso enzimático con su cinética y adicionalmente se reflejará la caracterización del quitosano obtenido tras la desacetilización de la quitina.

**Desproteinización enzimática del exoesqueleto de camarón**

En la tabla 5 se presentan los resultados de la desproteinización de los residuos de camarón usando las dos enzimas previstas, en todos los casos partiendo de muestras con un contenido inicial de proteínas de 41,95 ± 0,76 %.

**Tabla 5.** Comportamiento de la desproteinización enzimática

| Enzima | Tratamiento E:S | % desproteinización |
|---|---|---|
| α quimotripsina | QB1 0,5:100 | 59,03 ± 8,00 |
| | QB2 0,7:100 | 63,48 ± 3,33 |
| papaína | QB3 0,5:100 | 65,43 ± 2,39 |
| | QB4 0,7:100 | 67,13 ± 2,76 |

Según se observa en la tabla anterior, al cabo de las 72 horas con las dos enzimas utilizadas, en la medida que se incrementa la relación E:S se favorece la desproteinización enzimática y entre las dos enzimas los mejores resultados los arrojó la papaína con porcentaje de desproteinización de 67,13 %- Estos resultados superan los informados por otros estudios que utilizaron otras enzimas sobre el mismo sustrato de residuos de camarón, por ejemplo, [22] reportaron un 65 % de remoción de proteínas en quitina mediante la aplicación de la enzima comercial alcalasa. Por su parte, [23] obtuvieron un 33,13 % de desproteinización al aplicar alcalasas, esto indica que el uso de las enzimas α-quimotripsina y papaína en cualquiera de las concentraciones arrojan mejores resultados que los reportados por los autores mencionados, lo que dice de la eficiente desproteinización obtenida.
Sin embargo, es importante señalar que otros autores han reportado resultados superiores al tratamiento empleado en este estudio utilizando α-quimotripsina y papaína. En sus investigaciones lograron reducir el contenido residual de proteínas después de la desproteinización a niveles tan bajos como 1,3 % y 2,8 % respectivamente, lo cual representan procesos que superan el 90 % de desproteinización. Estas diferencias podrían atribuirse al hecho de que los primeros optimizaron el proceso mediante la combinación controlada de temperatura, pH y concentración, mientras que los segundos emplearon catalasas como enzimas para la hidrólisis de las proteínas [24, 25].

En la tabla 6 se presenta la caracterización de la quitina obtenida en cada uno de los tratamientos de desprotinización enzimático desarrollado.

**Tabla 6.** Caracterización de la quitina en función de la masa molar y grado de acetilación

| Tratamiento | | Masa molar Mv (g/mol) | Valoración potenciométrica GA* (%) | desv std |
|---|---|---|---|---|
| α quimotripsina | QB1 0,5:100 | $1{,}00.10^6$ | 67,81 | 3,87 |
| | QB2 0,7:100 | $1{,}06.10^6$ | 80,66 | 1,17 |
| Papaína | QB3 0,5:100 | $1{,}07.10^6$ | 55,00 | 1,24 |
| | QB4 0,7:100 | $1{,}23.10^6$ | 80,68 | 1,83 |

*GA: grado de acetilación

Puede observarse que los parámetros de caracterización de las quitinas obtenidas se acercan a los reportados por otros investigadores, que señalan que para considerar al producto obtenido quitina, esta debe tener una masa molar superior al orden de $10^6$ y un grado de acetilación mayor a 40 %, lo que se cumple para las cuatro quitinas obtenidas. La quitina que presenta la mayor masa molar $1{,}23.10^6$ g/mol y mayor grado de acetilación 80,68 % fue QB4, obtenida mediante el tratamiento enzimático con papaína en una relación enzima-sustrato 0,7:100; lo que justifica el por qué para el estudio cinético se utilizó esta enzima [26].

**Cinética de la desproteinización enzimática**

En las figuras 1 (a y b) se presentan la curva de Michaelis Menten linealizada de acuerdo al Análisis de Lineweaver-Burk, que representa la cinética enzimática después de 3 y72 horas de reacción a 40 °C y 60 °C respectivamente.

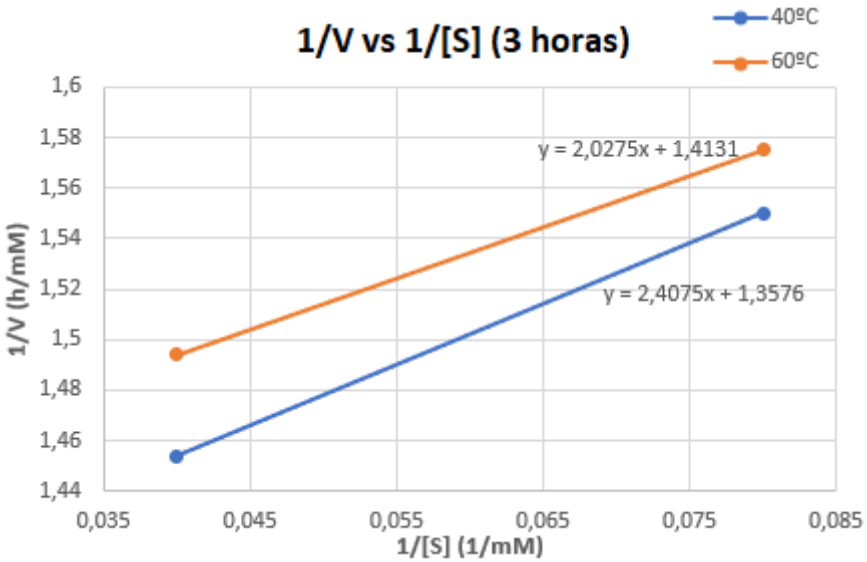



**Figura 1a** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática en tres horas, a 40 y 60 °C

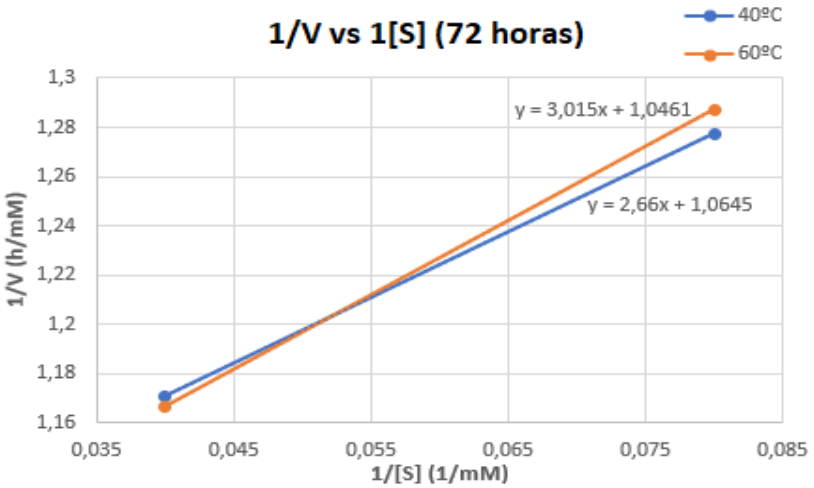



**Figura 1b.** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática en 72 horas, a 40 y 60 °C

Según se observa, a las tres horas de reacción la incidencia de la temperatura es mayor y al cabo de las 72 horas esta influencia prácticamente desaparece. A partir de las figuras 1(a y b) se determinaron los parámetros cinéticos de la desproteinización enzimática (Tabla 7).

En la tabla se muestra la cinética a dos diferentes temperaturas a las tres y 72 horas de reacción. Para el primer tiempo se observa que a 40 °C, la Vmáx es aproximadamente de 0,737 %/h con un valor de ña constante Km de 1,775 mg/L, lo que sugiere una eficiencia y afinidad moderadas. Al incrementar la temperatura a 60 °C, la Vmáx disminuye ligeramente a aproximadamente 0,708 %/h, y el valor de Km también disminuye a 1,436 mg/L Este conjunto de resultados indica que, aunque la eficiencia de la enzima disminuye ligeramente con la temperatura, la afinidad por el sustrato aumenta. Esto puede deberse

a una dinámica alterada del sitio activo a temperaturas más altas y a una estabilidad estructural incrementada de la enzima respectivamente

**Tabla 7.** Parámetros cinéticos en la desproteinización enzimática

| Tiempo (h) | 3 | | 72 | |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 40 | 60 | 40 | 60 |
| Vmáx (%/h) | 0,737 | 0,708 | 0,939 | 0,956 |
| Km (mg/L) | 1,775 | 1,436 | 2,499 | 2,882 |

Para las 72 horas de reacción se observa que tanto los valores de Vmáx y Km se incrementan con respecto a las tres horas, lo que evidencia que la enzima realizó su función catalítica favorablemente. Este comportamiento se produce para las dos temperaturas analizadas.

**Desacetilación enzimática de quitina**

La tabla 8 presenta la caracterización de la quitina tratada enzimáticamente con 0,5 mg y 1,0 mg de β-glucosidasa, respectivamente, durante 1, 2, 4 y 8 horas de tratamiento. Se muestran los valores de masa molar (Mv) y grado de desacetilación (%GD) obtenidos. Con el objetivo de analizar la cinética enzimática de desacetilación de la quitina fue ajustado el modelo de Michaelis-Menten a través del análisis Lineweaver-Burk.

**Tabla 8.** Masa molar en función del grado de desacetilación de la quitina

| | **%GD** | **Masa molar Mv (g/mol)** | **Viscosidad intrínseca (mL/g)** |
|---|---|---|---|
| Qp1 | 38 | $1{,}39.10^5$ | 599,89 |
| Qp2 | 44 | $1{,}24.10^5$ | 551,42 |
| Qp3 | 51 | $1{,}12.10^5$ | 510,16 |
| Qp4 | 57 | $1{,}04.10^5$ | 480,05 |
| Qp5 | 64 | $1{,}01.10^5$ | 599,89 |
| | **Promedio** | **$1{,}16 .10^5 \pm 0{,}15$** | |

La masa molar de la quitina desacetilada, determinada mediante el método viscosimétrico muestra una tendencia a disminuir de manera exponencial hasta un valor asintótico de $1.10^5$ g/mol a medida que se incrementa el grado de desacetilación. Esto puede deberse a que la enzima no solo esté actuando sobre los enlaces de la amida de la quitina, sino también sobre los enlaces estructurales glucosídicos.

Sin embargo, esta reducción de la masa molar no es significativa, lo que sugiere que el efecto del tratamiento enzimático aplicado es incipiente y no parece afectar la estructura polimérica del producto obtenido.

**Cinética de la desacetilación enzimática**

En la tabla 9 se presentan los parámetros cinéticos para el modelo de Michaelis Mente de la quitina tratada enzimáticamente con 0,5 mg y 1,0 mg de beta-glucosidasa, respectivamente, durante 1, 2, 4 y 8

horas de tratamiento, a través del análisis Lineweaver-Burk.

**Tabla 9.** Parámetros cinéticos en la desacetilación enzimática

| E:S (mg/g) | 0,5:1 | 1:1 |
|---|---|---|
| Vmáx (mM/h) | 0,8022 | 1,2947 |
| Km (mM) | 0,4572 | 0,4433 |

Estos resultados sugieren que, en ambos casos, la beta-glucosidasa tiene una alta afinidad por el sustrato, como lo indica el bajo valor de Km. Sin embargo, al aumentar la concentración de la enzima, se incrementa la velocidad máxima de la reacción (Vmáx), lo que indica una mayor eficiencia catalítica.

Cuando se comparan estos resultados con los valores reportados por otros autores, en los que se utilizó tripsina con una concentración de 1 mg sobre quitina, obteniendo un valor de Km de 1,01 mM y una Vmáx de 1,3 mM/h, se evidencia que la beta-glucosidasa, aunque tiene una mayor afinidad por el sustrato, es menos eficiente en términos de velocidad máxima de reacción en comparación con la tripsina. Esto sugiere que aunque la beta-glucosidasa se une al sustrato con mayor facilidad, la tripsina puede catalizar la reacción a una velocidad superior cuando opera a su capacidad máxima [27].

En la figura 2 se presenta la curva de Michaelis Menten linealizada de acuerdo al Análisis de Lineweaver-Burk, representando la cinética enzimática a 25 ºC para una cantidad de 0,5 mg y 1 mg de beta-glucosidasa.

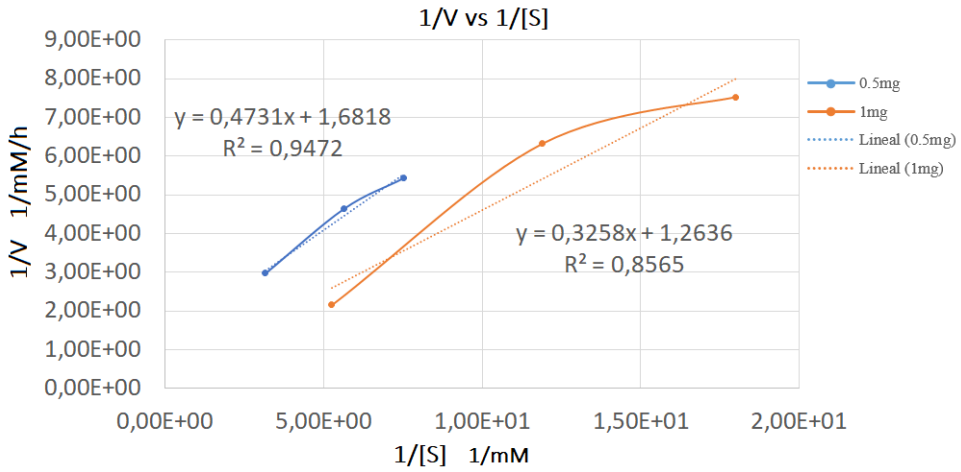



**Figura 2.** Análisis de Lineweaver-Burk: cinética enzimática (beta-glucosidasa) a 25 ºC

Como se observa en ambos casos, pueden apreciarse como líneas prácticamente paralelas en el diagrama de Michaelis-Menten; lo que sugiere, que a pesar de las diferencias en las cantidades de enzimas, la beta-glucosidasa tiene respuestas cinéticas similares frente a los cambios en la relación enzima - sustrato. Sin embargo, las diferencias en los valores de Km y Vmáx indican ajustes sutiles en las características dinámicas.

## 4. CONCLUSIONES

Los residuos de camarón son fuente de quitina y su aprovechamiento disminuye el impacto ambiental y genera beneficios económicos, pues este biopolímero tiene gran demanda en la industria. Se demostró la bondad del tratamiento enzimático frente al químico al generarse residuales amigables con el medio ambiente. Las etapas de desproteinización y desacetilación enzimática cumplen con el modelo cinético de Michaelis Menten y los valores de la constante Km permitió seleccionar a la papaína con los mejores

resultados

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al convenio de colaboración entre la Universidad Técnica de Manabí y la Cujae para la formación de máster y doctores.

## REFERENCIAS

1. Banco Central del Ecuador. Boletín de Cuentas Nacionales Trimestrales del Ecuador. Gisponible en web. http://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/cntrimestral/CNTrimestral.jsp.2014.
2. Cao W., Zhang C., Hong P., Ji H., Hao J., Zhang J. ¨Autolysis of shrimp head by gradual temperature and nutritional quality of the resulting hydrolysate, LWT¨. *Food Science and Technology* 2009, vol.42: pp. 244–249.
3. Barra A., Romero S., Beltramino, D. J. ¨Obtención de quitosano¨. Sitio Argentino de Producción Animal, 2012, pp: 8-9. Disponible en:
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf
4. Polo, M. Sostenibilidad: obtención de quitina a partir de sustancias de desecho, Tesis de Grado, Universidad de Sevilla, España. 2016.
5. Barriga Gómez, G. (2011). Configuración del QT y CMCNa determinada por microscopía, espectroscopía y simulación molecular: orientada a la electroinducción superficial. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 2011 Disponible en. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4819. 2014.
6. Curbelo, C.. Palacio, Y.¨Tratamiento químico de residuos de camarón para la obtención de quitina¨. *Revista Centro Azúcar* 2021, vol. 48 (2). pp: 103-116.
7. Pareek N., Vivekanand V., Pragati Agarwal, Samta Saroj, Rajesh P. Singh.. Bioconversion to chitosan: A two stage process employing chitin deacetylase from *Penicillium oxalicum* SAEM-51. Department of Biotechnology, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee 247667, Uttarakhand, India. Carbohydrate Polymers, ELSEVIER, 418.96, 417– 425. 2013.
8. Abadía Piquero J., Preparación y caracterización mecánica de hidrogeles de quitosano para soporte de células de cartílago. Proyecto de fin de Carrera. Especialidad: Química Industrial. Universidad de Zaragoza. España. 2010.
9. Benhabiles, M. S., Salah, R., Lounici, H., Drouiche, N., Goosen, M. F. A., Mameri, N. ¨Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp shell waste¨. *Food Hydrocolloids*, 2012. vol. 29. pp 48–56.
10. Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan—a versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. Progress in Polymer Science, 36: 981–1014.
11. Curbelo, C, Arzuaga, M.M., Cisneros N,I., Fanego, S, Véliz, E. Obtención de quitina por métodos combinados a partir de residuos de camarón. 19 Convención de Ingeniería y Arquitectura cujae. La Habana, Cuba. 2018, 10 pp.
12. Atencio, R., Valbuena, A.C., Chávez, A., Valbuena, G., Joan Vera-Villalobos, J.V. (2019). Estudio cinético de la N-desacetilación de quitina extraída de exoesqueletos de crustáceos empleando cromatografía iónica CIENCIA 27 (1,2), 45 – 53.
13. Cisneros Pérez I., Curbelo C., Cobeña M.V., Molina D. I. Método alternativo para la desacetilación de la quitina. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*. 2018. Volumen Especial Nº 02, pp: 162-169. ISSN 1316-4821 / 2542-3401
14. Tahir, I., Wijaya, K., Krismayanti, D., Saviola, A.J., Wahab, R.A., Amin, A.K., Peatika, R.A. ¨Microwave Radiation-Assisted Chitib Deacetylation: Optimization by Response Surface Methodology (RSM)¨. *Korean Journal of Materials Research* (2024), vol.34 (2), pp: 85-94.
15. Cisneros Pérez I., Curbelo C; Burbano, L. ¨Enzymatic deacetylation of chitin using betaglucosidase as a biocatalyst. Bionatura**:** International Journal of Biotechnology and Life Sciences 2024. vol. 9 (2): pp:1-9.
16. Hernández I. (2004). ¨La quitosana: un producto bioactivo de diversas aplicaciones¨. *Cultivos Tropicales*, 2004., vol. 25 (3), pp: 97-110.

17. Arzuaga M, M. Obtención de quitina a partir de residuos de camarón (*Litopenaeus vannamei*) por métodos combinados. Tesis de grado. Director Caridad Curbelo. Instituto Superior Politecnico Jose Antonio Echeverria. 2017.
18. Castelán, C. J. J. Obtención y caracterización de quitina biológica y su desacetilación a quitosano. Tesis de Maestría en Biotecnología. E S E N T A QFB. 2012.
19. Valdez A.U., Espinoza J.D., Sandoval G.C., Balagurusamy N., Hernandez A. M., De la Garza I., Contreras J.C. ¨Screening of Industrial Enzymes for Deproteinization of Shrimp Head for Chitin Recovery¨ *Food Science Biotechnology* 2010, vol.19 (2), pp: 553-557.
20. Castro Lino A., Ramírez Márquez J., Rivera Ortega J. A., González Coronel M. A., Martha Sosa Rivadeneyra M., Sandoval Ramírez J., (2015) ¨Síntesis de quitosano a partir de polisacárido obtenido del camarón, por medio de un método químico- enzimático para tratamiento de colorantes en aguas¨ 2015.. *Revista latinoamericana El ambiente y las Ciencias*. vol.6 (13), pp: 156-162.
21. Macias, A., Hurtado, R., Cedeño, D., Vite, F., Scott, M., Vallejo, P., Santana, W., Espinoza, M., Ubillus, S., Arteaga, X., Torres, O., Reyes, M., Mera, J., Chavarria, D., & Intriago, K. (2018). Introducción Al Estudio De La Bioquímica 2018 (vol. 1, Issue 1). Primera edición: octubre
22. Duarte De Hollanda, H. and Netto F. M. ¨Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis¨. *Food Chemestry and Toxicology*. 2006, vol. 71, pp: 298-303.
23. Dey, S. S., & Dora, K. C. (2011). ¨Suitability of chitosan as cryoprotectant on croaker fish (*Johnius gangeticus*) surimi during frozen storage¨. *Journal of food Science and Technology* 2011, vol, 48, pp: 699-705.
24. Gagne, N. y Simpson, BK (1993). ¨Uso de enzimas proteolíticas para facilitar la recuperación de quitina de los desechos del camarón¨. *Biotecnología de Alimentos* 1993, vol. 7 (3), pp: 253-263.
25. López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Bueno-Solano, C., Campas-Baypoli, O. N., & Adan-Bante, N. P. (2013). ¨Fatty acid composition and total lipid content in protein hydrolysates of shrimp heads¨. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2013, vol. 45 (3) pp: 160-176.
26. Pillai C., Paul W., Sharma Ch. (2009). ¨Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation¨. *Progress in Polymer Science* 2009, vol. 34, pp: 641-678.
27. Mageed, HA, Ezz, NA y Radwan, R. (2019). ¨Agregados de enzimas reticuladas tripsina-quitosano bioinspirados: un enfoque versátil para la estabilización mediante inmovilización sin portador¨. *Revista de Biotecnología, Biología Computacional y Bionanotecnología* 2019, vol.100 (3), pp: 45-60.

**Sobre los autores**

Caridad Curbelo Hernández: Ingeniera Química, Profesora Titular y Consultante de Operaciones Unitarias. Doctora en Ciencias Técnicas, Miembro de la Sociedad Cubana de Química.
Nelson Iván Cisneros Pérez: Ingeniero Químico, Profesor, Máster en Ingeniería Industrial, Mención en Planeación y Control de los Procesos y Servicios.
Galo Arturo Perero Espinosa, Ingeniero Industrial. Profesor, Doctor en Ciencias Técnicas en su Dimensión Ambiental
Luzmila Elizabeth Burbano Mera, Ingeniera Agroindustrial, Profesora, Máster en Agroindustria.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SUSTITUCIÓN DE AGUA POR JUGO DE HENEQUÉN EN UN PRODUCTO DETERGENTE

**Naily Toledano Fernández [1], Susana Rodríguez Muñoz[2], Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas[3], Miquel Osset Hernández [4]**

[1,2,3]Grupo de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Calle 114 No 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [4]Empresa Suchel Proquimia, Calle Balaguer No 23 e/ San Julio y Paz, Cerro, La Habana, Cuba.

[1]e-mail: ntfdezn@gmail.com, [2]susana@quimica.cujae.edu.cu, [3]beatriz@quimica.cujae.edu.cu, [4]mosset@suchelpq.co.cu.

**RESUMEN**

Suchel Proquimia S.A. es una empresa que comercializa una amplia gama de productos basados en la limpieza, desinfección, tratamiento de superficies y asesoramiento técnico. Uno de los intereses de la misma es la incorporación de materias primas naturales en sus productos, como es el caso del jugo de henequén, el cual es obtenido del proceso de desfibrado de dicha planta, generando grandes cantidades de residuales que podrían ser aprovechadas debido a sus propiedades detergentes y desengrasantes. En el laboratorio de Suchel Proquimia se estudia la utilización de este jugo como materia prima en el proceso de producción de uno de sus productos detergentes para la limpieza de superficies duras. Con este fin se obtuvieron las formulaciones correspondientes del producto al 5, 10, 15, 20 y 25 % de concentración del jugo y fueron medidos los parámetros de las especificaciones de calidad. A partir de la evaluación de la eficacia detergente superficial, se comprobó que las nuevas formulaciones con jugo de henequén se mantuvieron con la misma capacidad detersiva que el producto original. Los índices beneficio-costo obtenidos para las cinco variantes fueron 1,81; 1,84; 1,87; 1,90 y 1,94 respectivamente, evidenciando la viabilidad económica y medioambiental.

**PALABRAS CLAVES:** detergente, jugo de henequén, eficacia detergente superficial.

## REPLACEMENT OF WATER WITH HENEQUEN JUICE IN A DETERGENT PRODUCT

**ABSTRACT**

Suchel Proquimia S.A. is a company that markets a wide range of products based on cleaning, disinfection, surface treatment and technical advice. One of its interests is the incorporation of natural raw materials in its products, such as henequen juice, which is obtained from the defibration process of said plant, generating large quantities of waste that could be used due to its detergent and degreasing properties. In the Suchel Proquimia laboratory, the use of this juice as raw material in the production process of one of its detergent products for cleaning hard surfaces is being studied. For this purpose, the corresponding formulations of the product at 5, 10, 15, 20 and 25 % juice concentration were obtained and the parameters of the quality specifications were measured. From the evaluation of the surface detergent efficiency, it was verified that the new formulations with henequen juice maintained the same detersive capacity as the original product. The benefit-cost ratios obtained for the five variants were 1.81; 1.84; 1.87; 1.90 and 1.94 respectively, evidencing the economic and environmental viability.

**KEY WORDS:** detergent, henequen juice, surface detergent efficacy.

## 1. INTRODUCCIÓN

Suchel Proquimia S.A es una empresa española asentada en Cuba dedicada a la fabricación de productos químicos desde 1999, que garantizan la limpieza y desinfección. La empresa cuenta con un Premio

Excelencias Cuba 2022 por su compromiso en la protección del medioambiente y la sostenibilidad de los productos de higiene y limpieza, en la categoría de Sostenibilidad. La política de sostenibilidad integral de PROQUIMIA no solo cumple con los altos estándares europeos exigibles, sino que pretende ser un valor de referencia y diferencial que contribuya a una química industrial responsable [1]. Como parte de esta política ha intentado encadenarse lo más posible con la infraestructura cubana, y explora la incorporación de materias primas de origen natural a su producción. Esto podría sustituir importaciones y/o disminuir los costos de producción significativamente.

El jugo de henequén es un producto natural que se obtiene como residual del proceso de desfibrado de la planta que tiene igual nombre [2]. Este jugo ha sido ampliamente estudiado por las múltiples aplicaciones, entre las que se encuentran su utilidad como detergente universal en la limpieza de superficies sólidas como cocinas, losas, lavado de textiles, entre otros y su empleo en el desengrase de piezas metálicas [3].

En este sentido, este trabajo dirige sus principales objetivos al estudio de la incorporación de este jugo en algunos de sus productos como es el caso de un producto detergente para la limpieza y desinfección de superficies duras, objeto de estudio de la presente investigación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Balances de masa

El estudio de la incorporación de jugo de henequén como sustituto del agua a diferentes concentraciones para evaluar la eficacia superficial detergente del producto, se hizo a escala de laboratorio, preparando las muestras del detergente en cuestión con las diferentes concentraciones de jugo de henequén (5, 10, 1, 20 y 25 %), se partió de la fórmula original del producto en la cual se especifican las materias primas contenidas en el mismo como son el agua, los tensoactivos, los agentes secuestrantes, los mejoradores ópticos, el perfume y el amoniaco con su acción bactericida. El agua es el componente más abundante en la composición del producto detergente.

Aplicando técnicas de balances de masa, se determinaron las cantidades de cada materia prima necesarias para un total de 2 kg, de los cuales 1,660 kg constituyen el agua necesaria para la formulación. Para calcular qué parte de la masa total representan las diferentes concentraciones: 5, 10, 15, 20 y 25 %, se utilizó la ecuación (1), de la cual se obtuvo la masa de jugo de henequén para las diferentes concentraciones (Xc).

$$m_{henequén} = Xc * 2 \quad (1)$$

Las cantidades de las demás materias primas ($m_i$) se mantuvieron constantes, exceptuando la del agua, que en los cinco casos se obtuvo por la ecuación (2).

$$m_{agua} = 2 - \sum mi - m_{henequén} \quad (2)$$

### 2.2 Proceso de formulación

Para un proceso de formulación de un producto detergente lo más recomendable es comenzar con la adición de los componentes mejoradores, seguidos por los surfactantes y materias auxiliares a consideración del formulador según el fin para lo cual es creado el producto y por último las fragancias y colorantes [4].

Para el caso específico del producto detergente que se investiga, se comienza cargando el reactor con agua a 15 – 20 °C, posteriormente se añaden los mejoradores, los tensoactivos, los colorantes, el perfume y el amoniaco. Se añade la nueva materia prima que es el jugo de henequén y se realizan ajustes de pH antes y después de la adición de la misma. En última instancia se extrae una muestra para controles y se almacena a las condiciones que se estimen convenientes.

### 2.3 Evaluación de los parámetros de calidad

Con el objetivo de comprobar que los productos cumplan con las especificaciones requeridas por el mercado nacional y/o internacional, es necesaria la realización de controles de calidad para la medición de los parámetros plasmados en la ficha técnica del producto (Tabla 1). Para ello se lleva a cabo un estudio de estabilidad de seis semanas de duración o estabilidad preliminar [5], estableciendo tres temperaturas de exposición de las muestras : 8, 20 y 40 °C.

Tabla 1. Especificaciones de calidad del producto detergente

| Especificaciones de calidad | Criterios de aceptación |
|---|---|
| Nota olfativa | Ligero olor amoniacal |
| Color | Líquido verde transparente |
| Densidad | (1 040 – 1 060) kg/m$^3$ |
| pH 10 % | 9,3 - 10,3 |
| Recuento microbiano | Tabla 2 |

#### 2.3.1 Métodos empleados para la medición de los parámetros de calidad

*Nota olfativa*

Las notas que conforman la pirámide olfativa corresponden a: nota de salida o de cabeza (alta) las cuales son moléculas de bajo peso que se volatizan rápidamente; nota de corazón (media) las cuales son compuestos de mayor peso molecular y armonizan las notas de salida con las de fondo; nota de fondo (baja), son las moléculas de mayor peso que fijan el aroma y mantienen la máxima duración de la fragancia [6]. Para la evaluación son empleadas tiras secas o tiras de olor, que se introducen en las muestras del producto deseado y en una muestra del producto original, posteriormente los perfumistas proceden a oler, comparando con el patrón para definir las notas olfativas y si hay o no distorsión del olor.

*Apariencia (color)*

El método consiste en pasar una muestra del producto en un vaso de precipitados de vidrio y definir: aspecto físico, color y olor [7].

*Densidad*

Para la medición de la densidad se lleva a cabo un método que consiste en tomar 10 cm$^3$ de muestra con una pipeta aforada y pasarla a un vaso de precipitados previamente tratado. Luego, se coloca la muestra en la balanza analítica y se obtiene el peso. Para el cálculo de la densidad se utiliza la ecuación (3) [8]:

$$\rho = \frac{W}{V} \tag{3}$$

Donde:

ρ: Densidad del producto (kg/m$^3$), W: peso de la muestra (kg), V: Volumen de la muestra (m$^3$)

*pH*

Para la obtención del pH del producto al 10 % se introduce un electrodo de vidrio en las muestras a analizar. Posteriormente se expresa el resultado en 0,01 unidades de pH [9].

*Estudio microbiológico*

El conteo microbiológico y diferencial de las muestras formuladas se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la empresa Suchel Camacho S.A., procediendo según la norma Cubana 68, 2015 [10]. Se rechazó o se aceptó el producto teniendo en cuenta los límites microbianos (Tabla 2).

Tabla 2. Límites microbianos, según NC 68: 2015

| Grupo | Límite |
|---|---|
| Productos para el cuidado y embellecimiento del hogar | 1000 UFC de microorganismos aerobios mesófilos en 0,1 g o mL del producto según ISO 21149: 2006. Ausencia de Enterobacteriaceae en 0,1 g o mL del producto, según ISO 7402:2012. Ausencia de Pseudomonas aeruginosa en 0,1 g o mL del producto, según ISO 22717:2006. Ausencia de Staphylococcus aureus en 0,1 g o mL del producto, según ISO 22718:2006. Ausencia de Clostridium species en 0,1 g o mL del producto, según USP 30:2007. Ausencia de hongos y levaduras en 0,1 g o mL del producto, según ISO 16212:2008. |

**2.4 Eficacia detergente superficial**

Durante la etapa de desarrollo de una formulación detergente se realizan ensayos de detergencia con el objeto de optimizar las proporciones de los componentes de la formulación, determinar la eficacia detersiva del producto bajo distintas condiciones y proporcionar una idea de la aceptación por parte de los consumidores fundamentalmente [11].

Para evaluar la eficacia detergente superficial del producto detergente en cuestión se utiliza un método visual consistente en [12]: aplicar dos *sprays* del producto detergente sobre la superficie sucia, aplicar dos *sprays* de agua sobre la superficie sucia y observar el drenaje.

La suciedad se prepara con 32 g de aceite de motor y 4 g de carbón negro. Con un total 36 g de suciedad preparada y seis pruebas a realizar (dos superficies y tres muestras), a cada superficie se añaden 6 g y se determinan las masas de las mismas con contenido de suciedad, para esto se emplea una balanza analítica. Las superficies empleadas en los ensayos son dos azulejos rectangulares, uno que se rocía con el producto detergente original y otro con las nuevas formulaciones después de añadido el jugo de henequén.

**2.5 Métodos estadísticos**

Para analizar las variables de los procesos se emplea el *software Statgraphics XVII*, en el cual se realiza un diseño factorial multinivel $5^1 \bullet 3^1$, dando 15 corridas experimentales [13]. Las variables independientes son la temperatura y la concentración con tres y cinco niveles respectivamente. Con respecto a la variable respuesta no son seleccionadas directamente la densidad y el pH, sino su variación durante las seis semanas de estudio para cada par de temperatura y concentración.

Para el análisis de la calidad del modelo obtenido se realizan cuatro pruebas:
Prueba 1: coeficiente de determinación ($R^2$). En su cálculo no se define el porcentaje de confiabilidad para aceptar o rechazar el modelo.
Prueba 2: análisis de varianza del modelo. Constituye una prueba de hipótesis de varianza.
Prueba 3: significación estadística de los coeficientes. Se analiza el diagrama de Pareto
Prueba 4: análisis de los residuos. Análisis de la gráfica de residuos obtenida.

Se emplean además gráficos de control como otro método de procesamiento de los resultados de la densidad del producto detergente.

### 2.6 Análisis económico

Se lleva a cabo un análisis beneficio-costo [14] del proceso de producción del producto detergente a escala industrial (260 000 kg/año de producto detergente) con cada una de sus variantes (5, 10, 15, 20 y 25 % de jugo de henequén).

Para ello es necesario conocer los costos de producción constituidos por los costos directos e indirectos y los ingresos por concepto de ventas asociados al producto.

En la empresa Suchel Proquimia S.A se consideran como costos directos las materias primas, exceptuando el agua, el material para su envase y los salarios asociados directamente con la producción, y los demás costos asociados a facilidades auxiliares, consumo energético, agua, depreciación, etcétera son tenidos en cuenta en los costos indirectos. La empresa agrupa esos costos indirectos en un índice con el cual es afectada la cantidad de producto detergente producida al año.

Teniendo en cuenta la cantidad de agua sustituida por jugo de henequén y a partir de conocer datos del consumo de esta materia prima en los meses de enero a abril del 2024 y el precio de este, se calcula un estimado del ahorro económico que supondría la sustitución en cuestión.

El costo de la nueva materia prima que es el jugo de henequén está asociado a su transportación desde la henequera de Matanzas. Este se calcula a partir de conocer la cantidad de kilómetros desde la empresa Suchel Proquimia S.A hasta la henequenera de Matanzas y el precio mayorista que pagan las empresas estatales por cada litro de petróleo (20 CUP/L).

Los ingresos por concepto de ventas (AS) se obtienen multiplicando el precio de venta del producto por la cantidad de kilogramos producidos anualmente.

Una vez realizados los procedimientos anteriores se calcula el índice de beneficio-costo ($I_{BC}$) para cada uno de los casos con el objetico de hacer una comparación. Este índice está dado por la ecuación 4:

$$I_{BC} = \frac{AS}{ATE} \quad (4)$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Balances de masa

En la Tabla 3 se muestran las formulaciones del producto detergente a las cinco concentraciones establecidas de jugo de henequén.

Tabla 3. Formulaciones del producto detergente con diferentes concentraciones de henequén

| Concentraciones | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % | 25 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Códigos | Cantidades (g) | | | | |
| 100 | 1 560,32 | 1 460,32 | 1 360,32 | 1 260,32 | 1 160,32 |
| Henequén | 100,00 | 200,00 | 300,00 | 400,00 | 500,00 |

Solo cambiaron las cantidades de agua (código 100) y jugo de henequén, el resto de las materias primas se mantuvieron como en la formulación original.

### 3.2 Análisis del proceso de formulación

Para las formulaciones se siguió la técnica de fabricación detalladamente, respetando el orden y los tiempos en ella establecidos. Como resultado se estas se hicieron las siguientes observaciones: la adición de los agentes secuestrantes constituyó un paso inicial importante en la formulación pues estos disminuyeron la dureza del agua facilitando un mejor grado de mezcla con las restantes materias primas; el solubilizante de tensoactivos eliminó la turbiedad que hasta el momento presentaba la mezcla al instante de ser añadido; a pesar de la adición del perfume, el olor del amoniaco sobresalió por encima del anterior, lo que era de esperarse al ser el olor amoniacal el característico del producto; la mezcla final fue un producto con viscosidad parecida a la del agua (baja).

### 3.3 Análisis de los parámetros de calidad durante el período

Las muestras expuestas a las temperaturas propuestas fueron estudiadas por seis semanas. Durante este plazo se les realizaron mediciones semanales de los parámetros de las especificaciones de calidad con el objetivo de evaluar la estabilidad del producto detergente con jugo de henequén.

*Densidad y pH*

Los resultados de las mediciones de pH y densidad se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de densidad y pH durante las seis semanas de estudio

| Semanas | Temperaturas | Parámetros | Concentraciones | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % | 25 % |
| 1 | 8 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 038 | 1 036 | 1 036 | 1 038 | 1 044 |
| | | pH | 10,70 | 10,65 | 10,46 | 10,48 | 10,59 |
| | 20 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 043 | 1 034 | 1 039 | 1 041 | 1 043 |
| | | pH | 10,56 | 10,57 | 10,37 | 10,45 | 10,64 |
| | 40 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 034 | 1 034 | 1 033 | 1 033 | 1 037 |
| | | pH | 9,850 | 9,87 | 9,72 | 9,800 | 10,02 |
| 2 | 8 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 039 | 1 043 | 1 045 | 1 046 | 1 048 |
| | | pH | 10,74 | 10,70 | 10,53 | 10,62 | 10,81 |
| | 20 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 036 | 1 044 | 1 052 | 1 054 | 1 050 |
| | | pH | 10,58 | 10,58 | 10,43 | 10,48 | 10,69 |
| | 40 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 034 | 1 041 | 1 041 | 1 038 | 1 046 |
| | | pH | 9,94 | 9,95 | 9,80 | 9,84 | 9,99 |
| 3 | 8 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 033 | 1 042 | 1 046 | 1 036 | 1 046 |
| | | pH | 10,42 | 10,42 | 10,26 | 10,33 | 10,53 |
| | 20 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 039 | 1 041 | 1 048 | 1 049 | 1 042 |
| | | pH | 10,62 | 10,63 | 10,38 | 10,48 | 10,74 |
| | 40 °C | Densidad ($kg/m^3$) | 1 031 | 1 038 | 1 043 | 1 039 | 1 041 |
| | | pH | 10,57 | 10,54 | 10,38 | 10,46 | 10,62 |
| 4 | 8 °C | Densidad | 1 038 | 1 041 | 1 039 | 1 038 | 1 045 |

| Semanas | Temperaturas | Parámetros | Concentraciones | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % | 25 % |
| | | (kg/m$^3$) | | | | | |
| | | pH | 10,71 | 10,63 | 10,47 | 10,48 | 10,69 |
| | 20 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 034 | 1 034 | 1 039 | 1 034 | 1 040 |
| | | pH | 10,46 | 10,49 | 10,33 | 10,36 | 10,55 |
| | 40 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 033 | 1 047 | 1 036 | 1 034 | 1 034 |
| | | pH | 10,50 | 10,40 | 10,23 | 10,26 | 10,43 |
| 5 | 8 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 041 | 1 040 | 1 044 | 1 041 | 1 037 |
| | | pH | 10,69 | 10,62 | 10,47 | 10,46 | 10,67 |
| | 20 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 036 | 1 043 | 1 040 | 1 043 | 1 047 |
| | | pH | 10,51 | 10,50 | 10,32 | 10,41 | 10,61 |
| | 40 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 032 | 1 039 | 1 040 | 1 038 | 1 034 |
| | | pH | 10,55 | 10,48 | 10,30 | 10,38 | 10,44 |
| 6 | 8 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 046 | 1 046 | 1 047 | 1 047 | 1 048 |
| | | pH | 10,64 | 10,54 | 10,37 | 10,44 | 10,65 |
| | 20 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 045 | 1 040 | 1 038 | 1 047 | 1 038 |
| | | pH | 10,46 | 10,46 | 10,31 | 10,34 | 10,54 |
| | 40 °C | Densidad (kg/m$^3$) | 1 033 | 1 033 | 1 042 | 1 038 | 1 034 |
| | | pH | 10,56 | 10,50 | 10,32 | 10,30 | 10,32 |

Las mediciones arrojaron que no hubo variaciones marcadas entre los valores, sin embargo, se evidenciaron ligeros cambios. En el caso de la densidad, la mitad fueron resultados aceptables ya que se mantuvieron en el intervalo especificado y los restantes valores estuvieron por debajo del límite inferior del intervalo de especificación. Para el pH se observó como la mayoría de los resultados estuvieron por encima del mayor valor que según los parámetros de calidad del producto se debe esperar.

*Color*

Durante las semanas de estudio los análisis arrojaron que no hubo variación en la apariencia de las muestras, se mantuvo el líquido verde transparente, exceptuando el caso de la semana seis y última de la exposición a las temperaturas. En esta semana se observó como en las muestras que estuvieron expuestas a 40 °C hubo un cambio en la coloración del verde oscuro transparente del producto original, a un azul oscuro con turbiedad. La variación fue observada en todas las muestras sin distinción entre las concentraciones, lo cual reafirma el cambio únicamente como consecuencia de la temperatura.

*Nota olfativa*

Una vez realizada la evaluación quedó como comportamiento general de las muestras el siguiente: en todas las muestras solo se vio afectada la nota saliente o tope, en la cual se percibió una ligera distorsión del olor; a pesar de que el jugo de henequén es un residual que aporta olor, no se vio, contra todo pronóstico, reflejada su influencia significativa en las soluciones, manteniéndose desvirtuados ligeramente los olores en la nota saliente; el aumento de las temperaturas propició que se perdiera potencia en la misma nota anteriormente mencionada, pues está comprobado que las fragancias se mantienen mejor a bajas temperaturas. Esta disminución de olor no fue representativa.

Por tanto, el producto quedó evaluado como aceptable, pues a pesar de la distorsión, esta no significó la pérdida del ligero olor amoniacal requerido para el producto, este se mantuvo.

*Recuento microbiano*

El análisis microbiano arrojó resultados positivos al cumplirse con lo establecido en la NC 68 2015 para los productos de limpieza y embellecimiento del hogar (Tabla 5):

Tabla 5. Reporte análisis microbiología

| Análisis | Especificación | Resultados | Conforme |
|---|---|---|---|
| UFC de microorganismos aerobios mesófilos 0,1 g o mL | < 1 000 | Ausencia | Conforme |
| Enterobacteriaceae en 0,1 o mL | Ausencia | Ausencia | Conforme |
| Pseudomonas aeruginosa en 0,1 g o mL | Ausencia | Ausencia | Conforme |
| Staphylococcus aureus en 0,1 g o mL | Ausencia | Ausencia | Conforme |
| Clostridium species en 0,1 g o mL | Ausencia | Ausencia | Conforme |
| Hongos y levaduras en 0,1 g o mL | Ausencia | Ausencia | Conforme |

### 3.4 Análisis de la eficacia detergente superficial

Visualmente los resultados fueron positivos, porque se logró el drenaje deseado y, además, una vez transcurrido el tiempo predeterminado fue evidente la disminución de la suciedad. Esto se corroboró con las mediciones de las masas de las superficies antes y después de aplicar el producto detergente en las variantes seleccionadas: las tres muestras al 25 % de jugo de henequén (a 8, 20 y 40 °C) y el producto en su formulación original. Los valores son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Contenido de suciedad antes y después de la adición del producto detergente

| | Muestras | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Masas (g) | 8 °C | Patrón | 20 °C | Patrón | 40 °C | Patrón |
| Masa superficie sucia | 476,2 | 570 | 476 | 570,1 | 476 | 570 |
| Masa superficie limpia | 471,1 | 564,8 | 471 | 565 | 470,9 | 564,8 |

Al poner en contacto las superficies con el producto detergente original y con las muestras que contenían jugo de henequén, el resultado fue el mismo: el drenaje logró remover cinco gramos de suciedad aproximadamente en cada superficie, sin importar la concentración de jugo de henequén ni la temperatura de exposición. Se mantuvo la capacidad detersiva en las muestras con jugo de henequén.

### 3.5 Resultados del análisis estadístico

*Prueba 1*. Los valores determinados fueron: Coeficiente de determinación $R^2$ de 95,90 % (variación de pH) y 74,37 % (variación de densidad), se consideraron muy bueno y relativamente bueno, respectivamente. Eso significa que la suma de cuadrados de la regresión es muy similar a la suma de cuadrados totales ($R^2$= SCReg/SCT), por tanto, hasta el momento, los modelos son capaces de representar la variabilidad de los datos.

*Prueba 2*. Para el caso de la variación del pH, en el análisis de varianza del modelo la sumatoria de las sumas de cuadrados de todos los factores del modelo (A, B, AA y AB) fue prácticamente igual a la total. Además, la suma de los cuadrados del error fue muy pequeña con respecto a la total. Los valores-p de los factores fueron menores que 0,05 lo que indica que estos son estadísticamente diferentes de cero y por tanto son significativos para el modelo (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza para variación del pH

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| A:Temperatura | 0,58081 | 1 | 0,58081 | 167,28 | 0,0000 |
| B:Concentración | 0,03468 | 1 | 0,03468 | 9,99 | 0,0102 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AA | 0,156963 | 1 | 0,156963 | 45,21 | 0,0001 |
| AB | 0,03872 | 1 | 0,03872 | 11,15 | 0,0075 |
| Error total | 0,03472 | 10 | 0,003472 | | |
| Total (corr.) | 0,845893 | 14 | | | |

Para la variable variación de la densidad, se determinó en el análisis de varianza del modelo, que la sumatoria de las sumas de cuadrados de todos los factores del modelo no fue prácticamente igual a la total. Además, la suma de cuadrados del error no representó una cantidad muy pequeña con respecto a la total. El valor-p del factor temperatura fue menor que 0,05 lo que indicó que este era estadísticamente diferente de cero y por tanto significativo para el modelo, lo que no ocurrió con los restantes factores. Una vez excluidos todos los factores no significativos, en el modelo solo se quedó la temperatura, lo que provocó una disminución del coeficiente de determinación ($R^2$ = 55,31 %). Lo anterior indica que la primera prueba no fue cumplida ya que ese valor no da un modelo que represente adecuadamente los datos.

*Prueba 3.* Los análisis de los diagramas de Pareto (Figura 1) muestran resultados similares a los obtenidos en los análisis de varianzas, para las dos variables respuestas analizadas. Para el caso de la variación de pH (Figura 1.a) se observa como la temperatura incide positivamente, ocurriendo lo contrario con la concentración.

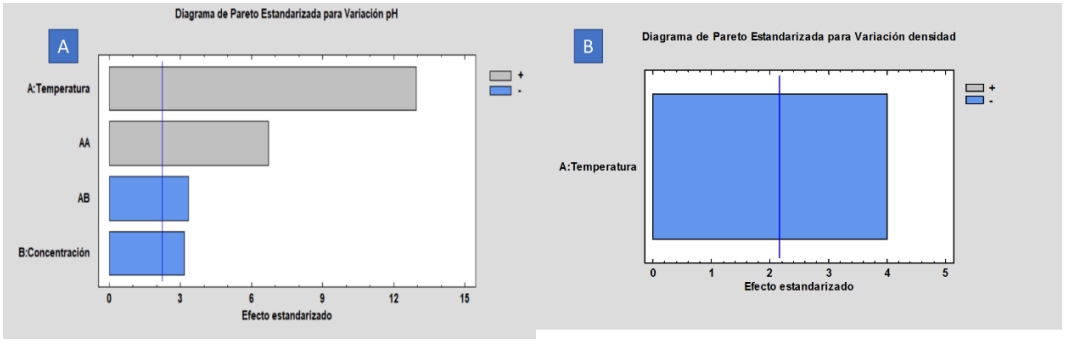



**Figura 1.** Diagrama de Pareto: (a) para variación pH, (b) para variación de densidad

Para el caso de la variación de la densidad (Figura 1.b), como se apreció en el análisis de varianza, la temperatura fue el único factor influyente. La influencia en este caso fue negativa, por lo que, a menor temperatura, mayores valores de densidad.

*Prueba 4.* Para la variación de pH el valor del estadístico de Durbin- Watson estuvo cercano a 2 y el valor-p asociado a él, fue mayor que 0,05; por lo tanto, no hubo indicación de correlación serial en los residuos. Esto se confirmó analizando el gráfico de residuos que tiene la línea azul en cero (Figura 2.a). Esto significa que los residuos tuvieron media cero y por tanto varianza constante. Estadístico Durbin-Watson = 2,81809 (P=0,9241). El análisis de la variación de la densidad arrojó resultados similares (Figura 2.b). Estadístico Durbin-Watson = 2,56468 (P=0,8832).

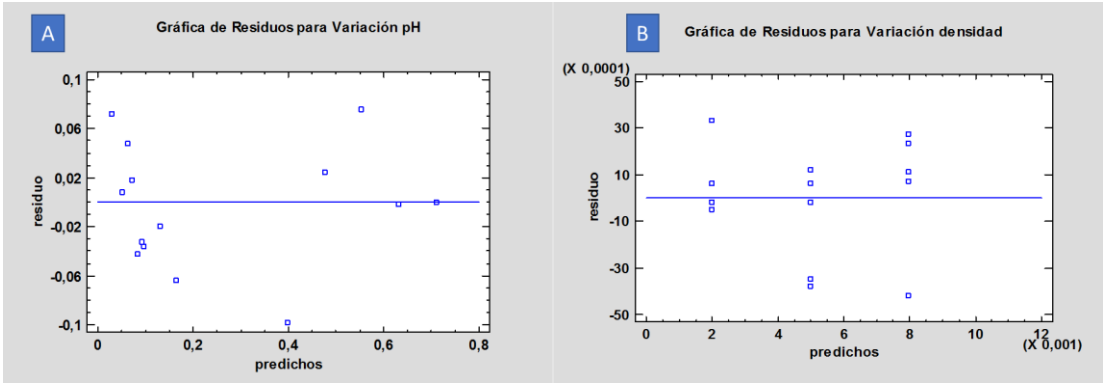


**Figura 2**. Gráfico de residuos: (a) para la variación pH, (b) para la variación de la densidad

Como se cumplieron las cuatro pruebas se pudo afirmar que el modelo obtenido, para la variación del pH es bueno, considerándose que describe adecuadamente el comportamiento de este parámetro. El modelo estadístico obtenido se representa en la ecuación 3.1.

$$\Delta pH = 0{,}096 + 0{,}241A - 0{,}068B + 0{,}217AA - 0{,}088AB \quad (3.1)$$

Para el caso de la variación de la densidad no se cumplieron las cuatro pruebas, lo que permitió plantear que el modelo obtenido no fue bueno para representar los datos y por tanto se rechazó. Dada esta situación se optó por un nuevo método de procesamiento de los resultados de esta variable, para lo que se utilizaron los gráficos de control. A partir de estos quedó evidenciado que hubo una cantidad considerable de mediciones que se encontraron por debajo del límite inferior, es decir la densidad en algunos casos disminuyó con relación a la del producto original. Esto podría constituir una recomendación para la empresa. Puesto que el producto cumple con los objetivos para los que fue creado, mostrando la misma capacidad detersiva que la formulación original y contribuyendo a aumentar los índices de sostenibilidad, se debería valorar la revisión del intervalo de la especificación de calidad.

### 3.6 Resultados del análisis económico

**Índice beneficio costo del proceso de producción sin la incorporación del jugo de henequén**

*Costos de producción*

Los costos directos, indirectos y de producción fueron adquiridos de una tesis de diploma [15] . Estos se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8. Costos de producción

| | |
|---|---|
| Costos directos (CUP) | 7 832 336,95 |
| Costos indirectos (CUP) | 636 220 |
| Costos de producción (CUP) | 8 468 556,95 |

*Ingresos por concepto de ventas (As)*

Teniendo en cuenta que el precio de venta del producto es 57,91 CUP/kg, los ingresos por concepto de ventas para 260 000 kg de producción son 15 056 600 CUP anuales.

*Índice beneficio costo*

La Tabla 9 muestra el índice beneficio costo asociado al proceso de producción del detergente para 260 000 kg.

Tabla 9. Índice beneficio-costo

| | |
|---|---|
| Costos de producción (CUP) | 8 468 556,95 |
| Beneficios (CUP) | 15 056 600 |
| Índice beneficio-costo | 1,78 |

**Índice beneficio costo del proceso de producción con la incorporación del jugo de henequén**

Los costos directos asociados a materias primas, materiales y salarios no varían. A este proceso se le añade un costo vinculado a la transportación del jugo de henequén desde la empresa de Matanzas y un ahorro de agua propiciado por la incorporación de la nueva materia prima. Es importante resaltar que los beneficios quedan invariables igualmente.

*Costos por transportación*

El costo de transportación es 11 280 CUP [15].

*Ahorro de agua por la incorporación de henequén*

En la Tabla 10 se muestra el ahorro obtenido para cada variante formulada. El precio de agua tomado fue de 10,85 CUP/kg

Tabla 10. Ahorro de agua para cada variante con jugo de henequén

| Variantes | Agua ahorrada (kg) | Ahorro (CUP) |
|---|---|---|
| 1 (5 %) | 13 000 | 141 050 |
| 2 (10 %) | 26 000 | 282 100 |
| 3 (15 %) | 39 000 | 423 150 |
| 4 (20 %) | 52 000 | 564 200 |
| 5 (25 %) | 65 000 | 705 250 |

*Índices beneficio-costo*

En la Tabla 11 se reportan los índices beneficio-costo resultantes para cada variante.

Tabla 11. Índices beneficio-costo para el proceso con jugo de henequén

| Variantes | Costos de producción (CUP) | Beneficios (CUP) | Índice beneficio-costo |
|---|---|---|---|
| 1 (5 %) | 8 338 786,95 | 15 056 600 | 1,81 |
| 2 (10 %) | 8 197 736,95 | 15 056 600 | 1,84 |
| 3 (15 %) | 8 056 686,95 | 15 056 600 | 1,87 |
| 4 (20 %) | 7 915 636,95 | 15 056 600 | 1,90 |
| 5 (25 %) | 7 774 586,95 | 15 056 600 | 1,94 |

Anteriormente fue obtenido el índice para el proceso de producción del detergente Amon sin la incorporación del jugo de henequén, resultando 1,78. Como se puede observar en la tabla anterior, los índices beneficio-costo correspondientes a cada variante son mayores que el que caracteriza al proceso original. Queda evidenciada entonces la viabilidad económica de todas las propuestas, siendo la mejor opción la variante al 25 % de jugo de henequén con el mayor índice beneficio-costo, 1,94.

### 3.7 Viabilidad medioambiental

El aprovechamiento de los residuales de productos naturales constituye una forma de llevar adelante el Programa de Saneamiento Ambiental, de ahí que la utilización del jugo de henequén es un ejemplo práctico de lo planteado. En su condición natural es un producto que se autofermenta con facilidad, este fenómeno limita su uso en actividades donde se requiere de asepsia en el manejo de los materiales, como es el caso de los agentes que se emplean en actividades de limpieza. La utilización de jugo de henequén en la formulación estudiada provoca una disminución de los residuos de la industria henequenera por lo que cumple con el modelo de economía circular que pretende hacer frente a las preocupaciones medioambientales del siglo XXI. Alejarse de las formas de producción lineales conduce a cumplir con las regulaciones específicas y responde a las expectativas del consumidor más sensible a temas ambientales. Esto conduce no solo a un ahorro de agua en la empresa, sino que mejora la calidad de vida de las comunidades cercanas a las industrias henequeneras y contribuye al desarrollo sostenible en Cuba.

## 4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron cinco formulaciones del producto detergente cuyos controles de proceso evidenciaron buenos resultados referentes a las especificaciones de calidad. Las pruebas de eficacia detergente superficial arrojaron que el producto con la incorporación de jugo de henequén posee la misma calidad detersiva de la formulación original y desde el punto de vista económico las propuestas fueron viables

con índices de beneficio-costo de 1,81; 1,84; 1,87; 1,90 y 1,94 respectivamente. La incorporación de jugo de henequén como sustituto de determinadas cantidades de agua evidenció, por lo tanto, el camino a seguir si de economía circular y sostenibilidad se trata.

**REFERENCIAS**

1. M.Osset-Hernández, *Suchel Proquimia S.A. apuesta por Cuba a largo plazo.*, E.N. Cuba, Editor. 2023, Grupo Excelencias.
2. M.Mazorra-Mestre, *Henequén, Agave fourcroydes Lem. Resumen sobre particularidades del jugo de henequén*,
. 2020. p. 4.
3. C.Ferrer-Serrano, M.Mazorra-Mestre, and B.Z.-d. Cárdenas, *Henequén: Un producto útil aprovechable*. 2010. p. 110.
4. E.Theiner, *Simplifying formulation in hard surface cleaners*. 2017, Evonik: Alemania.
5. Sanitaria, A.N.d.V., *Guía de Estabilidad de Productos Cosméticos*. 2005: Brasilia, Brasil. p. 52.
6. Zambrano-Pachón, J.P. and L.A. Marín-Moncada, *Sinestesia aromática*. 2021, Bogotá, Colombia: Revista Fundación Universitaria del Área Andina.
7. G.P.Amasifuen-Fernández, *Control de calidad de productos de higiene doméstica comercializados en mercados y supermercados de cercado de Lima*, in *Facultad de Medicina Humana y Ciencias de la Salud. Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica* 2016, Universidad Alas Peruanas Lima, Perú.
8. L.E.Pacheco, *Determinación de las densidades de líquidos y sólidos y estimación de la incertidumbre asociada*, in *Facultad de ciencias y tecnología. Departamento de química* 2010, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Unan – León
9. P.Casaubon-Garcín, et al., *pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con refl ujo gastroesofágico?* . Revista Mexicana de Pediatría, 2018. **85**: p. 89-94.
10. Superficie., C.T.d.N.N.C.d.C.y.A.A.d., *NC 68:2015. Cosméticos — límites microbiológicos — preparación de las muestras y determinaciones.* . 2015, Oficina Nacional de Normalización (NC): La Habana, Cuba. p. 11.
11. Altmajer-Vaz, D., *Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de lavado*. 2004, Universidad de Granada: Granada, España. p. 309.
12. Solvay, *Rhodiasolv® Range – New Eco-friendly solvents as an alternative for toxic solvents*. 2017. p. 31.
13. R.E.Walpole, et al., *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* 9na ed. 2012, Naucalpan de Juárez, Estado de México Pearson Educación de México. 816.
14. R.C.N. *¿Cómo hacer el análisis costo-beneficio?* 2023; Available from: https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/.
15. N.Toledano-Fernández, *Sustitución de agua por jugo de henequén en un producto detergente*, in *Grupo de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Química, CUJAE*. 2024, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE: La Habana, Cuba.

**Sobre los autores**

Naily Toledano Fernández: Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echevería” (CUJAE), Ingeniera Química, Adiestrada.

Susana Rodríguez Muñoz: Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echevería” (CUJAE), Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular.

Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas: Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echevería” (CUJAE), Doctor en Ciencias, Profesor Titular.

Miquel Osset Hernández: Empresa Suchel Proquimia S.A, Master en Ciencias, Investigador Auxiliar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPIEDADES FOTOPROTECTORAS DE LA MORINGA OLEIFERA

# MORINGA OLEIFERA PHOTO PROTECTIVE PROPERTIES

**Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas[1]. Cándida Magali Ferrer Serrano[2]**
**Facultad de Ingeniería Química[1], Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables[2].**
**Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, La Habana, Cuba**
**beatriz@quimica.cujae.edu.cu**

**RESUMEN**

Los rayos solares tienen características terapéuticas para la piel, pero su exposición en exceso es perjudicial para la salud además, los riesgos debido al deterioro de la capa de ozono, provocan efectos cancerígenos y envejecimiento prematuro. Se ha generalizado el uso de materias primas de origen natural en la elaboración de productos cosméticos. Una de las plantas empleada es la Moringa *oleifera* Lam. El objetivo de este trabajo es determinar el efecto fotoprotector in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera.*

Para ello se obtuvo el extracto hidroalcohólico de hojas mediante el método de maceración con etanol al 70%(m/v) y el aceite por el método de prensado de las semillas. :

El extracto hidroalcohólico de hojas presentó: color verde oscuro, olor sui generis, aspecto líquido, densidad relativa 0,9922g/mL, pH 5,96; índice de refracción 1,355; el aceite, color amarillo claro, olor agradable y aspecto líquido oleoso, densidad 0,8240 g/mL, pH 6,16; índice de refracción 1,464 e índice de acidez 6,07 mg KOH/g aceite. El factor de protección solar in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de Moringa oleífera L. fue de 27,40 ± 0,04.
.
**PALABRAS CLAVE**: fotoprotección, hojas, Moringa, semillas. .

**ABSTRACT**

Sunrays have therapeutic characteristics for the skin, but excessive exposure is harmful to health. In addition, the risks due to the deterioration of the ozone layer cause carcinogenic effects and premature aging. The use of raw materials of natural origin s has become widespread. One of the plants used is Moringa *oleifera* Lam. The objective of this work is determine in vitro solar photoprotective effect of the combination of the hydroalcoholic extract of leaves and the vegetable oil of seeds of Moringa *oleifera*

The hydroalcoholic leaf extract was obtained by the maceration method with 70% ethanol (m/v) and the oil by the seed pressing method.

The hydroalcoholic extract of leaves presented the results: dark green color, sui generis odor, liquid appearance, relative density 0.9922g/mL, pH 5.96; refractive index 1.355; the oil, light yellow color, pleasant odor and oily liquid appearance, density 0.8240 g/mL, pH 6.16; refractive index 1.464 and acidity index 6.07 mg KOH/g oil. The in vitro sun protection factor of the combination of the hydroalcoholic extract of leaves and the vegetable oil of Moringa oleifera L. was 27.40 ± 0.04.
.
**KEY WORDS:** photoprotection, leaves, Moringa, seeds**.**

## INTRODUCCION

La piel es la frontera que separa el cuerpo del resto de las cosas. Su elevada enervación la convierte es un órgano sensorial en el que se reflejan los sentimientos, las emociones y el estado de salud, ocupa un lugar

importante en la homeostasis del agua, la regulación de la temperatura corporal y la síntesis de vitamina D. El envejecimiento se define como acúmulo de daños moleculares con el tiempo producidos por las especies reactivas de oxígeno ERO (iones, radicales libres y peróxidos). El envejecimiento de la piel «se ve» y tiene como consecuencia una importancia social, que no tiene el envejecimiento de cualquier órgano interno.

Existe un envejecimiento natural o también llamado cronológico, se da con el paso del tiempo y es producto del propio estrés oxidativo celular del organismo. El envejecimiento acelerado está provocado por diversos factores ambientales (radiación UV, campos electromagnéticos, productos químicos, climatología). En ambos casos se producen las ERO que dañan los telómeros de ADN (ácido desoxirribonucleico), enzimas y membranas celulares. [1]

Los rayos solares tienen importantes características terapéuticas para la piel, aumentando la producción de vitamina D y la absorción de calcio, pero su exposición en exceso es sumamente perjudicial para la salud, y los riesgos ahora son más altos debido al deterioro de la capa de ozono en los últimos años, provocando efectos cancerígenos y envejecimiento prematuro gracias a la fototoxicidad.

Desde hace algún tiempo se sabe que las dosis altas de radiación UV producen radicales libres en la piel, que influyen negativamente en la generación de tejidos conectivos y, por consiguiente, la renovación de las fibras de elastina y colágeno se altera, ocasionando la aparición de surcos y arrugas en la piel. [2], [3]

Para la implementación de productos que pueden ser usados en formulaciones para protección solar, se llegó a una clasificación de 26 filtros permitidos, subdivididos en dos grupos.[1], [3]. Los filtros inorgánicos o físicos, que poseen una propiedad fundamental de impermeabilizar, funcionando como pantallas reflectoras. Para esto se han venido usando los óxidos metálicos. Los filtros orgánicos o químicos, que son capaces de absorber la radiación UV; generalmente se componen de uno o varios anillos bencénicos, conjugados con dobles enlaces y/o grupos carbonilo.

En los últimos años ha disminuido el uso de materias primas de origen químico para la elaboración de productos cosméticos y se ha generalizado el uso de materias primas de origen natural por contar con menores efectos secundarios en la piel de las personas.

Una de las plantas que posee estas propiedades es la Moringa oleifera L. La Moringa oleifera L. tiene estructuras fitoquímicas de interés medicinal: como glucosinolatos, isotiocianatos, flavonoides, antocianinas, proantocianidinas y cinamatos; varios de estos compuestos se consideran nutracéuticos y con propiedades fotoprotectoras; por ejemplo, el 4-(4'-O-acetil-α-Lramnopiranosiloxi)- isotiocianato de bencilo, el 4-(α-Lramnopiranosiloxi)-isotiocianato de bencilo, el isotiocianato de bencilo y el 4-(α-Lramnopiranosiloxi)-glucosinolato de bencilo presentan actividad anticancerígena, hipotensiva y antibacteriana. [4]

El alto contenido de vitaminas, minerales y otros fitoquímicos de la moringa, como vainillina, ácidos grasos omega, carotenoides, ascorbatos, tocoferoles, β-sitosterol, ácido octacosanoico, moringina, moringinina y fitoestrógenos también es un factor importante en los efectos terapéuticos de Moringa oleífera L. Estudios fotoquímicos de Moringa oleifera L. revelaron la presencia de importantes polifenoles, tales como glucósidos de quercetina, rutina, glucósidos kaempferol y ácidos clorogénicos.
La composición del aceite de moringa (<1% en ácidos grasos poliinsaturados), lo convierte en una base para cosméticos, jabones y perfumes, dado que absorbe el mal olor y es apropiado para atrapar fragancias florales. Se considera como uno de los aceites ideales en la elaboración de cosméticos..[5 ].

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto fotoprotector de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera*, para ello se determinaron las características organolépticas y los análisis fisicoquímico de hojas y semillas de Moringa oleífera identificando el factor de protección solar in vitro de la combinación del extracto hidroalcohólico de hojas y aceite vegetal de semillas de Moringa *oleífera*

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Obtención de extractos y caracterización*

Para la obtención del extracto hidroalcohólico de las hojas de Moringa se realizó la elección de etanol como disolvente lo que se justifica por la composición fitoquímica de las hojas, que contienen principalmente sustancias hidrosolubles como compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C y minerales; y estos compuestos pueden ser extraídos en soluciones polares hidroalcohólicas.

Una vez realizada la selección de las hojas, se procedió a lavar las mismas mediante un flujo continuo de agua potable hoja por hoja, se dejaron secar a temperatura ambiente y a la sombra por un tiempo de 7 días para eliminar la humedad, posteriormente se muelen las hojas, con el fin de aumentar la superficie de contacto al momento de interaccionar con el disolvente, y así optimizar la extracción de los metabolitos secundarios.

Para la extracción de polifenoles, se empleó como método la extracción por maceración, utilizando como disolvente etanol al 70% (m/v), se utilizó una proporción de trabajo 1:35 a 50ºC, teniendo como referencia investigaciones anteriores. La maceración se realizó en un frasco ámbar a temperatura ambiente durante siete días agitándolo dos veces al día, luego se filtró a vacío y se evaporó el disolvente en estufa a 40°C. El producto de la evaporación se trasvasó a viales los cuales fueron pesados. La extracción se realizó por triplicado,[6 ].

La concentración de polifenoles de los extractos obtenidos se determinó utilizando el reactivo Folin - Ciocalteu según el método modificado [3]. Una alícuota de un mL de muestra se puso en el tubo de ensayo, con 2.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y dos mL de carbonato de sodio al 7.5% (m/v), se deja en la oscuridad durante 20 minutos a temperatura ambiente, desarrollando una coloración azul intensa. Se efectúa la lectura de absorbancia a una longitud de onda máxima de 765 nm.

De forma similar se prepara la curva de calibración de ácido gálico y los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g m.seca). Los extractos obtenidos se filtraron utilizando papel de filtro cuantitativo número 202. Los mismos se envasaron en frascos de 10 mL de capacidad para luego ser almacenados en refrigeración para la posterior medición de absorbancia. El proceso de maceración se realiza por triplicado a temperatura ambiente durante siete días y se determinan las características organolépticas y físico-químicas del extracto hidroalcohólico.

### *Obtención de aceite y caracterización*

Las semillas se preparan para la extracción mecánica, separando primero las cáscaras de los cotiledones en una descascaradora modelo Agro 01 de fabricación nacional. Se someten 500 kg de semillas de Moringa oleífera a un prensado en frío, utilizando una prensa hidráulica extractora marca SIGEC modelo HOP-20/200 con una presión de 20 MPa y una carga de 30 kg siendo estos los máximos valores a los que la prensa trabaja, ya que si se exceden estos parámetros podrían ocurrir graves roturas. Por tanto, estos valores se mantienen constantes durante todo el proceso. Se cargan seis paños con cinco kg cada uno con las semillas y se realiza la prensada durante 30 minutos. Terminado el proceso de prensado el aceite pasa a través de un filtro prensa modelo 2FIN 20-20 eliminando partículas que quedan disueltos en el mismo, para posteriormente ser almacenado en un tanque de acero inoxidable de 50 L hasta el momento de ser envasado.

### *Determinaciones espectroscópicas de los extractos y aceite de Moringa*

Se determina por RMN-H el ácido graso mayoritario en la muestra de aceite. Para ello se toman 100mg de cada muestra se disuelven en 500 microlitros de cloroformo deuterado. Las determinaciones de la resonancia, magnética nuclear- de hidrógeno se realizan a 400 MHz en un espectrofotómetro BRUKER.

Se determina por UV-Vis en un espectrofotómetro de doble rayo VIS-723G los valores de absorbancia a las diferentes longitudes de onda para conocer la capacidad de absorción del aceite y del extracto de hojas. Además de obtiene la curva de calibración para dar el cumplimiento de la Ley de Lambert-Beer.

El FPS in vitro se determinó siguiendo el método espectrofotométrico que establece un modelo matemático que correlaciona el FPS con la absorbancia de la muestra entre 290 y 320 nanómetros, es decir en la región UV-B[7[
Una vez medidas las absorbancias a las diferentes longitudes de onda, el FPS in vitro se calcula con la ecuación siguiente:

$$FPS\ espectrofotométrico\ =\ FC.\sum (EE\ (\lambda).I\ (\lambda).A\ (\lambda)) \quad (1)$$

Dónde: FC = factor de la corrección (igual a 10).
EE (λ) = efecto de la radiación a una longitud de onda λ (reportado en tablas) también llamado efecto eritematos
I (λ) = espectro de intensidad solar.
A (λ)= valores de absorbancia a la longitud de onda λ

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Obtención y caracterización del extracto hidroalcohólico de hojas y del aceite de semillas*

Las características organolépticas del extracto hidroalcohólico de hojas de Moringa *oleífera* presentó los siguientes resultados: color verde oscuro, olor herbal característico y aspecto líquido, y en el análisis fisicoquímico: densidad relativa a 25°C (g/cm$^3$) fue de 0,9922, pH de 5,96; índice de refracción de 1,355.
Los resultados de la extracción y cuantificación de los polifenoles totales expresados como ácido gálico en el extracto hidroalcohólico mostraron un 21.01±0.38 % de extracción y 20.67±0.86 (mg EAG/g m.seca).

El aceite de las semillas de Moringa *oleífera* resultó ser de color amarillo, con olor y apariencia característico de este aceite. El porcentaje de extracción promedio de tres determinaciones empleando la prensa hidráulica fue de 23 ± 2%.

Los resultados del análisis fisicoquímico del aceite fueron: Índice de refracción 1,464 ± 0,02, Índice de saponificación (mg de KOH/g) 161,02 ± 2,0, Índice de peróxido (mmol eq $O_2$ / kg aceite) 1,8 ± 0,2, Índice de yodo 68,68 ± 0,10.

Se determinaron los contenidos de ácidos grasos AG (%), cuantificados como ésteres metílicos de los ácidos grasos.

**Tabla 1.** Contenido de ácidos grasos en el aceite de Moringa *oleífera*

| Ácidos | Resultados (%) |
|---|---|
| Mirístico (C14:0) | 0,16 |
| Palmítico (C16:0) | 5,89 |
| Palmitoleico(C16:1) | 1,16 |
| Esteárico (C18:0) | 5,30 |
| Oleico (C18:6) | 67,93 |
| Linoleico (C18:2) | 0,62 |
| Linolénico (C18:3) | 0,19 |
| Araquídico (C20:0) | 2,51 |
| Eisosenoico (C20:1) | 2,04 |
| Behénico (C22:0) | 2,67 |

| | |
|---|---|
| Lignocérico (C24:0) | 0,40 |
| Total | 88.88 |

De estos resultados se corroboró que el componente fundamental en este aceite es el ácido graso oleico. Además, se observan otros ácidos grasos que contribuyen de manera importante a su composición, siendo estos los ácidos: palmítico, esteárico, behénico, araquídico, palmitoleico y el eisosenoico.

***Determinaciones espectroscópicas de los extractos y aceite de Moringa***

Se realiza una gráfica de absorbancia relacionada con longitudes de onda encontrándose máximos de absorbancia en las regiones de 200-250nm, de 300-360nm y 400nm, lo que demuestra la presencia de grupos cromóforos y auxocromos en la estructura del extracto que se deben fundamentalmente a la presencia de polifenoles

Con el extracto hidroalcohólico obtenido se prepararon disoluciones al 5% y al 10% (v/v). Se realizaron las lecturas de absorbancia para las diferentes disoluciones encontrándose que los valores mayores se obtenían en los extractos hidroalcohólicos al 10% a valores de 310 nm, por lo que se selecciona este valor para determinar los FPS *in vitro* promedio que se contemplarán en el diseño de experimentos

| | extracto 10% | | promedio ABS | nm |
|---|---|---|---|---|
| 0,83 | 0,957 | 0,947 | 0,911 | 290 |
| 1,037 | 1,152 | 1,152 | 1,114 | 295 |
| 1,154 | 1,155 | 1,155 | 1,155 | 300 |
| 1,238 | 1,211 | 1,213 | 1,221 | 305 |
| 1,313 | 1,272 | 1,275 | 1,287 | 310 |
| 1,318 | 1,272 | 1,276 | 1,289 | 315 |
| 1,184 | 1,143 | 1,147 | 1,158 | 320 |

| | extracto 5% | | promedio ABS | |
|---|---|---|---|---|
| 0,603 | 0,611 | 0,551 | 0,588 | 290 |
| 0,854 | 0,858 | 0,8 | 0,837 | 295 |
| 1,042 | 1,051 | 1,001 | 1,031 | 300 |
| 1,141 | 1,153 | 1,104 | 1,133 | 305 |
| 1,206 | 1,221 | 1,172 | 1,200 | 310 |
| 1,196 | 1,211 | 1,163 | 1,190 | 315 |
| 1,033 | 1,048 | 1,043 | 1,041 | 320 |

| | aceite | | promedio ABS | |
|---|---|---|---|---|
| 0,097 | 0,096 | 0,095 | 0,096 | 290 |
| 0,544 | 0,539 | 0,539 | 0,541 | 295 |
| 0,845 | 0,893 | 0,902 | 0,880 | 300 |
| 1,093 | 1,03 | 1,032 | 1,052 | 305 |
| 1,312 | 1,309 | 1,301 | 1,307 | 310 |
| 0,603 | 0,606 | 0,61 | 0,606 | 315 |
| 0,138 | 0,134 | 0,134 | 0,135 | 320 |

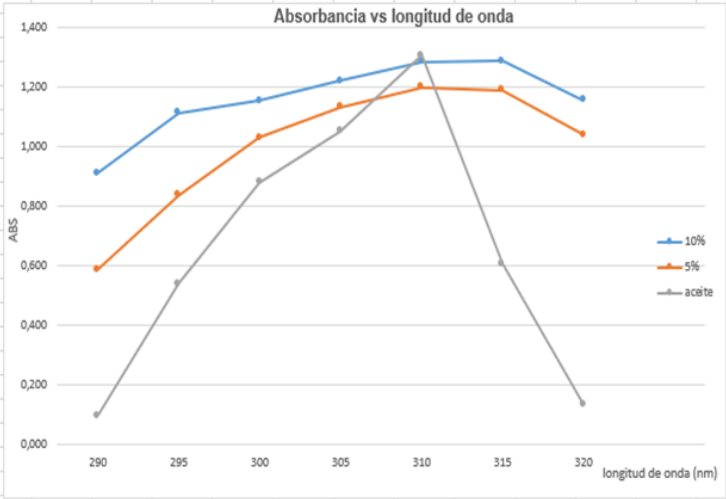



**Figura 1.** Lecturas de absorbancia del extracto y aceite de Moringa para cada longitud de onda.

.Al aceite resultante se le realizó un análisis de RMN-H en cloroformo deuterado, evidenciándose la presencia de los grupos metilenos de la cadena hidrocarbonada a los valores de 1,4 ppm aproximadamente, la presencia de los H insaturados del doble enlace del ácido oleico a los valores de 4,2-4,4 ppm.

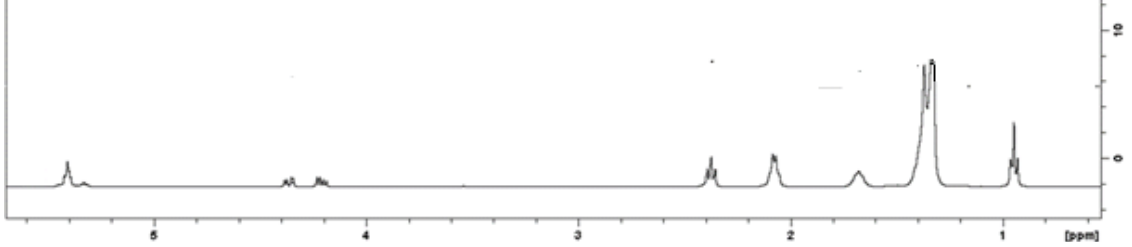


**Figura 2**. Espectro RMN-H del aceite de Moringa *oleifera*

Se trabajó con el programa estadístico *Statgraphics Centurion*. Se propuso un diseño experimental multinivel factorial $3^2$. Los factores considerados fueron extracto hidroalcohólico al 10% y aceite, los niveles de estudios son 2, 5 y 8 mL, donde en todos los casos la variable dependiente es el Factor de protección solar. Para cada corrida experimental se realizaron tres réplicas, resultando un total de 27 experimentos. Una vez definidos los factores en el programa se obtiene la matriz ortogonal, mostrada en la tabla 2.

**Tabla 2**. FPS de la mezcla de extracto hidroalcohólico de hojas al 10% con aceite al mejor valor de longitud de onda (por triplicado)

| **Lecturas a 310 nm** | **10%-aceite (2:2)** | **10%-aceite (2:5)** | **10%-aceite (2:8)** | **10%-aceite (5:2)** | **10%-aceite (5:5)** | **10%-aceite (5:8)** | **10%-aceite (8:2)** | **10%-aceite (8:5)** | **10%-aceite (8:8)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FPS** | 26,10<br>26,05<br>26,08 | 26,20<br>26,16<br>26,18 | 26.27<br>26,28<br>26,25 | 26,53<br>26,56<br>26,55 | 26,61<br>26,63<br>26,75 | 26,85<br>26,88<br>26,87 | 27,14<br>27,10<br>27,08 | 27,20<br>27,18<br>27,23 | 27,40<br>27,36<br>27,38 |

Diagrama de Pareto

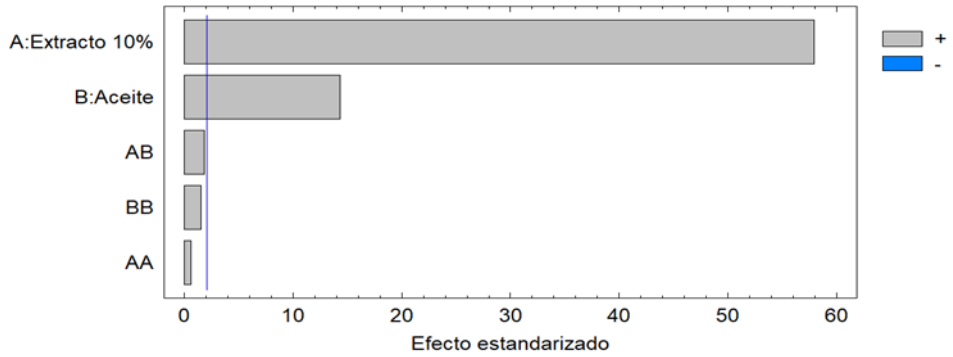



**Figura. 3**. Diagrama de Pareto Estandarizada para FPS

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados. La línea de referencia indica cuáles efectos son estadísticamente significativos, cumpliendo el factor A y el factor B con esta y la anterior característica. Se observa que dichos efectos son positivos, por tanto, la variable respuesta tiene una relación directamente proporcional con estos, siendo el extracto al 10% el que mayor influencia tiene sobre el FPS.

Análisis de varianza

| **Fuente** | **Suma de Cuadrados** | **Gl** | **Cuadrado Medio** | **Razón-F** | **Valor-P** |
|---|---|---|---|---|---|
| A: Extracto 10% | 5,01389 | 1 | 5,01389 | 2906,60 | 0,000 |
| B: Aceite | 0,306806 | 1 | 0,306806 | 177,86 | 0,0000 |
| bloques | 0,00162222 | 2 | 0,000811111 | 0,47 | 0,310 |
| Error total | 0.03795 | 22 | 0,001725 | | |
| Total (corr.) | 5,36027 | 26 | | | |

**Tabla 3**. Análisis de Varianza para FPS

R-cuadrada = 99,292 %
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,233 %

Error estándar del est. = 0,0415331
Error absoluto medio = 0,0308642
Estadístico Durbin-Watson = 2,0374 (P = 0,3802)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0428114
La ecuación del modelo ajustado es:
FPS = 25,6017 + 0,175926*Extracto 10% +0,0435185*Aceite (2)

Todos los coeficientes son positivos, entonces un aumento de los factores A y B hace que aumente el FPS. Los resultados indican una asociación sinérgica entre el extracto hidroalcohólico y el aceite. Los valores de FPS en la formulación con 8 mL de cada ingrediente son 27,40 ± 0,04, esto sugiere que de acuerdo con la nueva clasificación de FPS de la COLIPA, se encontraría en la clasificación de nivel alto de fotoprotección.

Según plantea Dunaway existen una gran variedad de biomoléculas con acción fotoprotectora en la naturaleza. Entre las moléculas más comunes se encuentran los flavonoides que tienen absorción significativa en la región ultravioleta A y B, debido a su estructura química. [8]

## CONCLUSIONES

1. Tanto el extracto hidroalcohólico de hojas como el aceite de semillas muestran propiedades fotoprotectoras. por poseer en su composición compuestos con actividad biológica, dentro de los que resaltan sustancias antioxidantes, como compuestos fenólicos, vitaminas y ácidos grasos como el oleico, behénico, araquídico, imprescindibles para la protección de las células vivas del daño oxidativo en el ADN asociado con el envejecimiento, el cáncer y las enfermedades degenerativas.

2. El resultado de emplear la combinación de extracto hidroalcohólico de hojas de Moringa oleífera y el aceite correspondiente brinda una alternativa para ser utilizado en formulaciones cosméticas

## REFERENCIAS

.

1. BALLESTEROS HOB. Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM; 2010 [cited junio 2021]. Available from: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta.

2. BONET, R. & GARROTE, A. Protección solar. Nuevos activos. Offarm, Vol. 30, No. 3, 2011, pp. 51-58.https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-proteccion-solar-nuevos-activos-X0212047X11205105

3. ARAUJO TS, SOUZA SO. Protetores solares e os efeitos da radiação ultravioleta. Scientia Plena. Vol. 4, No. 11, 2008; pp.1-7., www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/721

4. ZUMALACÁRREGUI B., FERRER C. Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de Moringa oleifera ecotipo Plain, Rev. Cubana Quím., Vol. 34, No. 2, 2022, pp. 227-241. http://revistas.uo.edu.cu/

5. FERRER SERRANO C, ZUMALACÁRREGUI DE CÁRDENAS B, Mazorra Mestre M. Caracterización Físico-Química del aceite de semillas de moringa oleífera. Revista Centro Azúcar, Vol. 47, No. 4, 2020, pp. 1-11, http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php

6. GONZÁLEZ MINERO F. BRAVO DÍAZ L. Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. Ars Pharm., Vol. 58, No. 1, 2017, pp. 5-12, http://dx.doi.org/10.4321/S2340-98942017000100001

7 European Cosmetics Association. COLIPA Guidelines. Guidelines for evaluating sun product water resistance. October 2004, https://www.cosmeticseurope.

8 DUNAWAY S., ODIn R., ZHOU L., Ji L., ZHANG Y., KADEKARO A.L. Natural Antioxidants: Multiple Mechanisms to Protect Skin From Solar Radiation. Frontiers in Pharmacology, No. 9, 2018, pp. 1-14, https://www.scirp.org,https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00392 Volume 9 - 2018 | https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00392.

.

**Sobre los autores**

Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas Licenciada en Química (1975), Especialista en Corrosión y Protección (1980), Doctor en Ciencias Químicas (1992). Es Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Química Profesor Emérito de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

Cándida Ferrer Serrano. Licenciada en Química (1972), Master en Ciencias Químicas (2018). Es Profesora Auxiliar del , Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. Facultad de Ingeniería Mecánica.

# INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS PERFORADOS Y SALES EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

**Primer Autor (Ing. Karen Pedroso Padron)[1], Segundo autor (Dr.C. Edgar George de Armas )[2], Tercer autor (Dr.C. Lianys Ortega Viera)[3], Cuarto autor (Dr.C. Elina Fernández Santana)[4]**
[1]Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), dirección**:** Churruca No.481 e/ Washington y Vía Blanca Municipio Cerro
[2]Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), dirección**:** Churruca No.481 e/ Washington y Vía Blanca Municipio Cerro
[3]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), dirección: calle 114 No. 11901 % Ciclovía y Rotonda, Marianao
[4]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), dirección: calle 114 No. 11901 % Ciclovía y Rotonda, Marianao
[1]e-mail: karen.pedroso@ceinpet.cupe.cu
[2]e-mail: george@ceinpet.cupet.cu
[3]e-mail: elina@quimica.cujae.edu.cu
[4]e-mail: lortega@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La explotación y producción de pozos petroleros constituye hoy en día una prioridad para el país. El petróleo es una de las fuentes de energía fundamental para su desarrollo. El fluido de perforación cumple un rol importante en los resultados de la perforación de pozos y su calidad depende del contenido de sólidos. Un fluido con buenas condiciones contribuye a una disminución del daño a la formación, costo de perforación y daños al medio ambiente. En Cuba los ensayos para el estudio y cálculo de propiedades del fluido de perforación se realizan mediante la norma internacional (ISO-10414-1:2008), que utiliza datos de densidades promedios y concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) en el cálculo; aun cuando la sal mayoritaria que contiene el fluido es cloruro de potasio (KCl). La presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia del contenido de sales y sólidos perforados en los sólidos totales del fluido de perforación, para la obtención de un método de cálculo con mayor precisión. Se obtuvieron valores más exactos en los cálculos propuestos, con menores errores en los resultados, trabajando con los valores reales de KCl, NaCl y la densidad de sólidos perforados obtenida en el laboratorio, siendo 2,68 g/m$^3$. La realización de esta investigación tiene un gran aporte económico, pues en un ejemplo se demostró que la aplicación de los métodos propuestos en el campo puede significar un ahorro hasta de 5 000 000 CUP en costos de perforación y un total de 12 986 308 CUP en costos de dilución.

**PALABRAS CLAVES:** fluido de perforación, sales, sólidos perforados

# INFLUENCE OF THE CONTENT OF DRILLED SOLIDS AND SALTS IN THE DRILLING FLUID

**ABSTRACT**

The exploitation and production of oil wells is today a priority for the country. Oil is one of the fundamental energy sources for its development. Drilling fluid plays an important role in well drilling results and its quality depends on the solids content. A fluid in good condition contributes to a decrease in the cost of drilling and damage to the environment. In Cuba, the tests for the study and calculation of drilling fluid properties are carried out using the international standard (ISO-10414-1:2008), which uses data on average densities and concentrations of sodium chloride (NaCl) in the calculation when The majority salt contained in the fluid is potassium chloride (KCl). In the present investigation, the influence of the content of salts and drilled solids on the total solids of the drilling fluid will be determined to obtain a calculation method with greater precision. More accurate values were obtained in the proposed calculations, with lower errors in the results, working with the real values of KCl, NaCl and the density of drilled solids obtained in the laboratory of 2.68 g/m$^3$. Carrying out this research has a great economic contribution, since it is shown that with the application of the proposed calculations in the field, up to 5,000,000 CUP can be saved in drilling costs and a total of 12,986,308 CUP in construction costs. dilution.

**KEY WORDS:** drilling fluid, oil, sales, drilled solids

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de los fluidos de perforación es una de las principales actividades en las construcciones de pozos petroleros. Estos involucran casi todos los aspectos relacionados con las operaciones a realizar en el pozo, ya que están presentes desde que se introduce para la perforación hasta que se completa el mismo (Sánchez, 2020). Son la base de las operaciones de perforación modernas, preservando el hoyo hasta que se proteja por la cementación de la tubería de revestimiento (Arias, 2018).

Los fluidos de perforación son mezclas variables, heterogéneas de componentes sólidos, líquidos y gaseosos, aditivos, orgánicos e inorgánicos, ripios de rocas, de fluidos y gases de la formación. Las rocas son mezclas variables, heterogéneas y anisotrópicas de minerales y otros componentes orgánicos e inorgánicos, sólidos, líquidos y gaseosos. Es prácticamente imposible el alcance de condiciones estacionarias, a causa de las variaciones a lo largo del pozo de las composiciones de las rocas y el fluido de perforación, la presión y la temperatura. Además no existen condiciones ideales de muestreo de los elementos del sistema (Martínez, 2016).

Para las operaciones de perforación, se emplean principalmente tres tipos de fluido de perforación: fluidos base agua, y en ocasiones emulsionados con aceite; fluidos base no acuosos que son recomendados para la perforación de zonas arcillosas inestables y los neumáticos (aire seco, niebla, fluidos aireados, espuma) (Armas, 2017). Las propiedades reológicas y tixotrópicas, como la viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto de cedencia; son magnitudes muy significativas en el control de los fluidos base agua y no acuosos, debido a la concentración y viscosidad de líquidos, concentración de sólidos y la temperatura (Arias, 2018).

El fluido se diseña para que cumpla un número de funciones como: extraer los ripios de perforación, controlar las presiones de los fluidos de la formación, enfriar y lubricar la barrena, mantener estables las paredes del pozo, entre otras. Para el cumplimiento de tales funciones se controlan un número equivalente de propiedades, por ejemplo: la densidad, esencial para el control de las presiones por medio de la presión hidrostática, requerida para cálculos hidráulicos y de otras propiedades como el contenido de sólidos. Otras propiedades son: pH, alcalinidad, lubricidad, filtrado, entre otras.

Dentro de las propiedades que se mencionan una de gran importancia por su influencia en el resto de las propiedades y de la mayoría de las funciones es el contenido de sólidos. Para el control de los sólidos existen varios métodos y consisten en mantener en un porcentaje mínimo, tanto los sólidos no reactivos de formación, como aquellos deseables que por fraccionamiento continuo alcanzan el tamaño ultra fino o coloidal y se convierten en indeseables. Para la determinación de sólidos totales en el fluido influyen en gran medida los sólidos perforados y las sales disueltas como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl) y cloruro de calcio ($CaCl_2$), los materiales densificantes, polímeros, entre otros (autores, 2022).

La cantidad de sólidos totales que contiene el fluido de perforación se determina por medio del ensayo de la retorta. Que de modo general se calcula, con la substracción del volumen obtenido de la destilación al volumen inicial; sin tener en cuenta la influencia de cada uno de los componentes presentes en el fluido de perforación que no destilan. Se realiza a través de la norma internacional (ISO-10414-1:2008), donde se asume una densidad promedio de los sólidos perforados y por consiguiente se introduce un error en el resultado real. Se determina el contenido de sales disueltas como cloruro de sodio (NaCl) sobre la base de la determinación de los cloruros y la sal mayoritaria en los fluidos actuales es el cloruro de potasio (KCl), lo cual introduce de igual modo otro error.

Por las razones anteriormente expuestas el presente trabajo aborda como **problema científico:** Se desconoce con precisión la influencia de la salinidad y del contenido de los sólidos perforados en el contenido de sólidos totales en el fluido.

**Objeto de estudio:** Sólidos totales en el fluido de perforación.

**Campo de acción:** Contenido de sales y sólidos perforados que influyen en los sólidos totales del fluido de perforación.

**Objetivo general:** Determinar la influencia del contenido de sales y sólidos perforados en los sólidos totales del fluido de perforación para la obtención de un método de cálculo con mayor precisión.

**Objetivos específicos**

1. Determinar el contenido de sales como $KCl_{(s)}$ y sólidos perforados en el fluido de perforación
2. Estimar la influencia de las sales y los sólidos perforados en el contenido de sólidos totales en el fluido
3. Proponer acciones en el campo para el incremento de la eficiencia del control de sólidos
4. Realizar valoración económica e impactos en los costos de perforación

**Hipótesis de la investigación**

Si se obtiene la influencia de las sales y los sólidos perforados en el cálculo de los sólidos totales reales presentes en el fluido de perforación, entonces se podría proponer un procedimiento de cálculo de mayor exactitud que incremente la eficiencia de la perforación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Procedimiento para la elaboración del fluido de perforación

Se elaboraron varios fluidos de muestra con diferentes concentraciones (**Tabla 1**) de sólidos perforados y KCl a evaluar, las que se obtuvieron como resultado del diseño de experimento realizado con el programa Statgraphics 19. En el programa se identificó como variable dependiente al contenido de sólidos de baja densidad presentes en el fluido y variables independientes el contenido de sales y sólidos perforados. Para comenzar el análisis, ya elegidos los factores se ajustaron tres niveles, igualmente espaciados para cada una de dichas variables. El programa definió un diseño experimental $3^2$ obteniéndose 9 corridas experimentales y se hizo con una réplica, lo que resultó un total de 18 muestras a analizar. La formulación propuesta comienza con la preparación de un fluido base, al que se le agregan los aditivos correspondientes en sus respectivas cantidades. La muestra se realizó en un volumen de agua de 500 mL y fueron calculadas las cantidades de aditivos a añadir, según sus concentraciones (Osorio, 2018).

**Tabla 1: Composición del fluido base**

| Aditivos | Concentración | Unidades |
|---|---|---|
| Sosa Caustica | 3 | (g/L) |
| $Na_2CO_3$ | 2 | (g/L) |
| Zanvis | 2 | (g/L) |
| PAC | 6 | (g/L) |
| K-inhibidor | 10 | (g/L) |
| $RH_3$ | 10 | ($L/m^3$) |
| Barita | 490 | (g/L) |

La preparación se hizo siguiendo la secuencia que muestra la **Tabla 1**. Primero se pesan los aditivos en la balanza analítica, se añaden la sosa y se agita por 5 min en una agitadora a 10000 $min^{-1}$. Después se agrega el $Na_2CO_3$, igualmente con un tiempo de agitación de 5 min. Luego se adicionan el Zanvis, el PAC, y el K-*inhibidor*, cada uno, con un tiempo de agitación de 20 min respectivamente. Posteriormente se incorpora el lubricante y seguidamente el material densificante, en este caso la barita. Finalmente se adiciona el KCl y los sólidos de formación en las concentraciones requeridas (Chamorra, 2022).

### Procedimiento para determinar la densidad del fluido de perforación

Este procedimiento de prueba es un método para determinar la masa de un volumen dado de líquido (equivalente a la densidad). La densidad del fluido de perforación se expresa en gramos por centímetros cúbicos o kilogramos por metro cúbico. Se mide con la balanza presurizada, instrumento de medición de la densidad, siguiendo la metodología de la norma ISO 10414-1.

La base del instrumento se coloca sobre una superficie plana y nivelada. Es medida y registrada la temperatura del fluido de perforación. Se llena la copa limpia y seca con el fluido de perforación que se probará., la tapa es colocada en la copa de retención de fluido de perforación llena y se gira hasta que quede firmemente asentada, asegurándose de que parte del fluido de perforación se expulse a través de la válvula situada en el centro de la tapa para liberar el aire o el gas atrapados. Con la válvula abierta se inyecta fluido a presión con ayuda de la bomba hasta que la válvula quede completamente cerrada.

Se limpia el exterior de la copa y se seca. La viga se coloca en el soporte base y va moviendo el jinete a lo largo de la escala graduada. El equilibrio se logra cuando la burbuja está debajo de la línea central y ahí se lee la densidad del fluido de perforación en una de las cuatro escalas calibradas en el lado de la flecha del peso deslizante (autores, 2010).

**Determinación de la concentración de cloruros en el fluido**

La prueba de cloruro mide la concentración de iones cloruro en el filtrado del fluido de perforación. Se realiza siguiendo el procedimiento de la norma ISO 10414-1

Procedimiento:

Se midió 1 mL de filtrado en el recipiente de titulación. Luego se agregaron 3 gotas de solución de fenolftaleína. Como el indicador se vuelve rosa, se agregó ácido gota a gota de la pipeta, mientras revuelve, hasta que desapareció el color. Después se agregaron 50 mL de agua destilada y 6 gotas de solución de cromato de potasio ($K_2CrO_4$). Se adicionó gota a gota la solución estándar de nitrato de plata de la pipeta revolviendo continuamente, hasta que el color cambió de amarillo a rojo anaranjado. Registrándose el volumen de solución de nitrato de plata requerido para alcanzar el punto final. La práctica se hizo por triplicado, así se obtuvo un resultado con mayor exactitud (autores, 2001).

Finalmente, la concentración de cloruros en el fluido se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración de cloruros} = \frac{10000 * \text{volumen del nitrato de plata}}{\text{volumen de muestra}} \quad \left(\frac{mg}{L}\right) \quad (1)$$

**Procedimiento para determinar los sólidos totales en el fluido de perforación**

Para calcular los sólidos totales se utiliza el método de la retorta descrito e la norma ISO 10414-1 (autores, 2008) que se realiza de la siguiente manera:

Se adiciona el fluido en la copa limpia y seca, se coloca la tapa en su lugar, se limpia el desbordamiento de muestra y la tapa. Asegurándose de que las roscas del recipiente para muestras aún estén cubiertas con grasa de silicona después de limpiarlas y de que el orificio de la tapa no esté tapado. Se enrosca la copa de la retorta en la cámara con su condensador. Luego se coloca un receptor de líquido limpio y seco debajo del tubo de descarga del condensador. Al calentar la retorta y observar el líquido que cae del condensador durante 25 min y se retira el receptor de líquido de la retorta. Se tiene que tener en cuenta si hay sólidos en el líquido que se recuperó. Si es así, todo el fluido de perforación se ha desbordado de la copa de muestra y la prueba debe repetirse. A continuación, se leen los volúmenes de agua y aceite en el receptor de líquido después de que se haya enfriado a temperatura ambiente y recopilan los volúmenes (o porcentajes de volumen) de agua y aceite recogidos (autores, 2008).

**Cálculo de los sólidos totales en el fluido según la Norma ISO-10414-1:2008**

A partir de los volúmenes medidos de aceite, agua y de muestra original de fluido, se calculan las fracciones de agua, aceite y sólidos totales.

La fracción volumétrica del agua ecuación (2):

$$\varphi w = 100 * \frac{Vw}{Vdf} (\%) \quad (2)$$

Donde:

Vw: es el volumen de agua expresado en centímetros cúbicos ($cm^3$)

Vdf: es el volumen de la muestra de fluido de perforación ($cm^3$)

La fracción volumétrica del aceite ecuación (3):

$$\varphi o = 100 * \frac{Vo}{Vdf} \quad (\%) \quad (3)$$

Donde:

Vo: volumen de aceite ($cm^3$)

La fracción de volumen de sólido de la retorta ecuación (4):

$$\varphi s = 100 - (\varphi w + \varphi o) \quad (\%) \quad (4)$$

Se requieren cálculos adicionales para encontrar el porcentaje (fracción de volumen) de sólidos suspendidos y relacionarlos con los volúmenes relativos de sólidos de baja gravedad y material densificante. Para realizar estos cálculos, se necesita la densidad del fluido de perforación y la concentración de cloruros precisas. El porcentaje (fracción de volumen) de sólidos en suspensión (φss), se expresa como porcentaje del volumen total de la muestra, se calcula como se indica en la ecuación (5):

$$\varphi ss = \varphi s - \left(\frac{\varphi w * Ccl}{1680000 - 1{,}21 * Ccl}\right)(\%) \quad (5)$$

Donde:

Ccl: concentración de cloruros (mg/L)

La fracción de volumen de sólidos de baja gravedad (LGS) ecuación (6):

$$LGS = \frac{1}{\rho b - \rho lg} * (100 * \rho f + (\rho b - \rho f) * \varphi ss - 100 * \rho df - (\rho f - \rho o) * \varphi o) \quad (\%) \quad (6)$$

Donde:

ρdf : es la densidad del fluido de perforación, expresada en gramos por centímetros cúbicos (g/ $cm^3$)

ρf: es la densidad del filtrado, expresada en gramos por mililitro, dada por la ecuación (7):

$$\rho f = 1 + 0{,}000\,001\,09 * Ccl \quad (7)$$

ρb: es la densidad del material pesado (g/$cm^3$)

$\rho lg$: es la densidad de los sólidos de baja gravedad (g/ $cm^3$), (use 2,6)

$\rho o$: es la densidad del aceite (g/$cm^3$), (use 0,8)

La fracción de volumen de sólidos de alta densidad (HGS) se calcula como se indica en la ecuación (8) (autores, 2010) (13):

$$\varphi b = \varphi ss - \varphi ss \quad (\%) \quad (8)$$

## RESULTADOS

### Densidad del fluido de perforación

La densidad de los fluidos preparados depende de los aditivos añadidos a este y las distintas concentraciones en las que estos varían. Estos valores se encuentran de modo general para la perforación de pozos en yacimientos de interés, en un intervalo de 1,05 a 2,50 g/$cm^3$, que permite una eficiente velocidad de penetración al contrarrestar la presión de la formación, con menores pérdidas de circulación. Las densidades alcanzadas en las formulaciones elaboradas est5an en un intervalo entre 1,35 y 1,43 g/$cm^3$ (autores, 2012).

### Contenido de sal en el fluido de perforación

Como se explicó anteriormente, a los fluidos creados, se les añadió distintas concentraciones de KCl, al que se le realizaron pruebas de laboratorio para verificar la cantidad de cloruros existentes en este. La prueba consistió en medir la concentración de iones de cloruro en el filtrado del fluido de perforación, la cual reveló que los fluidos contenían una cierta cantidad de cloruros además de la adicionada en la formulación. Esta cantidad adicional se debe a algunos aditivos, como el K-*inhibitor* aportan una cierta cantidad de cloruros al sistema (autores, 2019).

Se remarca que los cálculos de las sales disueltas se realizan considerando dos variantes: la primera tal y como se especifica en la norma con la consideración de que los cloruros corresponden a NaCl y la segunda variante que corresponde a la realidad, donde parte de los cloruros pertenecen a la sal de KCl, la cual se adiciona en la formulación; la diferencia entre estos y los cloruros totales pertenecen al NaCl que lo aporta las impurezas de los aditivos, especialmente el K-*Inhibitor*.

Para el cálculo de la segunda variante fue necesario la obtención de una ecuación para la densidad de filtrado, puesto que la obtenida de la norma solo contempla el cloruro de sodio (NaCl) y no presenta ninguna para el cloruro de potasio (KCl), siendo necesario calcular sus concentraciones para cada muestra expresados en la **Tabla 2**.

**Tabla 8 Contenido de KCl y NaCl en el filtrado**

| Formulación | NaCl (g/L) | KCl + NaCl (mg/L) | Formulación | NaCl (g/L) | KCl + NaCl (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7,3 | 1,36 | 10 | 6,2 | 2,89 |
| 2 | 8,0 | 3,54 | 11 | 9,1 | 3,57 |
| 3 | 15,4 | 5,92 | 12 | 16,5 | 5,95 |
| 4 | 6,7 | 1,31 | 13 | 5,6 | 1,28 |
| 5 | 11,3 | 3,63 | 14 | 11,9 | 3,65 |
| 6 | 5,0 | 5,03 | 15 | 3,9 | 5,02 |
| 7 | 6,7 | 1,30 | 16 | 7,3 | 1,31 |
| 8 | 6,9 | 3,45 | 17 | 7,5 | 3,47 |
| 9 | 8,2 | 5,59 | 18 | 7,7 | 5,56 |

**Influencia de las sales y el contenido de sólidos perforados en el cálculo de los sólidos de baja densidad (LGS)**

La medición del contenido de agua, aceite y sólidos en el laboratorio fue realizada por el método de la retorta. En este análisis son medidos los volúmenes de agua y aceite que contiene el fluido al ser destilados. El resto constituye el volumen de sólidos que representan los sólidos totales en el fluido, formados por los sólidos perforados, siendo estos los sólidos de baja gravedad específica (LGS) y los aportados por los aditivos y el material densificante (barita) que es de alta gravedad especifica (HGS) (I. Ismail; M. D. U. Onuoha; A. R. Ismail, 2017). Con los resultados obtenidos se hicieron los cálculos propuestos por la norma ISO 10414-1, donde se obtuvieron los sólidos en suspensión y de ahí los de alta y baja gravedad específica. Luego se realizaron los cálculos correspondientes a las ecuaciones y consideraciones que se exponen en la norma, incluyendo datos de densidades promedio y considerando que todo el contenido de sal presente en los fluidos es cloruro de sodio, sin tener en cuenta que lo que se le agregó fue cloruro de potasio. Además de estos resultados se obtuvieron los mismos cálculos, pero considerando las cantidades reales de cloruro de sodio y cloruro de potasio existentes en el fluido. Seguidamente se realizaron cálculos utilizando valores reales de la densidad de los sólidos perforados medida en el laboratorio y tomando como referencia el cloruro de potasio como la sal más abundante en el fluido, dando como resultado valores más exactos y en verdadera correspondencia con los fluidos creados.

En la **Tabla 3** se muestran las diferencias entre los valores esperados y los calculados que representan los errores. Se observa que la determinación de los sólidos de baja densidad por la norma ISO 10414-1, con la consideración de los cloruros como provenientes del NaCl, conducen a un error que oscila entre 0,43 y 3,53 para una media de 1,98 que es un valor significativo si se considera que el valor deseado es de 5 %. Si se consideran las sales reales existentes (KCl + NaCl) entonces el error oscila entre 0,24 y 1,88 para una media de 1,06. Tal resultado demuestra que es más preciso (

**Tabla 4**). En la **Tabla 5** se muestran las diferencias entre los valores esperados y los calculados utilizando la densidad real, que representan los errores en cada caso. Se observa que la determinación de los sólidos de baja densidad, con la consideración de la densidad estimada, conduce a un error que oscila entre 0,07 y 1,98 para una media de 1,025. Estos resultados demuestran que es más factible la realización de los cálculos teniendo en cuenta el verdadero contenido de sales y la densidad de los sólidos perforados presentes en el fluido en el cual ese esté trabajando.

En la **Tabla 3**,

**Tabla 4** y **Tabla 5** se muestran los errores entre valores esperados y calculados de cada una de las variantes propuestas, para el cálculo de LGS en los fluidos.

**Tabla 3: Errores para los cálculos por la norma**

| Formulación | LGS (Teórico) | LGS (calculado) | Error | Formulación | LGS (calculado) | Error |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,0 | 1,5 | 1,53 | 10 | 1,6 | 1,56 |
| 2 | 0,0 | 2,5 | 2,48 | 11 | 0,4 | 0,43 |
| 3 | 0,0 | 3,4 | 3,39 | 12 | 3,4 | 3,35 |
| 4 | 1,6 | 4,0 | 2,42 | 13 | 2,0 | 0,44 |
| 5 | 1,6 | 5,1 | 3,53 | 14 | 3,0 | 1,49 |
| 6 | 1,5 | 4,8 | 3,23 | 15 | 2,8 | 1,22 |
| 7 | 3,1 | 4,7 | 1,61 | 16 | 4,7 | 1,59 |
| 8 | 3,1 | 6,1 | 3,04 | 17 | 6,1 | 3,03 |
| 9 | 3,0 | 5,4 | 2,43 | 18 | 5,5 | 2,45 |

**Tabla 4: Errores para los cálculos teniendo en cuenta el KCl y NaCl**

| Formulación | LGS (Teórico) | LGS (calculado) | Error | Formulación | LGS (calculado) | Error |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,0 | 0,99 | 0,99 | 10 | 0,92 | 0,92 |
| 2 | 0,0 | 1,02 | 1,02 | 11 | 1,53 | 1,53 |
| 3 | 0,0 | 1,25 | 1,25 | 12 | 0,64 | 0,64 |
| 4 | 1,6 | 3,47 | 1,88 | 13 | 1,35 | 0,24 |
| 5 | 1,6 | 3,67 | 2,12 | 14 | 1,26 | 0,29 |
| 6 | 1,5 | 2,58 | 1,06 | 15 | 0,20 | 1,73 |
| 7 | 3,1 | 4,21 | 1,08 | 16 | 4,06 | 0,93 |
| 8 | 3,1 | 4,69 | 1,63 | 17 | 4,31 | 1,25 |
| 9 | 3,0 | 3,31 | 0,30 | 18 | 2,63 | 0,38 |

**Tabla 5: Errores para los cálculos teniendo en cuenta la densidad real de los sólidos**

| Formulación | LGS (Teórico) | LGS (calculado) | Error | Formulación | LGS (calculado) | Error |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,0 | 0,93 | 0,93 | 10 | 0,96 | 0,96 |
| 2 | 0,0 | 0,73 | 0,73 | 11 | 1,45 | 1,45 |
| 3 | 0,0 | 0,75 | 0,75 | 12 | 0,72 | 0,72 |
| 4 | 1,6 | 3,55 | 1,96 | 13 | 1,46 | 0,13 |
| 5 | 1,6 | 3,53 | 1,98 | 14 | 1,36 | 0,19 |
| 6 | 1,5 | 2,15 | 0,62 | 15 | 0,01 | 1,53 |
| 7 | 3,1 | 4,32 | 1,19 | 16 | 4,31 | 1,18 |
| 8 | 3,1 | 4,61 | 1,54 | 17 | 4,60 | 1,53 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 3,0 | 2,93 | 0,08 | 18 | 2,94 | 0,07 |

**Acciones a realizar en el campo para incrementar la eficiencia del control de sólidos**

Con el estudio realizado y los resultados obtenidos en los distintos cálculos propuestos se decidió proponer acciones a realizar en el campo. Con el objetivo de mejorar la eficiencia del control de sólidos, sin la necesidad de invertir en nuevos equipos y aumentar la vida útil de estos con un mejor manejo de los sólidos no deseados en la perforación. Realizar los cálculos del contenido de sólidos de baja densidad teniendo en cuenta el contenido de sales tanto de KCl como NaCl. Determinar la densidad de los sólidos perforados de la fase en la que se esté trabajando y no realizar los cálculos con un valor de densidad estimado, puesto que todas y cada una de las formaciones tienen diferente composición y esto influye en las densidades de los sólidos que la integran. Utilizar la balanza de lodos para la medición en el campo y obtener los resultados con mayor precisión. Realizar la dilución correspondiente de forma tal que se logre mantener en el fluido un por ciento de sólidos menor que 5 %

**Cálculos de la composición de sales disueltas con la consideración de NaCl y KCl**

A continuación, se propone un método de cálculo de la composición de las sales disueltas en el fluido considerando el contenido de NaCl y KCl. Se determina la concentración de potasio en el filtrado, según Anexo A.6 de la norma ISO 10414-1. Determinación de cloruros según apéndice 13 de la norma ISO 10414-1. Cálculo de la concentración de KCl y NaCl por estequiometría según las ecuaciones 9 y 10. Determinación de la densidad del filtrado según la ecuación 11

$$C_{KCl}=C_{k^+}\cdot\frac{74.55}{35450} \quad (9)$$

$$C_{NaCl}=\left(C_{Cl^-}-C_{k^+}*\frac{35450}{39100}\right)\cdot\frac{58.43}{35450} \quad (10)$$

Donde:

$C_{KCl}$ = concentración de KCl, g/L

$C_{NaCl}$= concentración de KCl, g/L

$C_{Cl^-}$= concentración de cloruros totales, mg/L

$C_{k^+}$= concentración de potasio, mg/L

$$\rho_f=1+0.000645\cdot C_{NaCl}+0.000585\cdot C_{KCl} \quad (11)$$

**Determinación de la densidad de los ripios de perforación**

La densidad de los sólidos perforados se realiza en el campo con un método sencillo empleando la balanza de lodo según el siguiente procedimiento:

Determine el volumen de la copa de una balanza presurizada ($V_c$). Colecte cerca de 100 g de sólidos perforados de la zaranda. Lave los sólidos con agua destilada o con el líquido de base si no es fluido base agua, para eliminar restos del fluido adherido a los sólidos. Elimine el líquido mediante la evaporación en retortas. Utilice varias retortas. Adicione los sólidos secos en una balanza presurizada y determine el valor de la densidad (como si fuera fluido), ($\rho_1$). Determine la masa de sólidos multiplicando el valor obtenido por el volumen de la copa. Complete la copa con agua remueva para eliminar aire entrampado, presurice con agua y determine el valor de la densidad $\rho_2$. La masa de la mezcla será la densidad por el volumen de la copa. La diferencia entre las masas representa la masa de agua que equivale a su volumen. Determine el volumen de sólidos por la diferencia entre el volumen de la copa y el de agua adicionada. La densidad de los sólidos perforados se calcula con la ecuación 16

$$M_{sp}=\rho_1\cdot v_c \quad (12)$$

$$M_m=\rho_2 \cdot v_c \quad (13)$$

$$V_a=M_m-M_{sp} \quad (14)$$

$$V_{sp}=V_c-V_a \quad (15)$$

$$\rho_{sp}=M_{sp}/v_{sp} \quad (16)$$

Las acciones propuestas describen de forma breve la puesta en práctica de la investigación en el campo, el equipo de trabajo cuenta con las herramientas necesarias para su aplicación. Es de gran importancia ya que es estudio realizado demostró que con su implementación aumenta la eficiencia del control de sólidos, disminuye el daño a la formación y a su vez los costos de perforación, haciendo de este proceso una operación más rentable.

**Valoración económica de los fluidos**

Para la valoración requerida se tomó como referencia un fluido que circula con un 5 % de contenido de sólidos (máximo porcentaje que debería tener un fluido para considerarse óptimo). A partir de ese valor se comparó con el porcentaje real que tendría si se introduce el mayor error calculado, siendo este de un 3,53 %. En los cálculos se evidencia como un mayor porcentaje de sólidos disminuye la velocidad de perforación, y eleva el número de días necesarios para su culminación, aumentando a su vez los costos de operación, alcanzando estos un valor de 4 200 000 CUP en 66 días. Además de esto se realizó un ejemplo donde se muestran los valores acumulados durante 10 días de perforación. El fluido al ser circulado solo hay dos opciones para que el contenido de sólidos no aumente, una es disminuyendo el aumento con un buen rendimiento de los equipos de control de sólidos y la otra es haciendo una dilución. Se muestra como el error se va acumulando cada día. La cantidad de sólidos puede alcanzar un valor del 11,6 %, la velocidad de perforación disminuye hasta 6 h/día, ocasionando un atraso en la perforación de 5 días, los cuales equivalen según el costo de perforación diaria a 5 000 000 CUP. Por otra parte, si se llega a esa cantidad de sólidos y la decisión tomada por los operarios en el pozo es hacer una dilución para aumentar la velocidad de perforación se necesita un volumen de 866 $m^3$ de fluido con un costo de 12 986 308 CUP.

## CONCLUSIONES

1. El fluido de perforación contiene cantidades significativas de KCl y los sólidos perforados con densidad de 2,68 $g/cm^3$, lo que influye en los cálculos realizados, obteniéndose una disminución en los errores promedios hasta de un 1.2 %, resultados más precisos al utilizar las concentraciones de esta sal y el valor real de la densidad
2. La presencia de sales y sólidos perforados en diferentes concentraciones son parámetros que influyen estadísticamente de forma significativa en el contenido de sólidos de baja gravedad del fluido de perforación, siendo los sólidos perforados los de mayor influencia sobre esta variable
3. Para mejorar la eficiencia del control de sólidos en el campo, se propone en primera instancia realizar las correcciones necesarias en los datos que ofrece la norma para el cálculo de los sólidos y la ejecución de acciones como mejorar la eficiencia del control de sólidos o realizar diluciones que mantenga los LGS en un 5 %
4. El contenido de sólidos de baja densidad presentes en el fluido influye de forma directa en la velocidad de perforación, los costos asociados a la ejecución del proceso de perforación para el caso propuesto se incrementan hasta 5 000 000 CUP en 10 días y si es necesario realizar una dilución los costos aumentan en 12 986 308 CUP; sin considerar los daños a la formación y otras eventualidades indeseables que proporciona el aumento de sólidos, para los cuales los tratamientos tienen elevados costos

**REFERENCIAS**

1. Arias, I. R. M. (2018). Manual de prácticas de laboratorio de fluidos de perforación de pozos. In.
2. Armas, D. E. G. d. (2017). *Sistema de fluidos*
3. autores, C. d. (2001). *Manual de Fluidos de perforación* (Procedimiento estandar para las pruebas de fluidos de perforación Issue.
4. Petroleum and natural gas industries — Field testing of drilling fluids §Part 1 (2008). https://www.iso.org
5. Práctica recomendada para la evaluación de sistemas de procesamiento de fluidos de perforación, (2010).
6. autores, C. d. (2012). Mejore las propiedades reológicas en los lodos de perforación *Quiminet*. www.quiminet.com/articulos/
7. autores, C. d. (2019). *Aditivos de perforación Catálogo de productos Powerfluids*. Power Fluids orilling aditives. WWW.POWERFLUIDS.COM.MX
8. autores, C. d. (2022). *Función de polímeros en los lodos de perforación* https://polimeros.com.es
9. Chamorra, H. P. R. C. A. P. C. (2022). Metodología del diseño de un fluido de perforación base agua en la cuenca oriente ecuatoriana *in FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*. https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3831
10. I. Ismail; M. D. U. Onuoha; A. R. Ismail, A. P. W. R. W. S. a. S. M. A. (2017). Improving Drilled Cuttings Lifting Using Polypropylene Beads in Water-Based Mud at Different Annular Mud Velocities *International Journal of Engineering and Technology 9*, Article 4. https://doi.org/10.7763/IJET.2017.V9.987
11. Martínez, I. S. S. (2016). *Perforación en la industria petrolera* Instituto Politécnico Nacional].
12. Osorio, M. M. H. P. A. M. (2018). *Formulaación de un fluido de perforación de alto rendimiento polimérico en base agua para el bloque CPO-05 de la cuenca de los Llanos Orientales* Fundación Universidad de América, Bogotá D.C, Colombia ].
13. Sánchez, J. (2020). *Fluido de perforación* https://idoc.pub/documents/fluido-de-perforación-8x4e7mo5v813

**Sobre los autores:**

Ing. Karen Pedroso Padron, recién graduada de la facultad de ingeniería química de la CUJAE en julio del presente año. Incorporada a la labor social en el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) ocupando la plaza de técnica del laboratorio de fluidos de perforación.

Dr.C Edgar George de Armas, jefe del laboratorio de fluidos de perforación en el CEINPET, profesor auxiliar, investigador auxiliar, perteneciente a la SCQuímica, SCGeología y varios grupos de expertos (perforación, geomecánica, energía circular)

Dr.C Lianys Ortega Viera, Decana de la facultad de Ingeniería Química de la CUJAE, profesor titular, perteneciente a SCQuímica

Dr.C. Elina Fernández Santana, jefa de la carrera de Ing. Química de la facultad de química en la CUJAE, profesor titular, perteneciente a SCQuímica

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPACTO AMBIENTAL QUE PROVOCA LA MOLINERA TURCIOS LIMA

**Teresita de Jesús Romero López[1], Manuel Becerra Valdés[2], Roberto González Aguilar[3]**

[1,2,3] Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH),
Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae).
Calle 114 No. 11901 e / Ciclovía y Rotonda, Municipio Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba

[1]e-mail: teresitaromerolope@gmail.com

**RESUMEN**

En la actualidad se están llevando a cabo proyectos futurísticos con el objetivo de profundizar en la temática y obtener un medio ambiente más limpio, en este caso específico la Bahía de La Habana. La Unidad Empresarial de Base Turcios Lima es una entidad que presupone un peligro al entorno donde se encuentra enclavada, tanto por las emisiones de gases al aire como por la generación de aguas residuales de naturaleza orgánica; de ahí que en el presente trabajo se enumeren los motivos por los cuales esta industria no cumple con los estándares medioambientales y la posible solución a esos problemas.

**PALABRAS CLAVES:** Bahía de La Habana, medioambiente, peligro, solución, Turcios Lima

**ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY THE TURCIOS LIMA MILL**

**ABSTRACT**

Futuristic projects are currently being carried out with the aim of deepening the theme and obtaining a cleaner environment, in this specific case the Havana Bay. The Turcios Lima Base Business Unit is an entity that presupposes a danger to the environment where it is located, both due to gas emissions into the air and the generation of organic wastewater; Hence, this paper lists the reasons why this industry does not comply with environmental standards and the possible solution to these problems.

**KEY WORDS:** Bahía de La Habana, environment, danger, solution, Turcios Lima

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mundo se ha manifestado un crecimiento gradual en la creación de industrias y en nueva mejora de sus tecnologías, situación que ha prevalecido desde los inicios de la revolución industrial. Cuando la industrialización se hizo masiva, los problemas ambientales eran evidentes y sus impactos empezaron a afectar la salud y el medio de convivencia en regiones urbanas fundamentalmente.

La relación entre el aumento de la industrialización y el incremento consecuente de la contaminación es un fenómeno que está presente en el archipiélago cubano, al igual que otras partes del mundo desarrollado.

En Cuba, uno de los principales problemas es el relacionado con la contaminación de las aguas de mar. Tal es el caso de la Bahía de La Habana, que presenta un alto nivel de contaminación causado fundamentalmente por las actividades domésticas e industriales de más de 88 entidades que tributan sus desechos de forma directa o indirecta sin un adecuado tratamiento.

La eliminación de sustancias tóxicas, bacterias, componentes químicos y físicos o biológicos se realiza para toda agua que ha sido usada y sin importar el destino que puede ser tanto doméstico, urbano como industrial. Dentro de este último sector hay un área que se encarga de la elaboración de alimentos, donde se pueden encontrar los productores de harinas de soja y trigo, entre otros, conocidos tradicionalmente como molineras.

Las molineras, además del agua contaminada que pueda generar en su proceso productivo, provee al medio de polvo, emitido durante las labores que se llevan a cabo y que a su vez traen consigo otras molestias ambientales.

En la Tabla 1 se aprecian los estándares alemanes en cuanto los valores admisibles de polvo en las diferentes secciones de la industria [1], así como en la Tabla 2, los contaminantes, tipo y efecto que se han generado en la Unión Empresarial de Base (UEB) Cereales Santiago [2], con destino final la bahía santiaguera cubana.

**Tabla1: Contaminantes y emisiones admisibles de polvo en Alemania. Tomado de [1]**

| Clase de industria molinera | Contenido de polvo en el aire de trabajo | | Valores de emisiones admisibles |
|---|---|---|---|
| ***Silos*** | 12 a 15 | $g/m^3$ | 50 $mg/m^3$ |
| ***Secaderos*** | 15 a 18 | $g/m^3$ | 50 $mg/m^3$ |
| ***Molinos de cereales*** | Aprox. 96 | $g/m^3$ | 50 $mg/m^3$ |
| ***Molinos descascarilladores*** | 6 a 8 | $g/m^3$ | 50 $mg/m^3$ |
| ***Purific. de semillas*** | 8 a 10 | $g/m^3$ | 50 $mg/m^3$ |

**Tabla 2: Contaminante, tipo y efecto sobre el ecosistema generado por la UEB Cereales Santiago. Tomado de [2]**

| Contaminante | Tipo | Efecto sobre el ecosistema |
|---|---|---|
| ***Sustancias orgánicas: C,P,N.K*** | Hídrica | Eutrofización |
| ***Sustancias orgánicas: Harina y afrecho de trigo*** | Hídrica | Eutrofización |
| ***Ruidos*** | Sonora | Alteración del sistema nervioso<br>Ahuyenta a las especies |
| ***Olores*** | Atmosférica | Ahuyenta a las especies<br>Afecciones respiratorias |
| ***Polvos de trigo 70 $mg/m^3$*** | Atmosférica<br>Suelo<br>Hídrica | Afecciones respiratorias |

Las molineras encargadas de satisfacer las demandas de estos alimentos en el país se ubican en Santiago de Cuba, Holguín, Cienfuegos, Cárdenas y La Habana [3] (Fig. 1).




**Figura 1: Ubicación geográfica de los molinos cubanos. Tomado de [3]**

La molinera UEB Turcios Lima situada en La Habana, es el objeto de este trabajo por su vertimiento a la Bahía de La Habana, sus emisiones contaminantes al medio y por los planes futurísticos de convertir a esta bahía en un destino turístico, recreativo y cultural.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

La UEB Turcios Lima se encuentra ubicada en la Avenida del Puerto no.8 / Litoral y Línea del Ferrocarril, en el municipio habanero de Regla. Está asociada a la empresa productora cubana de molinería y su marca comercial es denominada Haricub. Fue creada por la resolución No.46/93 del Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL). En la Fig. 2 se aprecia una vista satelital de la instalación.




**Figura 2: Imagen satelital de la UEB Turcios Lima (Tomada de Google Map).**

### Esquema de producción en la UEB Turcios Lima

En la Fig. 3 se expone el esquema de producción de la unidad empresarial.

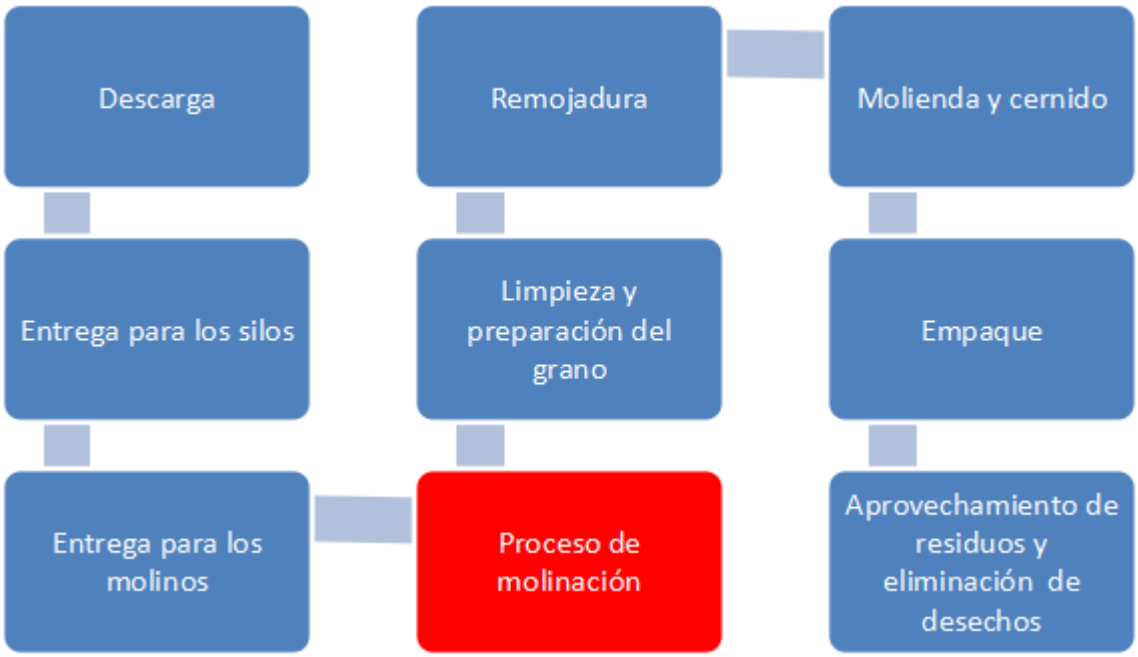



**Figura 3: Esquema de producción de la UEB Turcios Lima. Tomado de [4]**

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que los impactos ambientales de la industria molinera abarcan los siguientes campos:

- emisión de polvo
- molestias por ruidos
- peligros por explosiones de polvo e incendios
- molestias por malos olores a pequeña escala
- peligros por gas tóxico
- aprovechamiento de residuos y/o eliminación de desechos
- agua de procesos

se puede decir que la UEB Turcios Lima contempla un severo problema con la presencia de material orgánico vertido directo a la bahía. Dicho problema está asociado a las partículas que quedan suspendidas en el aire luego del proceso de molienda del trigo, ocasionando tupiciones casi irreversibles en el sistema pluvial de la instalación y la presencia de material orgánico que va a parar a la bahía.

Algunas de las razones más comunes y frecuentes que ocasiona esto son las siguientes:

- las maquinarias no funcionan a un 100 % de efectividad dado que tienen salideros y muchas veces se acumula polvo, harina y cascarillas fuera del área de trabajo
- no cuentan con un óptimo sistema de extracción de polvo y partículas que se suspenden en el aire
- el área donde se vierte gran parte de las partículas producto de la molienda no está clausurada
- cuando el trigo pasa por el MTKB (Zaranda), la ciclonera (Fig. 4) se satura de contenido de material orgánico y esta tiende a expulsarlo al medio ambiente
- el sistema pluvial tiene severas tupiciones (Fig. 5), por lo que después de significativas precipitaciones o cuando se realizan limpiezas generales, el agua que fluye hacia la bahía impacta de manera negativa



**Figura 4.- Imagen real de la ciclonera. Foto de [4]**



**Figura 5: Agua estancada producto del drenaje defectuoso. Foto de [4]**

Referido a los residuales líquidos que se genera en el proceso productivo, existe un tanque séptico donde se colectan los mismos, del que se desconocen los planos de diseño y que se encuentra ubicado aproximadamente a 5 m de la bahía (Fig. 6).



**Figura 6: Tanque séptico que se encuentra en la UEB Turcios Lima. Tomado de [4]**

La disponibilidad de terreno existente, aunque escaso, fue el primer motivo a considerar para la propuesta de un tanque séptico renovado y con los valores de caracterización actualizados. Este método de tratamiento, que resulta poco costoso, está a tono con la situación financiera que atraviesa el país y la imperiosa necesidad de continuar con la línea de conservación a la Bahía de La Habana, futura área de recreación y turismo de Cuba.

Por otro lado, es interés no solo del Grupo Estatal de la Bahía (GTE-Habana), sino también de la Industria Alimentaria (MINAL), que todas sus industrias presenten sistemas de tratamiento a sus residuales o al menos, una propuesta que sea factible y sobre todo sencilla y sostenible para su introducción en los tiempos venideros.

En la tabla siguiente se exponen las características de esas aguas, las que se utilizaron para formular el tratamiento a implementar en la UEB Turcios Lima [5].

**Tabla 3: Resultados de la caracterización de las aguas residuales de la UEB Turcios Lima. Tomado de [5]**

| Fecha | $DBO_5$ | DQO | PT | NTK | SST | G y A | pH | T | CE | S. Sed. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg $L^{-1}$ | | | | | | U | °C | µS $cm^{-1}$ | mL $L^{-1}$ |
| 12/08/2019 | 200 | 354 | 8.4 | 62.4 | 68 | <1.4 | 8.17 | 27.7 | 1063 | <1.0 |
| 20/08/2019 | 130 | 364 | 7.0 | 71.2 | 114 | <5.0 | 8.11 | 25.7 | 1152 | <1.0 |
| 21/08/2019 | 210 | 273 | 6.9 | 55.9 | 66 | <5.0 | 7.71 | 26.6 | 3843 | <1.0 |
| Promedio | 180 | 330 | 7.4 | 63.2 | 82.7 | 3.8 | 8.0 | 26.7 | 2019 | <1.0 |
| LMP | 75 | 190 | 5.0 | 20 | 75 | 30 | 5.5 – 9.0 | 40 | - | 10 |

LMP: Límites Máximos Permisibles en la Norma Cubana sobre "Vertimiento de aguas residuales a las zonas costeras y marinas. Especificaciones" (NC 521: 2007). Clase E
Límite de detección del método analítico para grasas y aceites = <1.4 mg $L^{-1}$
Límite de detección del método analítico para los sólidos sedimentables = <1.0 mL $L^{-1}$
*El indicador pH no se debe promediar
En negrita señalado los valores que no cumplen con los LMP de la norma empleada

No todos los parámetros evaluados cumplían con lo establecido por la norma cubana NC 521:2007 [6] (que plantea los límites permisibles de descarga de aguas residuales a las zonas costeras) para su deposición a las aguas de la bahía, haciéndose necesario la consecuente propuesta de un órgano de tratamiento que lograra disminuir esos valores.

**Propuesta de solución para la disminución de la emisión de polvo y materia orgánica al medio ambiente**

Luego de realizar varias visitas a la entidad, dar múltiples recorridos y con la colaboración de los propios trabajadores y la dirección de la empresa, se pudo comprobar la principal fuente de emisión de polvo y materia orgánica al ambiente exterior, por lo que se elaboró un diagrama de emisión de polvo en el que se exponen las principales etapas de su generación y a la vez se señala la etapa más crítica en cuanto a la contaminación, como se observa en la Fig. 7.




**Figura 7: Diagrama de emisión de polvo. Tomado de [4]**

Se puede apreciar como principal problema, la parte del proceso en el MTKB o Zaranda, ya que la mayoría de los residuos y polvo pasan por este proceso. Para lograr disminuir dicha contaminación atmosférica luego de haber identificado la principal fuente que la origina, se propone lo siguiente:

- optimizar el trabajo de los operarios encargados de la recolección de estos residuos
- hermetizar el contenedor donde se emite la descarga de estos residuos
- rehabilitar la ciclonera para que no se sature y no emita el resto de las partículas al medio exterior

- rehabilitar el sistema de extracción de polvo en el proceso de la molienda y en el proceso de empaque

**Propuesta de solución al impacto medioambiental provocado por los residuos líquidos**

A raíz del poco volumen de agua residual que genera la empresa y teniendo en cuenta el reducido espacio que presenta la misma para construir cualquier sistema de tratamiento que contemplara varias fases, se decidió el diseño de un tanque séptico, según NT IS 020 [7].

En la Tabla 4 se exponen los valores resumen calculados para acometer dicho diseño (los cálculos detallados en [4]).

**Tabla 4: Resumen de los valores calculados para el diseño del tanque séptico. Tomado de [4]**

| Variable | Unidad | Valor |
|---|---|---|
| **Q** | $m^3/d$ | 15 |
| **PL** | año | 1 |
| **PR** | día | 1 |
| **Vs** | $m^3$ | 15 |
| **Hs** | m | 0. 43 |
| **A** | $m^2$ | 34. 5 |
| **Vd** | $m^3$ | 9. 37 |
| **TAL** | L/Hab/año | 44 |
| **Hd** | m | 0. 27 |
| **He** | m | 0. 02 |
| **Htee** | m | 0. 12 |
| **$H_0$** | m | 0. 3 |
| **HI** | m | 0. 43 |
| **Ht** | m | 0.72 |
| **Vt** | $m^3$ | 24. 84 |
| **Vc1** | $m^3$ | 14. 904 |
| **Vc2** | $m^3$ | 9. 936 |

**Donde**: Q- carga hidrálica ; PL- período de limpieza ; PR- período de retención ; Vs- volumen de sedimentación ; Hs- profundidad requerida para la sedimentación ; A- área del tanque séptico ; Vd- volumen de digestión y acumulación de lodos ; TAL- tasa de acumulación de lodos ; Hd- profundidad requerida para la digestión y acumulación de lodos ; He- profundidad máxima de espuma sumergida ; Htee- profundidad del dispositivo de salida respecto al nivel superior de espuma ; Ho- profundidad libre de lodos ; HI- profundidad de espacio libre ; Ht- profundidad total efectiva ; Vt- volumen total del tanque séptico ; Vcl- volumen de cámara 1 ; Vc2- volumen de cámara 2

Para el diseño de este tanque séptico (Fig. 8) se dispuso de dos cámaras con las siguientes características:
Volumen de la cámara 1 (teniendo en cuenta que esta tendría un 60 % de la capacidad útil total) = 14.904 $m^3$
Volumen de la cámara 2 (teniendo en cuenta que esta tendría un 40 % de la capacidad útil total) = 9.936 $m^3$.
Longitud de la cámara 1 = 3.6 m
Longitud de la cámara 2 = 2.4 m

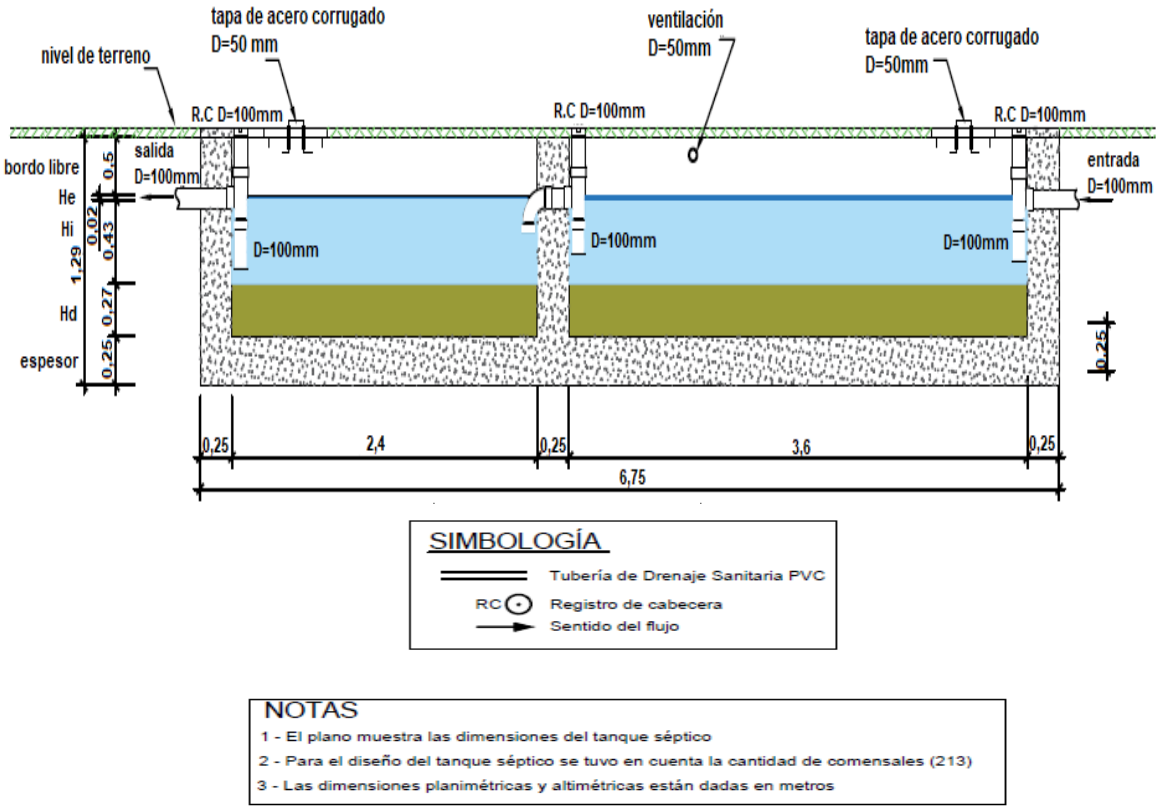



**Figura 8: Perfil longitudinal del tanque séptico. Tomado de [4]**

## 4. CONCLUSIONES

- La UEB Turcios Lima genera al medio polvo y agua contaminada procedente del proceso productivo.

- Se requiere realizar ajustes en las principales fuentes de emisión de polvo a la atmósfera y la construcción o remodelación de un tanque séptico para las aguas de desecho.

**RECONOCIMIENTOS**

Se agradece a todo el personal que de una u otra forma aportó sus conocimientos para poder realizar este trabajo.

**REFERENCIAS**

1. Guía de Protección Ambiental Tomo II. **"**Economía Agropecuaria, Minería y Energía, Actividades Industriales y Artesanales'' (GTZ/BMZ, 1996, 751 pp). Cuba. Documento disponible en Web: http://www.nzdl.org

2. ARIAS, T. "Caracterización de algunas de las principales fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba y sus consecuencias en el medio ambiente". *Tecnología Química*. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. 2008; 28(2), pp 79-89.

3. PÉREZ, H. Z. "El crecimiento de la industria molinera en Cuba". TrigAR 2019. *1er Congreso Internacional de Trigo.* Complejo Ferial, Córdoba, Argentina.

4. GONZÁLEZ, A. R. "Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la UEB Turcios Lima". Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Cujae. La Habana, Cuba. 2022.

5. ARIAS VERDE, J. A. "Monitoreo de los residuales líquidos, medición de aforo y determinación de la carga contaminante en instalaciones de la cuenca de la Bahía de La Habana". Cimab. *Informe Técnico*. Código: 56313-19. 2019. 9 pp. La Habana.

6. NC 521:2007. "Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones". *Norma Cubana*. 2007. 1ª Ed. ICS: 13.060.30. 14 pp. Cuba.

7. NT IS 020. "Norma Técnica IS 020 Tanques Sépticos". 2012. 16 pp. Perú.

***Orcid** de Teresita de J. Romero López: https://orcid.org/0000-0001-9572-8333*

**Sobre los autores**

**Teresita de Jesús Romero López**. Licenciada en Biología Marina, Máster en Ciencias Biológicas y Dra en Ciencias Técnicas. Investigadora Titular y Profesora Titular. Trabaja en el área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad Tecnológica de la Habana (Cujae).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# "EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA INSTALACIÓN DE UN ENFRIADOR A PLACAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUARDIENTE"

# "TECHNICAL EVALUATION FOR THE INSTALLATION OF A PLATE COOLER IN THE PRODUCTION OF AGUARDIENTE"

**Autores: Ing. Norbier Pérez Rubio [(1)]**
**(Ronera Santa Cruz, Mayabeque correo: rllerena@cubaron.co.cu)**
**Lic. Raciel Llerena Hernández [(2)]**
**(Ronera Santa Cruz, Mayabeque correo: rllerena@cubaron.co.cu)**

**RESUMEN**

En el siguiente trabajo se evaluó un equipo de intercambio de calor a placas para ser utilizado en el proceso de destilación de aguardiente fresco. Para ello fue necesario calcular la cantidad de placas que debía tener el mismo para garantizar la temperatura deseada, además de conocer el estado de las juntas y si los cabezales del equipo. El aguardiente fresco cubano es producto de un proceso fermentativo de las mieles finales de caña de azúcar, el cual presenta una tipicidad propia que lo distingue del resto de los productos del mundo, la cual se estaba perdiendo debido a la pérdida de componentes aromáticos debido a las altas temperaturas con que se está produciendo el aguardiente.
Para el montaje del IC el cual incluye como fluido frio agua a temperatura ambiente y como fluido caliente aguardiente fresco a una temperatura de 75°C se utilizó un arreglo 8x3 con un total de 48 corrientes y 49 placas de acero inoxidable tipo ALFA LAVAR, lo cual garantizó que el producto final alcanzase una temperatura aproximada entre 30-32°C garantizando así que no existirían pérdidas de componentes aromáticos propios del aguardiente.
En cuanto al análisis económico realizado solo se determinó el capital ahorrado por la fábrica si dicho equipo se fuese a comprar en el mercado internacional, que es de 109 834,09 EURO, no se tuvieron en cuenta gastos directos de producción y los gastos indirectos son aquellos vinculados al salario de los trabajadores los cuales resultan despreciables comparados con lo antes ahorrado.

**Palabras claves**
aguardiente fresco, proceso fermentativo, intercambiador a placas, fluido caliente y frio, acero inoxidable

**ABSTRACT**
In the following work, a plate heat exchanger was evaluated to be used in the distillation process of fresh liquor. To do this, it was necessary to calculate the number of plates that it should have to guarantee the desired temperature, in addition to knowing the state of the seals and the heads of the equipment. Cuban fresh liquor is the product of a fermentation process of the final sugar cane molasses, which presents its own typicality that distinguishes it from the rest of the products in the world, which was being lost due to the loss of aromatic components due to the high temperatures at which the liquor is being produced.
For the assembly of the IC, which includes water at room temperature as cold fluid and fresh liquor at a temperature of 75°C as hot fluid, an 8x3 arrangement was used with a total of 48 streams and 49 ALFA LAVAR stainless steel plates, which guaranteed that the final product reached an approximate temperature of between 30-32°C, thus ensuring that there would be no loss of aromatic components of the liquor.
Regarding the economic analysis carried out, only the capital saved by the factory if said equipment were to be purchased on the international market was determined, which is 109,834.09 EURO. Direct production costs were not taken into account, and indirect costs are those linked to the workers' salaries, which are negligible compared to the savings previously made.

**Keywords**
fresh liquor, fermentation process, plate heat exchanger, hot and cold fluid, stainless steel

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad es necesario aprovechar al máximo las fuentes de energía; y poner en práctica nuevas alternativas que permitan el uso racional de dichas fuentes. Es por ello que la transferencia de calor ocupa un papel primordial en la investigación, análisis y debate de los posibles problemas que afectan un proceso industrial desde el punto de vista energético.

Los equipos de transferencia de calor se definen por las funciones que desempeña en un proceso. Los intercambiadores recuperan calor entre dos corrientes en un proceso; de acuerdo al uso que se les proporcione se clasifican en enfriadores, calentadores, hervidores, evaporadores, etc.

A nivel mundial ha existido una continua búsqueda para lograr una mayor eficiencia y economía energética lo que ha provocado el desarrollo de muchos tipos diferentes de intercambiadores de calor, además de los tradicionales tubos y coraza.

Es así, que se desarrollan intercambiadores que proporcionan una mayor área de transferencia de calor por unidad de volumen y una mayor eficiencia térmica y con características sanitarias muy buenas. Esos intercambiadores son los llamados a placas, los cuales presentan características que los distinguen del resto de los intercambiadores:

- Altos coeficientes de transferencia de calor.
- Alta relación en la superficie de transferencia de calor y el volumen que ocupan.
- Baja tendencia a incrustarse.
- Son de fácil mantenimiento y limpieza, ya sea por medios químicos o mecánicos.

Actualmente la UEB Destilería, dentro de su banco de problemas, presenta una problemática con la temperatura de salida del aguardiente fresco producido, ya que la misma es elevada, impidiendo en tiempo real conocer los volúmenes de producción obtenida y afectando también la calidad del producto terminado, debido a que la propia acción de la temperatura provoca que el líquido se expanda y muestre volúmenes de producción superiores a los que realmente existen a temperatura ambiente, por lo que se propone como **problema**:

**Problema:** El aguardiente fresco producido en la Ronera Santa Cruz se esta produciendo a altas temperaturas, lo cual esta provocando pérdidas por evaporación de componentes aromáticos que influyen directamente en la tipicidad del producto y en los volúmenes de producción obtenidos.

Como o**bjeto** de la investigación se propone el siguiente:

**Objeto:** El aguardiente fresco de la Ronera Santa Cruz.

Esta alta temperatura de salida del producto se debe a que el actual enfriador (IC Tubo y Coraza) que se encuentra funcionando no se encuentra trabajando como debería, o sea, intercambiando todo el calor que se calculó en el diseño original, esto puede ser debido a la disminución del área de transferencia debido a las incrustaciones adquiridas durante los más de 40 años de trabajo, dichas incrustaciones no han podido ser removidas en las limpiezas tecnológicas realizadas en la planta ya que el equipo se encuentra ubicado en un área de difícil acceso para su mantenimiento y limpieza, además por la baja relación entre área de transferencia y volumen que ocupa, es un equipo pesado y de difícil movilidad, también cabe destacar que en cada una de las paradas de la planta en su interior queda un gran volumen de líquido atrapado (producción terminada), por lo que se dio a la tarea de reemplazar dicho equipo por otro que solucione esta problemática en el sistema de destilación de aguardiente, presentando como objetivo general: Evaluar un intercambiador de calor a placas para ser utilizado como enfriador del aguardiente producido.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

El ICP es un equipo extremadamente compacto, ligero, de diseño sencillo y de fácil limpieza. Sus partes componentes son las siguientes:

- Placas de intercambio térmico.
- Juntas de cierre.
- Armadura
- Dispositivos para el mantenimiento de la temperatura
- Equipos e instrumentos auxiliares.

En la UEB Destilería se cuenta con un ICP, el cual no se encuentra instalado en ninguno de los dos sistemas productivos, el mismo anteriormente había estado instalado en la fábrica de refrescos “Las Lomas” y presenta las siguientes características:

- Tipo de placa: Tabla de Lavar
- Material de la placa: Acero inoxidable
- Ancho de las placas (b) = 200 mm
- Largo de las placas (L) = 570 mm
- Espacio entre placas (e) = 4,2 mm
- Espesor de las placas () = 1 mm

***EVALUACIÓN DEL INTERCAMBIADOR A PLACAS***

Como se ha visto, dentro de las posibles vías de ahorro de energía con que cuenta la instalación están los intercambiadores a placas. A continuación, se realizará la evaluación del mismo para verificar si cumple con los requerimientos para ser utilizado en el proceso.

**Tabla 1.** Condiciones reales de operación del intercambiador.

| **Datos:** | **Aguardiente Fresco** | **Agua** |
|---|---|---|
| Flujo volumétrico (l/h) | 2710 | 9880 |
| Flujo másico (kg/h) | 2396 | 9880 |
| Temperatura Entrada (°C) | 75 | 30 |
| Temperatura Salida (°C) | 32 | 38 |
| Densidad Promedio (kg/m$^3$) | 884 | 1000 |
| Calor específico (kcal/kg°C) | 0,786 | 1,000 |
| Viscosidad (cP) | 1,8 | 0,81 |
| Conductividad Térmica Prom. (W/mK) | 0,3179 | 0,623 |

Cabe destacar que todas las propiedades de los fluidos como se conoce están en función de las temperaturas de los mismos, por lo que se decide trabajar con las propiedades promedios, determinadas a las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos.

En el caso de la viscosidad y la conductividad térmica del aguardiente se determinó utilizando los modelos descritos por **Pérez Ones, Osney. 2010** para fluidos alcohólicos con temperaturas entre 25-80 °C.

$$\mu = 1{,}9405 - 0{,}0469T + 6{,}1067X + 0{,}0004T^2 - 5{,}9790X^2 - 0{,}0729TX + 0{,}0725X^2T \quad \text{.....(1)}$$

$$k = 0{,}5940 + 0{,}001T - 0{,}5012X + 0{,}0326X^2 \quad \text{..... (2)}$$

**Cálculos:**
El calor cedido y absorbido por ambos fluidos se determina por la siguiente expresión.

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad \text{..... (3)}$$

Sustituyendo en la Ec. 3 se calcula la cantidad de calor cedido por el aguardiente

$$Q_{ced.} = 2396 \frac{kg}{h} * 0{,}786 \frac{kcal}{kg}°C * (75°C - 32°C)$$

$$\boldsymbol{Q_{ced.} = 80\,980\ kcal/h}$$

Considerando que, en la transferencia de energía de un fluido al otro, existe un 7% de pérdidas de calor se puede decir:

$$\frac{Q_{abs.}}{Q_{ced.}} = 93\% \quad \text{.....(4)}$$

Entonces: $Q_{abs.} = Q_{ced} * 0{,}93$

$$Q_{abs} = 75\,311\ kcal/h$$

Despejando en la expresión 3 se obtiene:

$$T_4 = \frac{Q_{abs}}{m_{agua} * C_p} + T_3$$

$$T_4 = \frac{75311\ kcal/h}{9980\frac{kg}{h} * 1{,}000\ kcal/kg°C} + 30°C$$

$$T_4 = 38\ °C$$

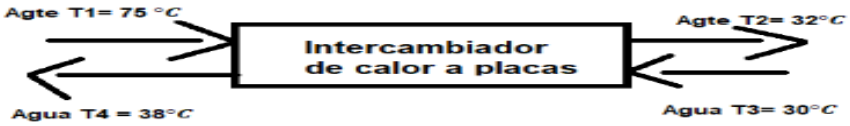



**Figura 1.** Temperaturas de entrada y salida de los fluidos en el ICAP.

A continuación, se procede a determinar la diferencia media logarítmica de temperatura (MLDT) mediante la siguiente expresión:

$$MLDT = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{LN\frac{\Delta T1}{\Delta T2}} \text{.....(5)}$$

$$MLDT = \frac{43°C - 8°C}{LN\frac{43°C}{8°C}}$$

$$MLDT = 20{,}81°C$$

Seguidamente se hace necesario determinar la velocidad de dichos fluidos mediante la expresión siguiente:

$$v = \frac{q}{b*e*np} \text{.....(6)}$$

Las velocidades típicas en intercambiadores a placas para fluidos acuosos en régimen turbulento son del orden de 0,3 a 0,9 m/s, aunque los valores reales en algunas partes del equipo pueden ser mucho mayores por el efecto de las corrugaciones. Existen algunos equipos en específico donde estos valores pueden ser algo superiores.
Donde q es la productividad del equipo en $m^3/s$:

$$q = \frac{m}{\rho}/3600$$

$$q_{Agte} = 7{,}527 * 10^{-4} m^3/s$$

$$q_{Agua} = 2{,}744 * 10^{-3} m^3/s$$

Para determinar dicha velocidad se hace necesario realizar una suposición del número de placas (np), teniendo en cuenta las velocidades típicas para regímenes turbulentos:

Para np = 10 placas: $v_{agte} = 0{,}0896\ m/s$

$$v_{agua} = 0{,}3266\ m/s$$

**Para np = 8 placas:** $v_{agte} = 0,112 m/s$

$v_{agua} = 0,408\ m/s$

Para np = 6 placas: : $v_{agte} = 0,149\ m/s$

$v_{agua} = 0,544\ m/s$

Se decide trabajar con el arreglo de 8 placas debido a que a pesar que la velocidad del fluido caliente (aguardiente) no cumple con los criterios establecidos para régimen turbulento se considera que con dicho arreglo se pueda cumplir con el objetivo deseado y lograr la transferencia de calor que se necesita.
El diámetro equivalente (De) del canal, también llamado diámetro hidráulico, para ICP tiene un valor entre 0.006 y 0.15 m, aunque se puede calcular de la siguiente manera:

$D_e = \frac{4*b*e}{2*b} = 2e$ ……**(7)**

$D_e = 2 * 0,0042\ m$

$D_e = 0,0084\ m$

Cumpliendo con los valores típicos de **De** para intercambiadores a placas en la industria.

Conociendo el diámetro equivalente y las velocidades de ambos fluidos en el intercambiador de calor se puede determinar el número de Reynols mediante la siguiente expresión:

$R_e = \frac{D_e * v * \rho}{\mu}$ ……**(8)**

$Re_{Agte} = 462,04$

$Re_{agua} = 4231,11$

A continuación, se determinará el Prandtl mediante la siguiente expresión:

$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$ ……..**(9)**

$Pr_{Agte} = 18,6$

$Pr_{agua} = 5,44$

La ecuación que determina la transferencia de calor para ICP tipo Tabla de Lavar o corrugación paralela según Hewitts y que han brindado muy buenos resultados en la industria es:

$h = 0,2 * Re^{0,67} * Pr^{0,4} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,1} * \frac{k}{D_e}$ …… **(10)**

$h_{Agte} = 0,2 * 462,04^{0,67} * 18,6^{0,4} * \frac{0,3179\ \frac{W}{m°C}}{0,0084\ m}$

$h_{Agte} = 1486,6\ W/m^2°C$

$h_{agua} = 0,2 * 4231,11^{0,67} * 5,44^{0,4} * \frac{0,623\ \frac{W}{m°C}}{0,0084\ m}$

$$\boldsymbol{h_{agua} = 7856\ W/m^2°C}$$

$$U_c = \frac{h_{Agte} * h_{agua}}{h_{Agte} * h_{agua}} \text{.....(11)}$$

$$U_c = \frac{1486{,}6 \frac{W}{m^2}°C * 7856 \frac{W}{m^2}°C}{1486{,}6 \frac{W}{m^2}°C + 7856 \frac{W}{m^2}°C}$$

$$\boldsymbol{U_C = 1250\ W/m^2°C}$$

A continuación, se debe determinar el Coeficiente Total de Transferencia de Calor ($U_D$), el cual se determina por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + Rd + \frac{\Delta X}{K} \text{.....(12)}$$

El factor de incrustación o ensuciamiento (Rd) fue tomado de **Intercambiadores de Calor a Placas** para etanol y agua fresca:

$$Rd_{Agte} = 0{,}645 * 10^{-4} m^2 h/W$$

$$Rd_{agua} = 0{,}301 * 10^{-4} m^2 h/W$$

$$K = 17{,}6\ W/m^2°C$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{1250\ W/m^2°C} + 0{,}645 * \frac{10^{-4} m^2 h}{W} + \frac{0{,}001\ m}{17{,}6\ W/m^2°C}$$

$$\boldsymbol{U_D = 1085{,}4\ W/m^2°C}$$

Entonces:

$$Q = U_D * A * Ft * MLDT \text{..... (13)}$$

Como $n_p$= 8 entonces Ft = 0,95, se determina el área de transferencia de calor y el área de una de las placas

$$A = \frac{Q}{U_D * Ft * MLDT}$$

$$A = \frac{80980 \frac{kcal}{h} * 1{,}163\ W/kcalh}{1085{,}4 \frac{W}{m^2}°C * 0{,}95 * 20{,}81°C}$$

$$\boldsymbol{A = 4{,}4\ m^2}$$

$$A_{placa} = l_{placa} * a_{placa} \text{.....(14)}$$

$$A_{placa} = 0{,}2\ m * 0{,}57\ m$$

$$A_{placa} = 0{,}114\ m^2$$

Considerando un 20% de corrugación en cada placa se tiene:

$$A_{placa} = 0,1368\ m^2$$

Seguidamente se determina la cantidad de placas necesarias:

$$Número_{placas} = \frac{A_{transferencia}}{A_{placa}}$$

$$Número_{placas} = \frac{4,4\ m^2}{0,1368\ m^2}$$

$$\boldsymbol{Número_{placa} = 33\ placas}$$

Se propone un arreglo: $\frac{8\ X\ 3}{8\ X\ 3} = \boldsymbol{48\ corrientes}$

$$Placas_{\ Totales} = Corrientes_{Totales} + 1 = \boldsymbol{49\ placas}$$

$$Placas_{\ Transferencia} = Corrientes_{Totales} - 1 = 47\ placas$$

$$Sobrediseño = \frac{47 - 33}{47} * 100$$

$$\boldsymbol{Sobrediseño = 30\%}$$

Como se puede observar se propone este arreglo de 48 corrientes ya que se cuenta con estas placas en fábrica, pero este sobrediseño es bastante elevado para cálculos ingenieriles, generalmente se utiliza entre un 10- 20% de sobrediseño.

## 1. INSTALACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR A PLACAS

Después de realizados los cálculos correspondientes para determinar los parámetros operacionales del equipo de intercambio de calor, se realizó un trabajo de campo para seleccionar las placas de intercambio que se utilizarían, se escogieron aquellas que se encontraban en mejor estado técnico, fundamentalmente las juntas. Para ello se utilizarán las siguientes placas, manteniendo las nomenclaturas del equipo original.

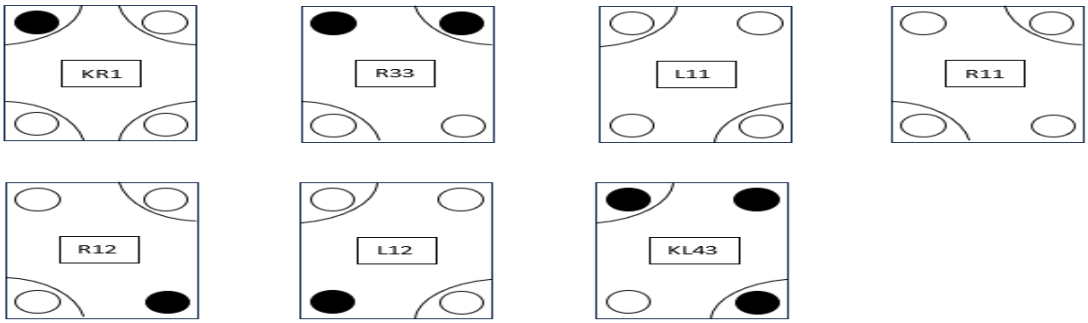



**Figura 2**. Estructura de las placas del intercambiador de calor.

A continuación, se realizó un esbozo técnico de como debían quedar distribuidos los fluidos que intercambian en dicho equipo, se utilizaron dos corrientes de agua para lograr enfriar el producto terminado hasta aproximadamente 30°C (fluido procedente de torre Teva, perteneciente a la UEB Energético), la primera sería utilizada en las primeras dos secciones de enfriamiento y la segunda solamente se utilizaría en la última sección de intercambio, como se muestra en la figura 3. Las líneas en color rojo corresponden a la corriente de aguardiente, mientras que las líneas en azul pertenecen al agua procedente de torre Teva.

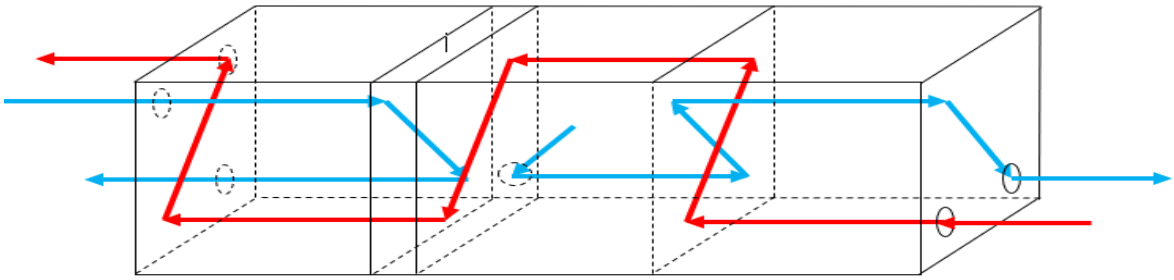


**Figura 3.** Distribución de las corrientes de agua y aguardiente en el intercambiador de calor.

En total se utilizaron 52 placas en el intercambiador de calor, de las mismas dos de ellas no intercambian energía debido a que son las que se encuentran en los cabezales (fijo y flotante), además se utilizaron un total de seis placas para operaciones de cambios de flujo y salida de alguna corriente por lugares especificados, dicha distribución se muestra a continuación.

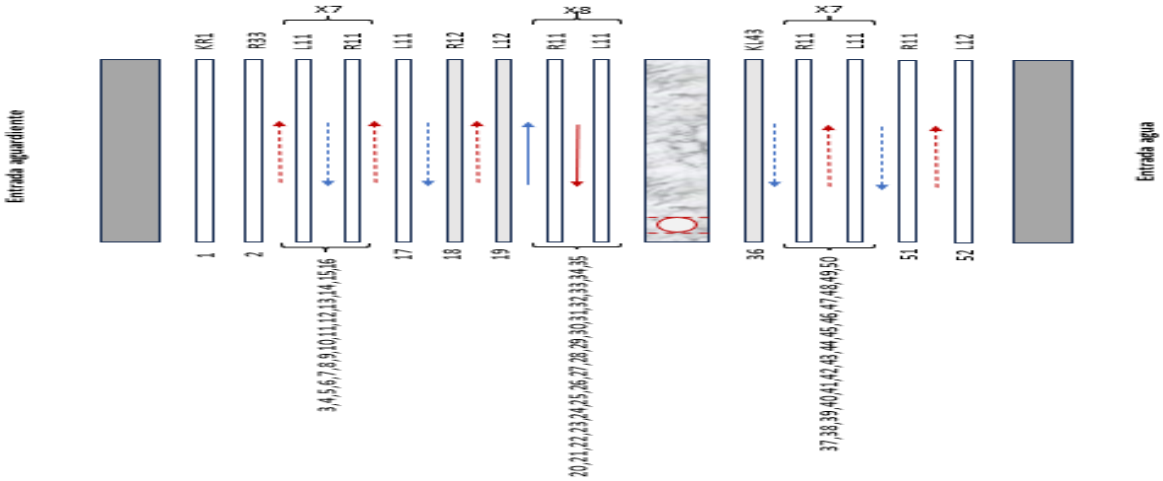



**Figura 4.** Distribución de las placas del intercambiador de calor.

Una vez calculado y rediseñado el arreglo de las placas se procede al mantenimiento y modificación de la estructura del intercambiador. Posteriormente se realiza el montaje de las placas previamente seleccionadas, a continuación, se cierra dicho equipo para realizarle la prueba hidráulica correspondiente a cada una de las corrientes, donde se le suministró agua a 1,5 veces la presión de trabajo del equipo durante aproximadamente 30 minutos, corroborándose la hermeticidad y que no existiese mezclas de las corrientes.

Concluida la fase de prueba hidráulica, fue trasladado el equipo hacia el lugar de trabajo (lado oeste del nivel +3:50 de destilación) donde fue instalado.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez instalado el ICP en el sistema de aguardiente se pudo comprobar los resultados alcanzados en la campaña de producción correspondiente, anteriormente la temperatura de salida del aguardiente había estado sobre los 35- 40ºC, debido a que el enfriador que existe por diseño había perdido área de transferencia por las múltiples incrustaciones presente en el mismo y a la dificultad que significa su limpieza por el lugar donde se encuentra ubicado.

Sin embargo, se logró obtener, con la instalación del nuevo equipo de intercambio, una temperatura de salida del producto terminado de 30 ºC, que fue lo estimado mediante los cálculos realizados.

También se eliminó el volumen de líquido que permanecía dentro del intercambiador de calor de tubo y coraza, que era alrededor de 2000 l de aguardiente, el cual en este momento es incorporado a la producción de la planta.

Otro de los resultados positivos del ICP fue que al disminuir la temperatura de salida del producto hasta los 30°C se logra evitar pérdidas de volumen y de componentes aromáticos por evaporación,

contribuyendo a mejorar los parámetros de calidad, como pueden ser el aumento de la acidez, ésteres, aldehídos, etc.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el estudio económico de la instalación del intercambiador se debe tener cuenta que dicho equipo fue adquirido de la fábrica de refresco Las Lomas, después de haber sido declarado depreciado técnicamente, por lo que había sido dado de baja, en el sistema de tubería, para la entrada y salida de ambos fluidos, fue utilizado las mismas que se encontraban en la planta, solo fueron fabricadas las tomas y los platillos necesarios para la instalación, así como los accesorios necesarios (válvulas, codos, uniones, etc.) para ejecutar el trabajo. Debido a esto no se tuvo en cuentas gastos directos de producción encaminados a la adquisición de nuevo equipamiento, a los gastos en la instalación del mismo, instrumentación, tuberías, preparación del terreno o área donde sería instalado el equipamiento, por lo que se puede decir que no existen costos totales de inversión ($A_{TC}$), en cuanto a los costos de instalación del equipamiento se puede decir que los únicos indicadores a tener en cuenta son los relacionados con el salario de los trabajadores (pailero, soldador y mecánico) durante tres jornadas de trabajo que fue lo que duró la instalación del equipamiento, también cabe destacar que este trabajo se realizó durante una parada del sistema por lo que no fue afectada la producción de la planta.

**Tabla 2.** Gastos asociados al salario de los trabajadores.

| **Personal** | **Tarifa horaria ($/h)** | **Tiempo de trabajo (h)** | **Gasto ($)** |
|---|---|---|---|
| Soldador | 16.6317 | 24 | 399,16 |
| Pailero | 17.4187 | 24 | 418,05 |
| Mecánico | 19.7796 | 24 | 474,70 |
| **Total ($)** | **1291.91** | | |
| **Total (EUR)** | **49.51** | | |

Como se puede observar el gasto asociado a salarios de los trabajadores según la tasa de cambio oficial vigente para empresas (1EUR = 26,0944 CUP) resulta despreciable en comparación con el costo de dicho equipo en el mercado internacional.
Para demostrar el beneficio económico de esta modificación tecnológica fue necesario determinar el ahorro que tendría la planta si se hubiese tenido que realizar una inversión para adquirir dicho equipo. Para ello se determinó el costo de un intercambiador con características similares al instalado, haciendo uso de las siguientes expresiones para ajustar el equipo con el costo en el presente:

$$Costo\ en\ el\ presente = Costo\ original * \left(\frac{Índice\ en\ el\ presente}{Índice\ original}\right) \quad \textbf{(15)}$$

Los índices de costo son los de Marshall y Swift para los distintos años donde se han realizado los proyectos. Estos índices se pueden observar a continuación para los últimos años.
**Tabla 3.** Índices de Marshall y Swift

| **Años** | **Industria de proceso** | **Años** | **Industria de proceso** | **Años** | **Industria de proceso** |
|---|---|---|---|---|---|
| **2000** | 1097,7 | **2008** | 1304,3 | **2016** | 1490,7 |
| **2001** | 1106,9 | **2009** | 1327,6 | **2017** | 1514 |
| **2002** | 1116,9 | **2010** | 1350,9 | **2018** | 1537,3 |
| **2003** | 1187,9 | **2011** | 1374,2 | **2019** | 1560,6 |
| **2004** | 1211,2 | **2012** | 1397,5 | **2020** | 1583,8 |
| **2005** | 1234,5 | **2013** | 1420,8 | **2021** | 1607,1 |
| **2006** | 1257,8 | **2014** | 1444,1 | **2022** | 1636,9 |
| **2007** | 1281 | **2015** | 1467,4 | **2023** | **1662** |

Otra forma de ajustar costos del equipamiento es mediante la capacidad o el tamaño de los mismos, esto permite determinar el precio del equipo para la capacidad deseada. Es posible determinar el costo actual que tendría dicho equipo utilizando los índices de escalado y aplicando la denominada regla del factor 0,6

o fórmula de los 6 décimos o de Williams, mostrada en la ecuación 18

$$Costo\ B = \left(\frac{Capacidad\ de\ B}{Capacidad\ de\ A}\right)^{n} \quad \text{.....(16)}$$

Donde n es un exponente que varía entre 0,3 y 1. El valor típico de 0,6 reportado en la literatura, debe utilizarse sólo cuando no se tenga otra información.
Para dicho costo estimado de ahorro se tomó como referencia el ICP instalado en el sistema de rectificación de alcohol en 2017, el cual presenta un área de transferencia de 2,8 $m^2$ y un costo de 57250.17 euros.
Tomando como base dicho equipo y realizando los ajustes correspondientes, por tiempo y capacidad, se estima que con la implementación de dicho equipo de intercambio se ha logrado ahorrar a la fábrica y al país un total de 109 834,09 euros.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el ICP comprobando que dicho equipo puede ser utilizado en el sistema de destilación de aguardiente.
- Se calculó y rediseño el intercambiador a placas que había sido desechado por la fábrica de refrescos las Lomas.
- Se comprobó con la puesta en marcha del equipo la disminución de la temperatura del producto final hasta los 30°C y con ello la mejora de la calidad del aguardiente fresco.
- Se demostró la factibilidad económica de la instalación del mismo, ahorrando a la fábrica 109 834,09 euros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga, M. d. L. C. (2016). Aplicaciones del Alcohol Etílico.
- Brizuela, M. A. (2016). Estudio de los parámetros del tratamiento térmico para la mortadella cocida Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE.
- Gandón J. Pérdidas de Calor y Aislamiento Térmico. 1997. ISPJAE
- Kern, D. Q. Procesos de Transferencia de Calor. ER., La habana Cuba 1979.
- Pérez Ones, Osney; Zumalacarregui, Lourdes; Gozá León, Osvaldo; Díaz Rodríguez, Jorge. Evaluación de mezclas físicas Etanol- Agua. Marzo 2010. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Antoquia. Pp 62-74.
- Rubio, N. P. (Junio, 2019). Propuesta de una planta de biogás con filtro anaerobio en el complejo industrial Santa Cruz. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Suárez Morales, José A. Intercambiadores de calor a placas. Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE. Material Docente Complementario.
- Vargas, M. A., & Toaquiza, J. D. (2021). Diseño de una Destiladora Industial de Alcohol. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.

**De los autores:**
**Norbier Pérez Rubio:** Ingeniero químico, graduado en 2019, especialista A en procesos tecnológicos para productos de la industria alimentaria, tecnólogo de planta**.** Labora en la Ronera Santa Cruz en los procesos productivos de alcohol y aguardiente y en las modificaciones tecnológicas

**Lic. Raciel Llerena Hernández:** Licenciado químico, graduado en el 2010, jefe de producción de destilería, ha sido jefe de turno y tecnólogo en la Ronera Santa Cruz en los procesos productivos de alcohol y aguardiente y en las modificaciones tecnológicas.

20 del 28 de noviembre al 2 de diciembre del 2022
CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
58 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ENFRIAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE JAMONADA EN LA UEB EMPACADORA CAMILO CIENFUEGOS

**Guido Riera González[1], Anabel Frías Chirino[1], Jose Gandón Hernández[1], Carlos Manuel Acea Fiallo**
[1]Universidad tecnológica de la Habana (CUJAE),
e-mail: guido@quimica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La Jamonada tipo fiambre es un embutido escaldado de pasta gruesa que surge con el objetivo de mejorar la línea de embutido en la UEB Camilo Cienfuegos. El proceso de elaboración de embutidos es un alto consumidor de energía por lo que la empresa está enfrascada en mejorar la efectividad, eficiencia energética y calidad de sus producciones, es por ello que la presente investigación se plantea como objetivo general evaluar técnico-económicamente el proceso de producción de la Jamonada tipo fiambre. Se realizó un análisis de los principales consumos del proceso en las etapas de cocción y enfriamiento en cuanto a vapor, combustible y agua, estimándose los índices reales en el mismo, resultando mayor el índice de consumo de agua determinado con respecto al establecido por la entidad. Se obtuvieron los modelos cinéticos de los procesos de cocción, enfriamiento por inmersión e enfriamiento en nevera, los cuales presentaron un buen ajuste. Se determinaron los parámetros físico-químicos, microbiológicos y sensoriales a partir de la realización de 3 réplicas por muestras y se compararon las medias muestrales por el método de ANOVA con límite de confianza de 95 %, empleando en los casos de diferencias estadísticas significativas la prueba de múltiples rangos, cumpliendo en cada caso con los valores reportados en normas o en estudios anteriores. Por último, se evaluaron económicamente las pérdidas energéticas donde se evidenció que la empresa gasta anualmente $55 728,00 en combustible.

**PALABRAS CLAVES: PALABRAS CLAVES:** Embutido, consumo energético, cocción, enfriamiento

## *TECHNIQUE-ECONOMIC EVALUATION OF THE PROCESS OF COOKING AND COOLING OF THE PRODUCTION DE JAMONADA IN THE UEB CAMILO CIENFUEGOS*

## ABSTRACT

The Fiambre-type Jamonada is a thick-paste blanched sausage that arose with the aim of improving the sausage line at the UEB Camilo Cienfuegos. The sausage production process is a high consumer of energy; thatcher is why the company is focused on improving the effectiveness, energy efficiency and quality of its production. This is why the general objective of this research is to technically and economically evaluate the process of production of the cold cuts jamonada. An analysis was carried out of the main consumption of the process in the cooking and cooling stages in terms of steam, fuel and water, estimating the real rates therein, resulting in a higher water consumption rate determined with respect to that established by the entity. The kinetic models of the cooking, immersion cooling and refrigerator cooling processes were obtained, which presented a good fit. The physical-chemical, microbiological and sensory parameters were determined by carrying out 3 replicates per sample and the sample means were compared by the ANOVA method with a 95 % confidence limit, using the test in cases of significant statistical differences of multiple ranges, complying in each case with the values reported in standards or in previous studies. Finally, the energy losses were economically evaluated where it was evident that the company spends $55 728,00 annually on fuel.

**KEY WORDS:** Sausage, energy consumption, cooking, cooling.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la existencia de la raza humana, los alimentos han sido producidos para satisfacer las necesidades biológicas de la humanidad. En el mundo actual, la cadena de producción y distribución de alimentos es cada vez más larga y en la mayoría de los casos el alimento llega hasta el consumidor luego de haber recorrido una serie de modificaciones y transformaciones.

Los embutidos, de origen antiquísimo, surgieron empíricamente como consecuencia de la necesidad de conservar los alimentos. Su evolución posterior, que ha dado origen a una gran variedad de productos de características bien diferenciadas, fue consecuencia de los distintos procesos de elaboración impuestos por la disponibilidad de materias primas y de las condiciones climáticas existentes. La industria cárnica, al igual que otros sectores de la alimentación, está experimentando importantes transformaciones como consecuencia de continuas innovaciones tecnológicas y cambios en las demandas de los consumidores (1).

Los productos cárnicos, entendidos como derivados de la manipulación de distintos tipos de carnes o vísceras comestibles, presentan riesgos de contaminación potenciales debidos tanto al propio animal del que proceden como de la manipulación a que son sometidos. La aplicación de tratamientos térmicos, además de estabilizar el producto, minimiza los riesgos (2).

El tratamiento térmico constituye una fase esencial del proceso de elaboración de los productos cárnicos. Este tratamiento, por una parte, garantiza las transformaciones químicas y bioquímicas necesarias para lograr una mejor asimilación de los nutrientes presentes, mientras que por otro lado garantiza una reducción notable de los conteos de los microorganismos causantes del deterioro y la eliminación de los patógenos, con lo cual se alarga considerablemente la durabilidad. No se deben realizar procesos térmicos excesivos que impliquen la sobre cocción del producto y dañen las características sensoriales del mismo.

Se conoce que un tratamiento térmico excesivo afecta la calidad nutricional y, a menudo, el rendimiento industrial del producto (por elevar las mermas de cocción); por lo que debe evitarse el maltrato térmico. No se trata de correr riesgos con la seguridad higiénica, sino de no abusar de los productos ni desperdiciar energía provocando mermas innecesarias (3).

La eficiencia energética y el aprovechamiento del tiempo en las jornadas productivas es un tema fundamental para lograr el desarrollo industrial actualmente. La Empresa Cárnica Habana busca estrategias que estén a tono con lo planteado anteriormente y que conduzcan al mejoramiento de los indicadores energéticos, cada kJ ahorrado se traduce en la disminución del consumo de petróleo, fuente de energía no renovable y cada mejora tecnológica hace a los procesos más eficientes y eleva la calidad de las producciones obtenidas (4).

Entre los productos elaborados por la UEB Camilo Cienfuegos se encuentran los embutidos, dentro de la gama están: Butifarra, Frankfurt, Jamonadas y Mortadella Novel; elaboran además masas no cocinadas, entre las que se encuentran: picadillos y masa de hamburguesa. La unidad cuenta con una marcada trascendencia en el trabajo por buscar soluciones que estén encaminadas a lograr la efectividad y eficiencia energética.

El sistema de cocción y enfriamiento son puntos determinantes en el proceso productivo teniendo una elevada incidencia en los consumos del mismo. Por lo tanto, determinar el estado actual de la planta, conlleva a realizar propuestas de mejoras tecnológicas, principalmente en estos puntos, con el fin de alcanzar la mayor eficiencia posible, llevando al objetivo del presente trabajo sea evaluar técnico-económicamente el proceso de cocción y enfriamiento de la Jamonada en la UEB Camilo Cienfuegos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en la UEB Empacadora Camilo Cienfuegos, ubicada en avenida Independencia km 41/2, reparto Capdevila, municipio Boyeros perteneciente a la Empresa Cárnica Habana, que se subordina al Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria. Evaluándose los principales consumos de vapor, combustible y agua del proceso de producción de jamonada en las etapas de cocción y enfriamiento. Las materias primas empleadas en el proceso de elaboración de Jamonada tipo fiambre según la formulación establecida se relacionan en la tabla 1, donde las materias primas cárnicas son la carne de res, la carne de cerdo (deshuesadas ambas), la masa deshuesada mecánicamente (MDM) y el recorte de cerdo. Las no cárnicas son las sales (común y de cura), preparado de jamonada, harina de trigo, almidón y ajo en polvo.

**Tabla 1.** Materias primas para la elaboración de Jamonada tipo fiambre

| **Materias Primas** | **Dosis** | **Materias Primas** | **Dosis** |
|---|---|---|---|
| Carne de cerdo deshuesada (kg) | 876,29 | Almidón (kg) | 103,09 |
| Carne de Res deshuesada (kg) | 1030,93 | Humo líquido (kg) | 5,15 |
| MDM (kg) | 1030,93 | Ajo en polvo (kg) | 15,465 |
| Recorte de cerdo | 154,64 | Agua (kg) | 1306,7 |
| Sal común (kg) | 87,63 | Tripas Transparentes (m) | 680,41 |
| Sal de cura (kg) | 7,73 | Pegatinas (u) | 1042,5 |
| Preparado de jamona (kg) | 97,94 | Cordel (kg) | 1288,655 |
| Harina de trigo (kg) | 438,14 | | |

Para llevar a cabo la investigación fue necesario medir diferentes parámetros físicos como temperaturas, longitudes y pesos, a continuación, se encuentra la instrumentación empleada.

- Para medir las temperaturas superficiales de los tachos y jaulas se empleó un termómetro infrarrojo marca BENETECH, con una precisión de ± 1,5 °C.
- En la medición de las temperaturas de la masa y el producto se utilizó un termómetro pincha carne marca EXPERT GRILL, con una precisión de ± 0,05 °C.
- En las pesadas por corridas se usó una balanza digital marca Eurobil con una precisión de 0,5 kg.
- La temperatura ambiente fue medida con un termómetro de mercurio perteneciente a la unidad básica.

A continuación, se describe el procedimiento seguido para las mediciones de las temperaturas usadas en la cuantificación del calor total evolucionado en el proceso de elaboración de la Jamonada tipo fiambre. Para todos cálculos realizados en esta investigación se tomó como temperatura ambiente 30 °C.

En los tachos se realizaron mediciones en diferentes puntos de las cuatro caras, por tres días y en dos intervalos, antes y durante la cocción, determinándose para los cálculos una temperatura promedio del equipo. A los valores promedios hallados se les determinó su correspondiente desviación estándar, las diferencias de temperaturas ($\Delta T$), fueron halladas con los valores promedios. Esta operación fue aplicada también para los aditamentos empleados en la cocción (jaulas). En el caso del producto se midió la temperatura de la masa ya embutida en las tripas artificiales antes y después de la operación de escaldado. Al agua se le midió su temperatura al llegar a los equipos de cocción y al finalizar este proceso. Se tomó un período de tres días para las mediciones realizadas.

**Índices de consumo**

Los índices de consumo expresan la cantidad de energía, combustible o costos por unidad de producto final. Constituyen indicadores importantes de la eficiencia energética y permiten caracterizar la distribución de los consumos en un proceso. En el presente trabajo se calculan los índices de consumo de combustible y de energía eléctrica.

Los mismos pueden ser determinados a partir de criterios de índole práctica, sobre la base de resultados históricos o a partir de los criterios teóricos que describen los procesos (índices de consumo técnicamente fundamentados). Estos últimos tienen gran importancia para la industria, pues permiten conocer el impacto provocado por cualquier modificación sobre los indicadores técnicos y económicos. (5, 6).

Para determinar los índices de consumo de vapor, combustible y agua primeramente hay que conocer los consumos energéticos en las etapas del proceso bajo estudio. Para calcular el calor total en el proceso se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_{proceso} + Q_{equipo} + Q_{perdido} \quad (1)$$

Donde:

$Q_{proceso}$: Calor proceso (kJ). Incluye producto, aire, agua, según el caso $Q_{total}$: Calor total (kJ)

$Q_{equipo}$: Calor equipo (kJ)

$Q_{perdido}$: Calor perdido (kJ)

Las ecuaciones para cada caso se relacionan a continuación:

Para el producto, el aire, el agua y equipo se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = m * Cp * (T_f - T_i) \quad (2)$$

Donde:

Q: Calor consumido (kJ)

Ti: Temperatura inicial (K, ºC)

Tf: Temperatura final (K, ºC)

m: Masa (kg)

$Cp_p$: Capacidad térmica específica (kJ/kg ºC)

Para el cálculo de la capacidad térmica específica del producto se empleó la ecuación presentada por Heldman y Singh, 1981 (S.R.P., 1981), incluye los componentes principales de los alimentos (grasa (Xf), proteínas (Xp), carbohidratos (Xc), humedad (Xw) y cenizas (Xa)).

$$Cpmezcla = 1{,}424 * Xc + 1{,}549 * Xp + 1{,}675 * Xf + 0{,}837 * Xa + 4{,}187 Xw \quad (3)$$

$Cp$: Capacidad térmica específica de la mezcla para el producto (kg/kJ °C)

**Pérdidas de calor por convección-radiación**

Las pérdidas de calor por convección-radiación para la etapa de cocción se calculan en los tachos y en las tuberías de vapor teniendo en cuenta que los tiempos necesarios en cada uno son de 6,6 h y 8,3 h respectivamente. En ambos casos se empleó la ecuación (6):

$$Q_{c-r} = h_a * A * (T_w - T_\infty) \quad (4)$$

Donde:

$Q_{c-r}$: Calor perdido por convección-radiación en los tachos durante la cocción (kJ)

$h_a$: Coeficiente combinado de transferencia de calor, (W/(m$^2$ K)

A: Área de transferencia de calor (m$^2$)

$T_w$: Temperatura externa de la pared del tacho (°C),

$T_\infty$: Temperatura del medio ambiente (°C).

**Pérdidas por evaporación desde la superficie del líquido**

La metodología seguida para la cuantificación de las pérdidas por evaporación superficial fue tomada de la bibliografía (5).

$$Qp_{Eva} = W * (h_v - h_l)_{80°C} \quad (5)$$

$Qp_{Eva}$: Calor perdido por evaporación superficial en tachos (kJ)

$W$: Masa de agua evaporada en tachos (kg)

$(h_v - h_l)_{80°C}$: Diferencia de entalpía del vapor saturado y el líquido (kJ/kg)

$$W = K * A * (pl - Hr * pl') * \tau \quad (6)$$

$W$: Masa de agua evaporada.
$A$: Superficie de evaporación ($m^2$)
$\tau$: Tiempo de evaporación (h)
$pl$: Presión de vapor a $P_{roceso}$ (mm Hg)
$pl`$: Presión de vapor a Taire (mm Hg)
Hr: Humedad relativa del aire
$K$ : Coeficiente que depende de la velocidad del aire y las propiedades físicas del líquido ($kg/m^2.h.mm\ Hg$)

El área de la superficie de evaporación de los equipos de cocción se tomó de estudios anteriores en la empresa. (6) El valor de K es función de la velocidad del aire y se tomó igual a 0,036 $kg/m^2.h.mm\ Hg$ (5).

La cantidad de combustible consumido por conceptos de calor consumido se determina mediante de la ecuación (5)

$$M_{combustible} = \frac{Q_{consumido}}{VCI*\eta} \quad (7)$$

Donde:
$M_{combustible}$: Masa del combustible consumido (kg) (El combustible es Fuel Oil 6)
$Q_{consumido}$: Calor total consumido en el proceso (kJ)
VCI: Valor calórico inferior del combustible (39 900 kJ/kg)
η: Rendimiento del generador de vapor (85 %)

La determinación del consumo de vapor requerido en la producción de tres toneladas de jamonada se realizó a partir de la ecuación 12.

$$m_v = \frac{Q_{TOTAL}}{\Delta H_{cf\,(pv)}} \quad (8)$$

Donde:
$m_v$: Masa de vapor
$Q_{TOTAL}$: Calor total del proceso (kJ)
λ: Calor latente de cambio de fase (kJ/kg)

El consumo de agua por el consumo de esta en el proceso que comprende el agua utilizada en el llenado de los equipos de cocción y enfriamiento (4 tachos y una piscina), para ambos casos se considera una sola vez el llenado cumpliendo con la situación real de la unidad básica.

$$C_{agua} = C_{po} \quad (9)$$

Donde:
$C_{agua}$: Consumo de agua total (kg)
$C_{po}$: Consumo del proceso (kg).

El índice de consumo en combustible se calcula según la ecuación (10):

$$IC = \frac{M_{consumido}}{M_{producto}} \quad (10)$$

Donde:
IC: Índice de consumo en (kg/kg)
$M_{combustible}$: Masa de combustible (kg)
$M_{producto}$: Masa del producto (kg)

El índice de consumo de agua se calcula según la ecuación (11):

$$ICA = \frac{V_a}{M_p} \quad (11)$$

Donde:
$V_a$: Volumen de agua ($m^3$)
$M_p$: Masa de producto (kg)

El índice de consumo de vapor se calcula según la ecuación (12):

$$ICV = \frac{M_v}{M_p} \quad (12)$$

Donde:
$M_v$: Masa de vapor (kg)
$M_p$: Masa de producto (kg)

El estudio económico se realizó en el proceso de cocción debido a la cantidad de calor perdido y por consiguiente su componente en petróleo. Para determinar la cantidad de crudo que se podría ahorrar en la etapa de cocción, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ petróleo\ consumido = \frac{Qperdido}{nt * VCIc} \quad (13)$$

$\eta_t$: Eficiencia térmica del generador
$VCI_c$: Valor calórico inferior del combustible, (kJ/kg)

La eficiencia del generador de vapor y el VCI son obtenidos de estudios realizados anteriormente en la UEB. (44)

Finalmente, para hallar el costo de dicho combustible se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$Costo\ petróleo = Cantidad\ petróleo\ consumido * Precio\ crudo\ nacional \quad (14)$$

El precio del crudo nacional fue tomado de las fichas de costo de la empresa. El cálculo de los costos y las ganancias se desarrolló en moneda nacional según los precios establecidos en la empresa.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poder cuantificar los calores consumidos y perdidos en esta etapa se realizaron mediciones de las temperaturas iniciales y finales de los equipos, el producto y el agua, valores promedios con su correspondiente desviación estándar se muestran en la tabla 1.

**Tabla 4.** Resultados del análisis estadístico de las temperaturas

| | **Jaulas** | | **Tachos** | | **Producto** | | **Agua** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Ti (ºC)** | **Tf (ºC)** | **Ti (ºC)** | **Tf (ºC)** | **Ti (ºC)** | **Tf (ºC)** | **Ti (ºC)** | **Tf (ºC)** |
| Recuento | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Promedio | 27,24 | 71,30 | 28,83 | 42,50 | 4,49 | 80,07 | 25,21 | 82,09 |
| Desviación estándar | 0,64 | 1,41 | 0,41 | 1,39 | 0,40 | 0,77 | 0,64 | 1,48 |

En la tabla 1 puede observar que las temperaturas en la superficie de los tachos y jaulas durante la cocción son elevadas, esto puede explicarse por la falta de aislamiento térmico, por lo que es de esperarse altas pérdidas al medio ambiente en estos equipos. En el caso particular del producto, se puede apreciar que la temperatura de entrada es la establecida por la empresa e igual a 4 °C. Los bajos valores de la temperatura del producto son necesarios para que no ocurra la desnaturalización de las proteínas contenidas en las carnes comprendidas en la formulación durante las operaciones tecnológicas del proceso productivo. En todos los casos la desviación estándar es a 1,5 lo que demuestra la poca variabilidad en los datos. A su vez facilita los cálculos de esta investigación pues existe homogeneidad en los valores de las 10 muestras y también refleja la precisión con que se tomaron.

En la tabla 5 se presenta la composición de la jamonada tipo fiambre que se utilizó para determina la capacidad térmica específica. En la tabla 6 se muestran los valores medios de las masas de las jaulas y equipos necesarias para los cálculos de los calores evolucionados en el proceso, los valores de las capacidades calóricas y coeficientes individuales de transferencia de calor empleados en los cálculos para la estimación del calor total evolucionado en el proceso.

**Tabla 5.** Composición para la estimación de la propiedad.

| Jamonada tipo fiambre | Grasa ($\boldsymbol{Xf}$) | Carbohidratos ($\boldsymbol{Xc}$) | Proteínas ($\boldsymbol{Xp}$) | Humedad ($\boldsymbol{Xw}$) | Cenizas ($\boldsymbol{Xa}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Composición (%)** | 6,39 | 7,65 | 11,95 | 67,54 | 3,8 |

**Tabla 6.** Masas de equipos y aditamentos, valores de Cp y ha estimado

| | Tacho | Jaula | Piscina enfriamiento | Agua | Producto |
|---|---|---|---|---|---|
| Masa (kg) | 4000,00 | 115,00 | | | |
| Área ($m^2$) | 4,46 | | 8,9 | | |
| Área superficial de evaporación ($m^2$) | 1,04 | | 2,08 | | |
| Volumen ($m^3$) | 1,10 | | 2,30 | | |
| Cp. (kJ/kg ºC) | 0,05024 | 0,05024 | | 4,18 | 3,26 |
| ha ($W/m^2$ °C) | 10,54 | | | | |

Para la realización de los balances se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos para la etapa de escaldado.

- Se realiza para un ciclo de cocción de cuatro horas, con cuatro tachos cada uno de dos jaulas.
- Los equipos de cocción solo se llenan de agua para escaldar los embutidos una vez al día.
- Se consideran despreciables las pérdidas de agua por derrame teniendo en cuenta que, el operario realiza un previo escurrimiento de cada jaula sobre el mismo equipo de cocción.

En la tabla 7 se presentan los calores evolucionados en el proceso de cocción y en la figura 1 el por ciento que representa cada uno de ellos.

**Tabla 7.** Distribución de los calores totales en la etapa de cocción para 3 t de producto usando los 4 tachos

| Calores | Valores obtenidos (kJ) | Calores | Valores obtenidos (kJ) |
|---|---|---|---|
| Qprod. | 743457,79 | Qequipo (Tachos) | 112537,60 |
| Qagua | 1045198,97 | Qpcr. | 2256,40 |
| Qc.Aditamentos (Jaulas) | 20337,15 | QpEva. | 1003518,40 |

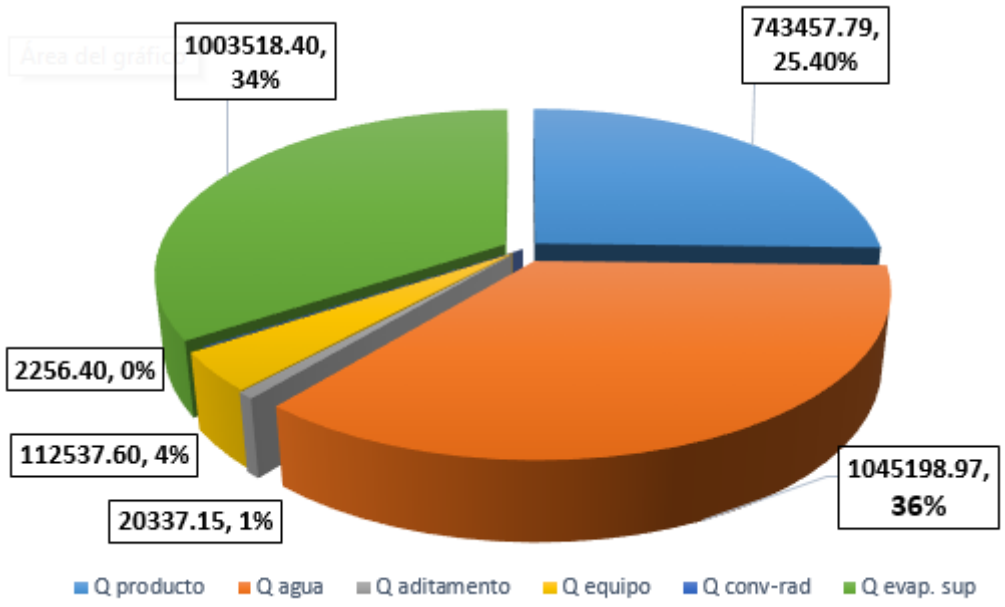



**Figura 1.** Distribución de calor evolucionado en el proceso de cocción

Los valores reflejados en la tabla 7 representan los calores de tachos, obteniéndose un calor total de 2 927 306,32 KJ para todo el proceso de cocción de la Jamonada tipo fiambre, donde el calor necesario para producir es 1921531,51 KJ. Observándose que los mayores consumos de calor le corresponden en orden

descendente al calentamiento del agua de cocción (Qagua), calor perdido por evaporación (QpEva) y calentamiento del producto (Qprod). No se puede dejar de destacar que las pérdidas totales del proceso considerando las pérdidas por convección radiación (Qpcr) y el calor perdido por evaporación (QpEva) ascienden a 34%, siendo un valor alto, por lo que debe ser prioridad de la UEB realizar mejoras tecnológicas en esta etapa del proceso con vistas a aumentar la eficiencia energética para todos sus procesos productivos restantes.

A partir de estos resultados se determinaron los índices de consumos los cuales se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Índices de consumo calculados

| | **Índices calculados** | **Índices de la UEB** |
|---|---|---|
| **Combustible t comb/t producto** | 0,0588 | 0,0463 |
| **Agua $m^3$/t producto** | 2,2266 | 4,9865 |
| **Vapor t vapor/t producto** | 0,4765 | -------- |

Las diferencias mostradas en la tabla 8 en cuanto al combustible pueden deberse a la eficiencia d ellos equipos los cuales ya tienen más de 20 años de explotación y han transcurrido 12 años entre ambos estudios. En el caso del agua, se obtiene una diferencia notable entre el índice calculado y el establecido en la UEB, pues en la empresa tienen en cuenta el consumo de agua por formulación, el consumo de la caldera y otros consumos secundarios, mientras que en esta evaluación solo se analizó el consumo de agua de cuatro tachos en la etapa de cocción y de la piscina de enfriamiento, por lo que el índice calculado puede tomarse como el correspondiente para esas operaciones en las condiciones actuales. En la planta se pueden constatar algunas irregularidades que si se actuara sobre ellas se pudiera mejorar este índice, las de mayor incidencia son la falta de recirculación de agua en las etapas del proceso y que no existe recuperación de condensados para emplearlos en la calderera o en el fregado de las cajas. El indicador del vapor en la UEB no se determina en la empresa, por tanto, el calculado se propone para este proceso productivo.

**Análisis económico**

Para la evaluación económica se tiene en cuenta el costo de combustible asociado a las pérdidas de calor en el proceso de cocción para un lote de 3 toneladas de Jamonada tipo fiambre:

**Tabla 9.** Costo de combustible asociado a las pérdidas de calor en el proceso de cocción

| **Q perdido (kJ)** | **Cantidad de petróleo consumido (L)** | **Precio del crudo nacional ($/L)** | **Costo total de petróleo ($)** |
|---|---|---|---|
| 1005774,80 | 21,43 | 10,84 | 232,20 |

Como se muestra en la tabla anterior, debido a las pérdidas de calor en los tachos por ciclo de cocción (4 horas) se gasta $232,20. Actualmente en la UEB Camilo Cienfuegos se están produciendo 15 toneladas de Jamonada a la semana, lo que equivale a 5 ciclos de cocción semanales, para un total de 240 ciclos de cocción al año, por lo que anualmente la empresa gasta $ 55728,00. Esta cifra será ahorrada si se implementan las mejoras tecnológicas en el proceso.

## 3. CONCLUSIONES

Se determinó que los mayores consumos de calor le corresponden en orden descendente al calentamiento del agua de cocción (Qagua), calor perdido por evaporación (QpEva) y calentamiento del producto (Qprod). Se obtuvieron los índices de consumo reales de combustible (0,0288 t combustible/t producto), agua (2,2266 m3/t producto) y vapor (0,4765 t vapor/t producto) para las etapas de cocción y enfriamiento del proceso de producción de la Jamonada tipo fiambre en la UEB Camilo Cienfuegos. Del

estudio económico realizado se pudo obtener que debido a las pérdidas de calor en los tachos de cocción la empresa anualmente gasta $ 55728,00 en combustible.

**REFERENCIAS**

1. Santaolla, J. C., et al. (2013). Principios básicos de elaboración de embutidos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria.
2. ONSAN (2012). "Observatorio nacional de seguridad alimentaria y nutricional."
3. Santos, R., de la Mella, R. M., & Ramos, M. (2019). "Tratamiento térmico de productos cárnicos en moldes/Thermal treatment of meat products in molds." Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
4. González Roque, D. (2019). Evaluación técnico-económica de la UEB Empacadora Camilo Cienfuegos. Facultad de Ingeniería Química La Habana, "Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría", CUJAE.
5. Gandón Hernández, J. (2020). "Utilización de la energía en la industria alimentaria 2020." 179
6. Gómez Sosa, P. (2021). Evaluación técnico-económica del proceso de producción de Jamonada tipo fiambre en la UEB INDAL. . Facultad de Ingeniería Química. La Habana, Cuba. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE.

**SOBRE LOS AUTORES**

**Guido Riera González** es ingeniero químico de la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); es profesor de ingeniería química con 34 años de experiencia y Doctor de ciencias desde el año 1996. Se desempeña como jefe del grupo de investigación de ingeniería alimentaria.

**Anabel Frías Chirino.** Graduada de Ingeniería Química en 1997, del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (Cujae). Doctora en Ciencias Técnicas en 2011. Profesora Auxiliar (2004).

**José Gandón Hernández.** Graduado de Ingeniería Química en 1970 en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (Cujae), Cuba. MSc. Especialista en Diseño de Procesos (1978). Profesor Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Química. Sus investigaciones incluyen líneas de uso y consumo de energía, producción de biocombustible.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y SENSORIAL EN EL LABEB DE AGUARDIENTES OBTENIDOS A PARTIR DE MELADURA

# PHYSICAL-CHEMICAL AND SENSORY CHARACTERIZATION IN THE LABEB OF SPIRITS OBTAINED FROM MELADEURA

**Autores: Dacelis Borroto Mato, Lissette Orta, Silvia Mato, Nancy Herrera**

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026, La Habana, Cuba.

e-mail: dacelis.borroto@icidca.azcuba.cu

**RESUMEN**

Con el propósito de determinar factores que inciden en la eficiencia y calidad de un nuevo surtido conformado para aguardiente comercial en las destilerías de AZCUBA, en el laboratorio LABEB se procedió a realizar sucesivos análisis de caracterización físico-química de esta producción. Se compararon los resultados obtenidos en la caracterización físico-química y sensorial de aguardientes provenientes de dos destilerías de la región central y oriental del país, para lograr parámetros aceptados según requisitos de la norma por la que están regidos. Se realizaron las determinaciones de grado alcohólico, según NC 790:2010 Bebidas alcohólicas — Determinación del grado alcohólico — Densimetría digital (%v/v a 20 °C); componentes mayoritarios según NC 508:2011 Bebidas alcohólicas — Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía de gases (expresado en g/100 L de alcohol absoluto (AA)) y evaluación sensorial con el procedimiento desarrollado en el IIA (Instituto de Investigaciones Alimentos). Según los resultados obtenidos podemos decir que hay una mejoría en el nuevo surtido conformado para aguardiente comercial proveniente de la región oriental, pero se debe seguir controlando la concentración de alcohol iso-butílico dado que aunque estos aguardientes cumplen con la norma, sensorialmente todavía deben mejorar mucho más ya que se detecta aspereza al tragar, picor moderado y marcada nota melosa y fusel fuera de diseño en cuanto al sabor y olor. Lo que nos indica que las concentraciones de estos alcoholes superiores evidentemente juega un papel transcendental en el buquet final de este producto.

**PALABRAS CLAVES:** Servicios analíticos, buenas prácticas de producción, aguardiente y meladura.

**ABSTRACT**

With the purpose of determining factors that affect the efficiency and quality of a new assortment formed for commercial spirits in the AZCUBA distilleries, successive physical-chemical characterization analyzes of this production were carried out in the LABEB laboratory. The results obtained in the physical-chemical and sensory characterization of spirits from two distilleries in the central and eastern region of the country were compared, to achieve accepted parameters according to the requirements of the standard by which they are governed. Determinations of alcoholic strength were carried out, according to NC 790:2010 Alcoholic beverages — Determination of alcoholic strength — Digital densimetry (%v/v at 20 °C); major components according to NC 508:2011 Alcoholic beverages — Determination of major volatile components in distilled alcoholic beverages, spirits and ethyl alcohol by gas chromatography (expressed in g/100 L of absolute alcohol (AA)) and sensory evaluation with the procedure developed in the IIA (Food Research Institute). According to the results obtained, we can say that there is an improvement in the new assortment created for commercial spirits from the eastern region, but the concentration of iso-butyl alcohol must continue to be controlled given that although these spirits They meet the standard, sensorially they still need to improve much more since roughness when swallowing, moderate itching and a marked honeyed note and out-of-design fusel in terms of flavor and smell are

detected. Which tells us that the concentrations of these higher alcohols evidently play a transcendental role in the final composition of this product.

**KEY WORDS:** Analytical services, good production practices, spirits and molasses.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aguardiente de caña se define como el producto obtenido mediante la fermentación alcohólica y destilación de jugos y otros derivados de la caña de azúcar. Los aguardientes, son aquellas bebidas alcohólicas obtenidas por destilación de mostos o pastas fermentadas, que tienen como característica principal su alta graduación[1].

Durante la fermentación alcohólica del jugo de caña de azúcar y su posterior destilación, además de etanol se obtienen impurezas volátiles llamadas congéneres. Estas son sustancias químicas residuales que le otorgan a la bebida el sabor y olor característico de la materia prima. Sin embargo, si esta bebida fuese destinada al consumo humano la presencia de congéneres en concentraciones elevadas pueden provocar daños al sistema nervioso, inmune y endócrino[2-3].

Los congéneres resultan de una mala destilación del aguardiente de la caña, generalmente estas impurezas volátiles se encuentran en la cabeza y cola del destilado que, al no ser correctamente separadas del cuerpo de la destilación, que contiene en su totalidad etanol, resulta contaminado[4].

En el laboratorio LABEB se procedió a realizar sucesivos análisis de caracterización físico-química de un nuevo surtido conformado para aguardiente comercial, con el propósito de determinar factores que inciden en la eficiencia y calidad de esta producción en las destilerías de AZCUBA.

Teniendo en cuenta el estado financiero de las fábricas productoras, se decide realizar la elaboración de este producto a partir de caña quedada, obteniendo una meladura que no es la que tradicionalmente se utiliza para la producción del aguardiente, en aras de obtener un producto apto para el consumo, se combinaron los resultados obtenidos en el laboratorio con las buenas prácticas productivas y se logró el objetivo propuesto ofreciendo una salida exitosa para productores y consumidores.

El presente trabajo tiene como objetivo comparar los resultados obtenidos en la caracterización físico-química y sensorial de aguardientes provenientes de dos destilerías de la región central y oriental del país, para lograr parámetros aceptados según requisitos de la norma por la que están regidos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Aguardiente

El aguardiente crudo es un producto de la destilería que se utiliza en la formulación de los rones y aguardiente comercial. La calidad del aguardiente está determinada principalmente por contenido de etanol, congéneres y sus propiedades organolépticas, los que en conjunto le proporcionan un bouquet característico. Los principales congéneres presentes en el aguardiente y que influyen directamente en la calidad de este son los alcoholes superiores (amílico e isoamílico fundamentalmente), aldehído (acetaldehído), esteres (acetato de etilo) y ácidos (acético). Todos estos componentes deben mantenerse dentro de las normas establecidas.

El acetaldehído es el componente más volátil y constituye la mayor fracción de los productos de cabeza, su proporción en el destilado es pequeña e influye desfavorablemente en el producto debido a su olor penetrante y desagradable, es causante del “tufo” en el aguardiente.
El acetato de etilo forma parte del producto debido a la cercanía de su punto de ebullición con el del alcohol. Este componente tiene un olor agradable y por tanto tiene gran importancia en el aroma del aguardiente. El etanol y el agua son los componentes mayoritarios en el destilado y las proporciones de los mismos determinan el grado alcohólico del aguardiente.

El ácido acético se une al alcohol en el destilado, aunque una parte puede ser eliminada en las extracciones. Es necesario mantenerlo dentro de las normas en el aguardiente crudo porque la acidez es la que mayor variación experimenta en el proceso de añejamiento del aguardiente[5].

**Clasificación**

El Aguardiente de caña, diluido a un grado alcohólico que permite su consumo y posteriormente embotellado se clasificará según los tipos siguientes:
- Aguardientes de caña naturales

- Aguardientes de caña aromatizados

- Aguardientes añejos de caña

El aguardiente de caña objeto de la NC- 289: 2003 [6]que se emplee en la fabricación de ron estará formado por mezclas parciales de condensados nunca menores de 74 % de alcohol en volumen y no mayores de 76 % de alcohol en volumen y sólo se obtendrá de la destilación continua y directa del mosto fermentado. Para los aguardientes de caña diluidos a un grado alcohólico que permita su consumo se autorizan las siguientes prácticas:

- La edulcoración con sirope de azúcar de caña en cantidades que no modifiquen las características de olor y sabor del producto.

- En el caso de los aguardientes añejos de caña la adición de color caramelo en cantidades suficientes que no modifiquen las características principales de olor y sabor del producto a los efectos de garantizar color uniforme.

- En los aguardientes de caña aromatizados la adición de esencias, macerados y extractos de origen natural o similar a los naturales que puedan modificar las características organolépticas del producto siempre que estén autorizados para su uso por el Registro Sanitario de Alimentos.

- En los aguardientes de caña aromatizados se autoriza la adición de alcohol A para bebidas en cantidades que no modifiquen sensorialmente las características principales del producto[5]**.**

**Factores que afectan el aguardiente**

Existen factores que afectan la calidad e inocuidad de las bebidas alcohólicas[7], sin embargo las que más sobresalen son las siguientes:

**- Materias primas:** en el proceso de recepción de la materia prima se puede provocar una alteración de la inocuidad del aguardiente, esto como consecuencia de las impurezas, bacterias no deseadas incluso productos químicos utilizados como son los insecticidas, que puedan ser enmascaradas por el sabor y olor del aguardiente.

**- Proceso fermentativo:** este es un factor de alta incidencia en la falta de inocuidad del aguardiente de caña, en este se encierra la técnica de fermentación y a su vez puntos críticos como es la proporción de azúcares en el medio fermentativo que pueda dar paso a la producción de sustancias no deseadas, tiempo de fermentación, aireación, entre otros.

**- Destilación:** este es un factor de fabricación que afecta en mayor porcentaje el proceso fermentativo, debido a que depende de los procedimientos anteriores como es la centrifugación, decantación, calentamiento y la acidez que puedan alterar la composición química y a su vez el sabor y olor de los espíritus destilados. Por otra parte, este proceso es influenciado por los rangos de temperatura-tiempo que se consideren para obtener aguardiente de caña, con la finalidad de no destilar sustancias dañinas para el cuerpo humano.

**- Equipos:** el proceso de producción de bebidas alcohólicas en general, depende de la precisión de sus equipos y la tecnología que estos posean, en la actualidad las facilidades que los equipos prestan permiten ser más meticulosos en el control de calidad de estas bebidas.

- **Factor humano:** este último parámetro es determinante en la calidad e inocuidad de un producto comercial, en general, y las bebidas alcohólicas no son la excepción, cuando hablamos de factor humano, nos estamos refiriendo a todo el personal de la fábrica quienes deben tener claras las pautas, normas y obligaciones, que en muchas ocasiones tienen influencia en la forma de llevar a cabo las actividades, como se controlan las operaciones de producción y cómo los menos entendidos en la rama de bebidas alcohólicas interpreten y lleven a cabo las instrucciones. En el caso que el personal no esté bien entrenado y no sea hábil como para señalar las fallas y poder remediarlas, se puede ver afectada la calidad e inocuidad del producto terminado[7].

**Método de Análisis Químico**

El método más usado para la determinación de la concentración de congéneres en aguardientes es el método cromatográfico resulta muy importante en la actualidad ya que se puede utilizar debido a su veracidad, confiabilidad y reproducibilidad. Los métodos cromatográficos son muy amplios y versátiles para el analista químico y también de fácil manipulación[5].

**La Cromatografía de Gases**

La cromatografía de gases es de las técnicas cromatográficas más utilizadas y se caracteriza porque la muestra es volatilizada e inyectada en la cabeza de una columna cromatográfica. Los componentes de la muestra se distribuyen entre la fase móvil y la fase estacionaria y eluyen a diferente velocidad en función de su diferente afinidad por la fase estacionaria. En el análisis se utiliza detector de ionización de llama (CG-FID) o acoplada a un espectrómetro de masas (CG-EM)[5].

**Sistema cromatográfico**

Se emplea para la determinación de congéneres en muestras de aguardientes un cromatógrafo de gases con columna capilar CP–WAX 10 (60 m. x 0.25mm d.i. 0.25 µm espesor de película) con detector de llama (FID) y equipado con inyector automático. Gas portador: Hidrógeno 128 kPa; temperatura de columna: 40° C por 10 min., 40° C a 70° C a 5° C / min; temperatura del Inyector: 150° C; temperatura del Detector: 250° C; volumen de inyección: 1µl Split 1:25. Como patrones se utilizan acetaldehído, acetal , acetato de etilo, metanol, 1-propanol, 1-butanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol y como estándar interno 1-pentanol, reactivos de la firma Sigma-Aldrich, con una pureza superior a 99 %, éstas son firmas productoras regidas por Sistemas de Gestión de la Calidad certificados según las normas ISO, con certificado de pureza y libre de otras impurezas de congéneres del etanol[5].

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de aguardiente de caña (Identificadas como: Aguardientes Destilería Región Central y Aguardientes Destilería Región Oriental).

Se realizaron las determinaciones de grado alcohólico, según NC 790:2010[8] Bebidas alcohólicas — Determinación del grado alcohólico — métodos de referencia: 1- grado alcohólico por picnometría y 2- grado alcohólico por densimetría digital (%v/v a 20 °C) ; componentes mayoritarios según NC 508:2011[9] Bebidas alcohólicas — Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía de gases (expresado en g/100 L de alcohol absoluto (AA)) y evaluación sensorial con el procedimiento desarrollado en el IIA (Instituto de Investigaciones Alimentos).

## 4. RESULTADOS Y DISCUCIÓN

Los aguardientes de caña deben cumplir con los requisitos físicos y químicos establecidos por la NC 264:2020[10], lo que indica que el aguardiente de caña debe ser trasparente, con aroma y sabor característico a la materia prima, además permite la adición de edulcorantes y aditivos alimentarios siempre y cuando no se altere la naturaleza del producto. Su envasado debe ser en recipientes que no interactúen con el producto y la concentración de los congéneres y grado alcohólico se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1: Requisitos para aguardientes de caña.

| **Requisito** | **Valor Mínimo** | **Valor Máximo** |
|---|---|---|
| Grado alcohólico % en volumen a 20 °C | 74,0 | 76,0 |
| Alcoholes superiores expresados en g de alcoholes superiores /100 L de AA | 200,0 | 400,0 |

Los aguardientes fueron evaluados desde el punto de vista físico químico y sensorial (tablas 2 y 3),

Tabla 2: Resultados físico químicos de las muestras de aguardientes.

| **Requisitos** | **Aguardientes Destilería Región Central** | | | | **Aguardientes Destilería Región Oriental** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| Etanol (% v/v a 20 $^0$C) | 76.06 | 74.38 | 74.26 | 73.30 | 75.24 | 74.25 | 74.41 | 74.61 |
| Alcoholes superiores(g/100L AA) | 761.26 | 756.85 | 313.44 | 517.89 | 632.36 | 512.02 | 639.48 | 652.83 |

Tabla 3: Resultados del análisis sensorial de las muestras de aguardientes.

| **Muestras** | | **Evaluación sensorial** |
|---|---|---|
| **Aguardientes Destilería Región Central** | 1 | Olor y sabor marcado a fusel, batición recalentada. |
| | 2 | Olor y sabor marcado a fusel, con regusto y picor marcado. |
| | 3 | Aunque bajaron considerablemente los alcoholes superiores persisten en el olor y sabor a fusel y el regusto. |
| | 4 | Olor y sabor moderado a fusel, moderado picor y regusto. |
| **Aguardientes Destilería Región Oriental** | 1 | Ligero desbalance, fuera de diseño en el olor y sabor. Aspereza al tragar. |
| | 2 | Ligero desbalance, fuera de diseño en el olor y sabor. Aspereza al tragar. |
| | 3 | Ligera opalescencia. En el olor y sabor marcada nota melosa y fusel fuera de diseño. Picor moderado. |
| | 4 | Ligera opalescencia. En el olor y sabor marcada nota melosa y fusel fuera de diseño. Picor moderado. |

La RESOLUCIÓN No. 12/2019[11] de la industria alimentaria establece que la concentración de alcoholes superiores estará regulada por el cultivo de levadura, tipo y concentración de sales nutrientes y por el grado de fermentación secundaria, de tal manera que se garantice que la concentración de alcohol iso-amílico no sea nunca mayor a 2,5 veces la suma de las concentraciones de los alcoholes iso-butílico y n-propílico. Se realizó la comparación entre las muestras de aguardientes para observar el comportamiento de la proporción entre estas concentraciones, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Proporción de los alcoholes superiores en las muestras de aguardientes.

| Muestras | | Concentración de Alcohol iso-butílico + n-propílico | Concentración de Alcohol Isoamilico | Proporción |
|---|---|---|---|---|
| **Aguardientes Destilería Región Central** | 1 | 57.92+138.86 = 196.78 | 559.87 | 2.84>2.5 |
| | 2 | 68.62+113.45 = 182.07 | 574.78 | 3.16>2.5 |
| | 3 | 109.99+49.95 = 159.94 | 153.52 | 0.96<2.5 |
| | 4 | 91.86+110.74 = 202.60 | 354.89 | 1.75<2.5 |
| **Aguardientes Destilería Región Oriental** | 1 | 48.55+142.56 = 191.11 | 441.25 | 2.30<2.5 |
| | 2 | 48.54+115.84 = 164.38 | 347.64 | 2.11<2.5 |
| | 3 | 48.19+149.65 = 197.84 | 441.64 | 2.23<2.5 |
| | 4 | 60.98+182.09 = 243.07 | 409.76 | 1.68<2.5 |

En el caso de los aguardientes de la región central a pesar de que las muestras 3 y 4 cumplen con lo establecido en la resolución 12 se observa que es poco estable la proporción de los alcoholes iso-butílico y n-propílico en un caso duplicando uno el valor del otro y en el segundo caso es poco significativa la diferencia en sus concentraciones, en ambos casos la evaluación sensorial mantuvo como defecto el olor y sabor marcado a fusel.

## 5. CONCLUSIONES

Se logró la caracterización físico químico y sensorial de los diferentes aguardientes muestreados.

El comportamiento no fue estable para las concentraciones de los alcoholes superiores y se mantuvo como defecto en la evaluación sensorial el olor y sabor marcado a fusel.

## RECONOCIMIENTOS

"Los autores desean agradecer al grupo de panelistas del ICIDCA por el trabajo realizado en la evaluación sensorial de las muestras estudiadas"

## REFERENCIAS

1- Cartay, R., García, M., Meza, D., Intriago, J., y Romero, F. (2018). Caracterización económica de un productor de aguardiente en Junin, Manabí, Ecuador. ECA Sinergia, 85-97.

2- Moya, C. (2007). *Comisión clínica de la delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas: Informe sobre alcohol.* España: Ministerio de Sanidad y Control.

3- INEN:362. (2014). *Bebidas alcohólicas. Determinación de productos congéneres por cromatografía de gases* . Quito: NTE INEN.

4- Castro, M. (2013). *Industrialización de tragos a base de aguardiente con limón y maracuya.* Piura-Perú: Universidad de Piura.

5- Borroto, D. (2017). Licenciatura Química. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

6- NC-289.2003.Bebidas alcohólicas. Vocabulario.Oficina Nacional de Normalización, .pp.1-7.

7- Aguirre, A. (2018). Factores de producción que inciden en la calidad de los licores. Obtenido de Universidad Central del Ecuador-Fac. Ciencias Químicas-Química de Alimentos: https://miseptiembrerojo.wordpress.com/2018/10/19/factores-de-produccion-que-inciden-en-la-calidad-de-los-licores/.

8- NC 790:2010 Bebidas alcohólicas — Determinación del grado alcohólico — métodos de referencia: 6- grado alcohólico por picnometría y 2- grado alcohólico por densimetría digital.

9- NC 508:2011 Bebidas alcohólicas — Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía gas líquido.

10- NC 264:2020 Aguardientes especificaciones.

11- Análisis sensorial PNO desarrollado en el IIA (Instituto de Investigaciones Alimentos).

**Sobre los autores**

Dacelis Borroto Mato, Licenciada en Química, Investigador Agregado, Especialista en Cromatografía de Gases. Lissette Orta, Licenciada en Bioquímica, Investigador Agregado, Especialista en Cromatografía de Gases. Silvia Mato, Técnico Medio Superior en Química Analítica, Jefa de Calidad y Panel Sensorial. Nancy Herrera, Técnico Medio Superior en Química Analítica, Especialista en Técnicas Volumétricas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# VODKA DE ÑAME CRIOLLO: Innovación en destilados a partir de *Dioscorea bulbifera*- PROCESO Y CARACTERIZACIÓN

**Marco Mason[1*], Susanna Buratti[2], Simona Benedetti[2], Martha Cuenca Quicazán[3]**

[1]Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Calle 14 Sur # 14 – 23, Bogotá, Colombia
[2] Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente, Università degli studi di Milano, Via Mangiagalli 25, 21033, Milán, Italia
[3]Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Av. del Consulado Calle 30 No 48B-152, Campus Piedra de Bolívar, Cartagena, Colombia
[1]e-mail: marco.maso83@gmail.com

## RESUMEN

El ñame (*Dioscorea spp*.) es un tubérculo emblemático de la Región Caribe colombiana, vinculado históricamente al arribo de esclavos a la Costa Caribe. Colombia se destaca a nivel mundial por sus avances tecnológicos en el cultivo de ñame, situándose entre los países con mejor rendimiento en toneladas por hectárea sembrada. El 90% de la producción nacional proviene de esta región. Sin embargo, la alta perecibilidad, las temperaturas elevadas, la falta de vías de comunicación y los altos costos de transporte aumentan las pérdidas y reducen su rentabilidad. Además, la sobreproducción de tubérculos ha empobrecido tanto a agricultores como a consumidores, afectando su consumo en la dieta local. En varias culturas, alimentos locales como el trigo, la papa o la caña de azúcar se utilizan para producir bebidas alcohólicas destiladas. Este trabajo presenta resultados preliminares sobre el uso del ñame como materia prima para una bebida destilada similar al vodka, que podría aumentar su valor. Para ello, se hidrolizó harina de ñame cruda, elaborada por mujeres de la Asociación Gastronómica del Ñame Afro de San Cayetano (Bolívar), y se fermentó el mosto a 23°C con tres levaduras comerciales de *Saccharomyces cerevisiae*. Tras la fermentación, se realizó una destilación discontinua simple en un destilador de cobre. Se evaluaron la temperatura, el pH, los grados Brix y los contenidos de metanol y etanol. Un análisis sensorial instrumental, utilizando una lengua electrónica, mostró que esta bebida alcohólica podría ser una alternativa viable para dar mayor valor agregado al ñame y generar ingresos para la comunidad campesina.

**PALABRAS CLAVES:** fermentación, hidrólisis enzimáticas, lengua electrónica, destilación, comunidad campesina

## YAM-BASED VODKA: INNOVATIVE DISTILLATION FROM *Dioscorea bulbifera* – PROCESS AND CHARACTERIZATION

## ABSTRACT

Yam (*Dioscorea spp.)* is an emblematic tuber of the Colombian Caribbean region, historically linked to the arrival of enslaved people on the Caribbean coast. Colombia stands out worldwide for its technological advances in yam cultivation, ranking among the countries with the best yield per hectare. 90% of the national production comes from this region. However, the high perishability, elevated temperatures, lack of transportation infrastructure, and high transportation costs increase losses and reduce profitability. Moreover, the overproduction of tubers has impoverished both farmers and consumers, affecting its consumption in the local diet. In several cultures, local foods such as wheat, potatoes, or sugarcane are used to produce distilled alcoholic beverages. This study presents preliminary results on the use of yam as a raw material for a distilled beverage like vodka, which could increase its value. To achieve this, raw yam flour, produced by women from the Afro Yam Gastronomic Association of San Cayetano (Bolívar), was hydrolyzed, and the mash was fermented at 23°C with three commercial

strains of *Saccharomyces cerevisiae*. After fermentation, a simple batch distillation was carried out in a copper still. Temperature, pH, Brix degrees, and methanol and ethanol contents were evaluated. A sensory analysis using an electronic tongue showed that this alcoholic beverage could be a viable alternative to add value to yam and generate income for the rural community.

**KEY WORDS:** fermentation, enzymatic hydrolysis, electronic tongue, distillation, peasant community

## 1. INTRODUCCIÓN

*Dioscorea* spp., conocido comúnmente como ñame, es uno de los seis géneros de la familia *Dioscoraceae*, que agrupa alrededor de 600 especies, de las cuales solo doce son comestibles[1]. El ñame es llamado mapuey, yampi o wanka en otros países y "*yam*" en Estados Unidos. Su llegada a América probablemente se debe al comercio de esclavos traídos de África, difundido por navegantes hispano-portugueses en el siglo XVI, cuando el tráfico de esclavos desde África occidental se intensificó. Un comerciante de esclavos en Cartagena incluso se refería a un grupo de esclavos como "ñame-ñame" [2], [3]. La región Caribe colombiana, especialmente Cartagena, fue un centro de este comercio, lo que explica la asociación del cultivo de ñame con las culturas afrodescendientes. En Colombia, el ñame se produce principalmente en la Región Caribe, donde es parte esencial de la dieta local, aunque es poco conocido en otras partes del país. Se consume cocido, frito o en puré y es un ingrediente clave en sopas por la gelatinización de su almidón al cocinarlo. Las especies más cultivadas en Colombia son *D. bulbifera* (ñame criollo), *D. rotundata* (ñame espino) y *D. alata* (ñame diamante), que se han cultivado desde la época colonial [4].

El ñame se cultiva en 18 de los 32 departamentos de Colombia, con el 87% de la producción nacional concentrada en Bolívar, Córdoba y Sucre, que en 2020 aportaron el 38%, 35% y 14% de la producción, respectivamente. Estos departamentos son claves para posicionar a Colombia como un importante productor y el séptimo exportador mundial de ñame en 2018. En el último quinquenio, Bolívar, La Guajira y Atlántico han mostrado aumentos superiores al 100% en sus volúmenes de producción. En Colombia, la variedad criollo representa el 70% de la producción de ñame, mientras que las variedades espino y diamante aportan el 16% y el 14%, respectivamente [5]. Durante el primer semestre de 2020, se comercializaron 3.000 toneladas de ñame en las principales centrales mayoristas del país, como Cartagena, Barranquilla y Montería, seguidas por Santa Marta y Medellín; el comportamiento fue similar en el segundo semestre en cuanto a cantidad total y distribución por ciudades [5].

El ñame es importante para varios municipios no solo por su valor nutricional, sino también por su significado cultural. Ante la necesidad de rescatar los esfuerzos de los productores para conservar su riqueza cultural y revitalizar la economía local, se propuso una investigación que integre los valores de estas comunidades con la ingeniería. Esto permitiría desarrollar procesos que generen valor utilizando recursos regionales, cumpliendo con los estándares de calidad y aceptación, para que la comunidad los adopte como una opción económica que también fortalezca su identidad. Ejemplos en otras partes del mundo muestran cómo, a partir de cereales y tubérculos, se han creado productos derivados con denominación de origen. Las universidades juegan un papel clave en promover la innovación, especialmente en municipios donde los programas de investigación son limitados. En este trabajo se buscó desarrollar una bebida alcohólica tipo vodka, contribuyendo así a reducir la pobreza en comunidades rurales como San Cayetano, un corregimiento de San Juan Nepomuceno ubicado en la subregión de los Montes de María cerca de la ciudad de Cartagena en la costa Atlántica de Colombia.

## 2. METODOLOGÍA

**Caracterización de la harina de ñame**

La harina de ñame fue obtenida por parte de los productores mediante el secado al sol y la molienda del tubérculo seco. La humedad se determinó por el método de secado en horno (Método AOAC 930.15, 2000)[6], la muestra se colocó en el horno durante 2,5 horas a 105 °C ± 2 °C y luego se enfrió en el desecador durante 30 min y luego se pesó en una balanza con una precisión de 0,1 mg. Se utilizó el Método AOAC 955.04 [6] para la determinación de proteína total en la harina de ñame. Se utilizó el método Soxhlet (Método AOAC 920.39C para grasa de cereales) [6] para la determinación de la grasa total en la harina de ñame.

La fibra dietética total (Método AOAC 991.43a) [6] se puede calcular como la suma de la fibra dietética soluble e insoluble. El contenido de cenizas se determinó por gravimetría después de la calcinación en mufla a 600 °C. [6]

Se utilizó el refractómetro para determinar el contenido de sólidos solubles de forma rápida y precisa (Método AOAC 9.32.14C, para sólidos en jarabes) [6] y el método de Miller (DNS) [7] para la determinación de los azúcares reductores y se determinaron terminada la hidrólisis enzimática y al final de la fermentación.

Se utilizó el método de la titulación con NaOH 0,1 mol/L hasta pH 8,4 para la acidez total y volátil [8].

**Hidrólisis enzimática**

La harina de ñame se compró a la asociación gastronómica afro-ñame de San Cayetano (Bolívar, Colombia), que es un grupo de mujeres productoras de harina de ñame y yuca. Se utilizó agua corriente directamente del acueducto de Cartagena de Indias, Colombia. Se usaron alfa-amilasa termoestable y glucoamilasa de LD Carlson Company (Kent, OH) para realizar la hidrólisis del almidón. La α-amilasa es una enzima en polvo termoestable utilizada para la hidrólisis del almidón de ñame de cadena larga en dextrina, se utilizaron 5,4 g por 3,5 L de mezcla de harina de ñame (al 15%) y agua, se dejó 1 hora a 95°C.
La glucoamilasa es una enzima utilizada para la hidrólisis de dextrina de cadena corta en azúcares fermentables. Se utilizaron 3,6 g por 3,5 L, se dejó 1 hora a 60°C.

**Fermentación**

Al contenedor del mosto se añadieron 0,63 g de *Springferm* (Fermentis Lesaffre, Marcq-en-Baroeul Cedex, Francia) y 0,63 g fosfato diamonio como fuente de proteína para la levadura. Se utilizaron las levaduras comerciales: *Red Star Premier Classique* (PC) en dosis de 1 g/gal, levadura seleccionada para la producción de vino y *SafBrew HA-18* (HA-18) (Fermentis Lesaffre, Marcq-en-Baroeul Cedex, Francia) en dosis de 1,6 g/l, levadura seleccionada para la producción de cerveza de alto grado alcólico, previamente activadas cada una en 0,5 L de mosto. La fermentación se llevó a cabo durante 7 días a 23 °C.

**Destilación**

Se realizó una destilación simple con destilador de cobre de 5 L de volumen (Maritas Stills, S.L. Palmeira, Ribeira - A Coruña, España) y en un destilador simple de vidrio de laboratorio del volumen del balón de 100 ml.

**Contenido de etanol**

Se utilizó alcoholímetro para estimar el contenido de alcohol de las bebidas alcohólicas. El alcoholímetro está calibrado a prueba de 20°C para determinar el porcentaje de alcohol en licores destilados (Método AOAC 957.03). [8]

**Contenido de metanol**

Se analizó el contenido de metanol con cromatografía de gases acoplado a la masa según el método NTC 4118:1997.[9]

**Lengua electrónica**

El análisis se realizó utilizando la lengua electrónica SA402B *Taste Sensing System* (INSENT Japón) que está conformada por un sistema de sensores electroquímicos. Estos cuentan con diferentes tipos de membranas lipídicas artificiales para determinar la calidad de alimentos y bebidas en términos de variabilidad de gusto siguiendo la misma lógica de la percepción humana. La lengua electrónica está equipada con 8 sensores (sensores gustativos) capaces de responder de forma similar a moléculas caracterizadas por la misma nota gustativa (Tabla 1) [10]. Para el análisis de estos destilados se igualó el contenido de etanol al 2,5% para tener un valor igual para todas las muestras y se hicieron 3 réplicas por cada muestra. Para validar el método y la capacidad de discriminación de la lengua electrónica se hicieron 2 destilaciones diferentes una en un alambique de cobre y otra en un destilador de laboratorio de vidrio volumen del balón de 100 ml.

Los datos obtenidos del análisis con lengua electrónica fueron procesados mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando el software estadístico XLSTAT. Como resultado, el método PCA proporciona dos gráficos:

• el "*score plot*", que describe la posición espacial de las muestras en el nuevo espacio bidimensional representado por los componentes principales, lo que le permite explorar las diferencias entre las muestras, notar agrupaciones de objetos similares (*clusters*) o la presencia de objetos aislados (valores atípicos) y la manifestación de tendencias y distribuciones.

• el "*loading plot*", que permite analizar el papel de cada variable en los diferentes componentes, sus correlaciones directas e inversas y su importancia. En esta representación, a cada variable se le asigna un valor entre -1 y +1 (intervalo de definición de carga). Las variables que se ubican cerca del centro no son relevantes para ninguno de los dos componentes, viceversa las que se ubican en los extremos de uno de los dos componentes son importantes en ese componente.

**Tabla 1. Sensores de la lengua electrónica y sabores correspondientes en valores relativos y CPA**

| Sensor de sabor | Información del sabor desde el valor relativo | Información del sabor desde el valor CPA |
|---|---|---|
| Sensor umami AAE | Umami | Riqueza |
| Sensor de salado CT0 | Salado | Ninguna |
| Sensor de acidez CA0 | Ácido | Ninguna |
| Sensor de amargo C00 | Acidez amarga | Retrogusto de la acidez amarga |
| Sensor de astringencia AE1 | Astringencia | Retrogusto de la astringencia |
| Sensor de amargo BT0 | Ninguna | Retrogusto de las ales de cloruro |
| Sensor de amargo AN0 | Ninguna | Retrogusto del amargo |
| Sensor de dulce GL0 | Dulce | Ninguna |

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 2 se presentan los resultados correspondientes a la composición de la harina de ñame, donde se evidencia que el bajo contenido de proteína hace necesaria la suplementación con fuentes de nitrógeno que satisfagan las necesidades de la levadura para llevar a cabo la fermentación etanólica. Adicionalmente, el contenido de carbohidratos totales del ñame representa el 93,92% de los sólidos del tubérculo.

**Tabla 2. Composición de la harina de ñame**

| Parámetro | Método | Resultado | Unidad |
|---|---|---|---|
| Humedad | Gravimétrico – Secado en horno a 105°C | 12,9 | g/100g |
| Sólidos totales | AOAC 925.10. Ed 21:2019 (Gravimétrico) | 87,1 | g/100g |
| Carbohidratos totales | AOAC 925.10. Ed 21:2019 (Gravimétrico) | 81,8 | g/100g |
| Proteína total | ISO 1871:2009 (Kjeldahl) | 3,3 | g/100g |
| Grasa total | (Soxhlet) | 0,3 | g/100g |
| Fibra total | (Hidrólisis ácida, alcalina y calcinación) | 0,6 | g/100g |
| Ceniza | (Gravimétrico - calcinación at 600°C) | 1,7 | g/100g |

En la Figura 1 se presentan los resultados relacionados con la determinación de los grados Brix a lo largo del tiempo en el proceso de licuefacción y sacarificación con la adición de α-amilasa y glucoamilasa. Se puede observar el incremento de los sólidos solubles por la acción de las enzimas; estos valores inician en 14,3 °Bx y después de 1 h de haber agregado la α-amilasa suben a 14,6 °Bx; seguidamente, se disminuye la temperatura a 60°C y se adiciona la glucoamilasa logrando que se alcancen 16,6 °Bx.

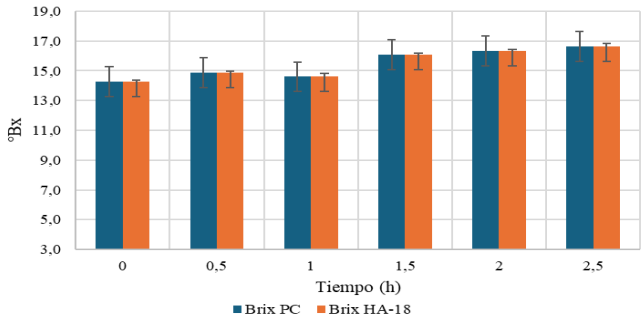



Fig. 1. Seguimiento de los grados Brix durante el proceso de licuefacción y sacarificación con la adición de α-amilasa y glucoamilasa

En la Figura 2 se presenta el comportamiento para los grados Brix a lo largo de la fermentación utilizando las dos levaduras comerciales *Premier clasique* (PC) y *SafBrew HA-18* (HA-18). Para el caso de la levadura PC, se muestra un descenso continuo hasta alcanzar el valor de 4,5°Bx a las 168,17

horas. En el caso del comportamiento que presentó la levadura HA-18, la cual contiene también glucoamilasa, se presenta un descenso de los grados Brix hasta el tercer día, y posteriormente aumentan, probablemente por el contenido de la glucoamilasa; finalmente, continúa su descenso hasta alcanzar valor final de 5,8°Bx.

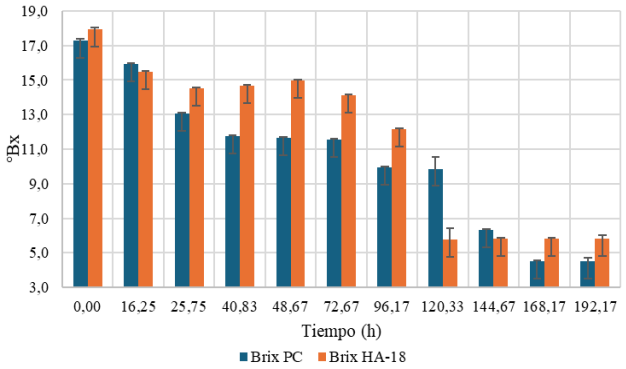



Fig. 2. Seguimiento de los grados Brix durante el proceso de fermentación utilizando dos levaduras comerciales

El monitoreo de los grados Brix durante el proceso de hidrólisis y fermentación es un método simple para llevar a cabo el seguimiento del proceso de fermentación con diferentes levaduras comerciales [6].

También se monitoreó el pH en todas las fases del proceso, lo cual se presenta en las Figuras 3 y 4. En la Figura 3 se observa que el pH va aumentando de 5,2 a 6,0 durante el tiempo de acción de la α-amilasa. Después se mantiene constante a este valor hasta que empieza la fermentación, pero después de 12 h el valor del pH baja a 5,2 para la levadura PC, y a 5,1 para la levadura HA-18. Para la levadura PC el pH se mantiene relativamente constante en torno a valores de 4,9 – 5 durante todo el proceso, y sólo en los últimos dos días desciende hasta llegar a un valor de 4,2. Para la levadura HA-18 el pH se mantiene más o menos constante en torno a valores de 5,1- 5,2 por todo el proceso sólo en los últimos dos días baja hasta llegar a un valor de 4,6 y lo mismo pasa con hasta llegar a un valor de 4,8.

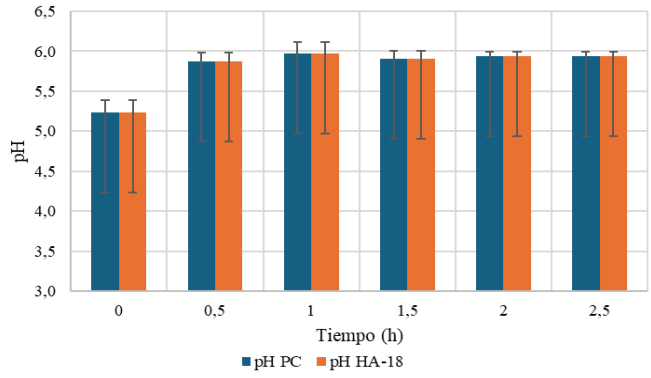



Fig. 3. Seguimiento del pH durante el proceso de licuefacción y sacarificación del mosto de ñame

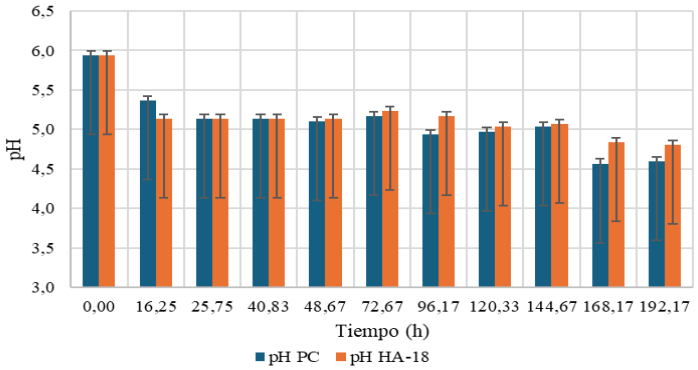



Fig. 4. Seguimiento del pH durante el proceso de fermentación utilizando dos levaduras comerciales

El monitoreo del pH es también una medición simple para verificar que las hidrólisis enzimáticas y la fermentación se lleven a cabo en las condiciones adecuadas [11], [12], y establecer que no se llevan a cabo procesos indeseados como la producción de ácido acético.

Se utilizó el método de los azúcares reductores (DNS) [7], los cuales poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) del carbono anomérico intacto[13], el cual puede ser aldehído o cetona, como la glucosa y la maltosa, los cuales son azúcares que derivan de la hidrólisis del almidón y pueden ser fermentados por las levaduras. Los resultados obtenidos con este método fueron de 3,2 ±0,04 g/L por el mosto hidrolizado, antes de iniciar la fermentación, 0,55±0,05 g/L para la levadura PC y 0,3±0,04 g/L por la levadura HA-18.

La acidez total [3] fue de 0,075 ±0,05 g/L para el mosto hidrolizados, antes de iniciar la fermentación, 0,9±0,1 g/L para la levadura Premier classique, y 2,2 ±0,4 g/L para la levadura SafBrew HA-18. Estos valores son muy inferiores a los valores de referencia de NTC 1588:2004 [14], de las bebidas alcohólicas tipo vino, expresados en g de ácido tartárico/L.

La acidez volátil [3] fue de 0,66±0,2 g/L para la levadura PC y 1,23 ±0,4 g/L para la levadura HA. Estos valores son inferiores, solo la levadura HA está al límite (1,2 g/L) con el valor de referencia de la NTC 1588:2004 [14], de las bebidas alcohólicas tipo vino, expresados en g de ácido acético/L.

El contenido de etanol [8] fue de 11% v/v por la levadura PC y 10% v/v por la levadura HA-18 y el contenido de metanol fue de 31,8 mg/dm$^3$ del destilado obtenido con las 2 levaduras valores inferiores a 100 mg/dm$^3$ establecido como valor máximo aceptado en la NTC 305:1999 [15].

En la Figura 4 se presentan el "*score plot*" y el "*loading plot*" del análisis de componentes principales (PCA), que describe la huella gustativa de las muestras, con dos componentes principales que explican el 83,95% de la varianza total. La muestra HA-18 al 10% (levadura HA-18 destilada en vidrio) se distingue claramente en el primer componente principal, que explica el 56,46% de la varianza total, caracterizándose por sabores ácidos, amargos y astringentes. El segundo componente principal discrimina las muestras PC 11% destiladas en vidrio y fermentadas con *Premier Classique*, de las HA-18 84% y PC 40% destiladas en cobre. Las muestras PC 11% destacan por su sabor astringente, mientras que los destilados en cobre (HA-18 84% y PC 40%) son percibidos como más amargos, con un sabor umami y retrogusto amargo y astringente. Se demostró la capacidad de la lengua electrónica para diferenciar destilados en vidrio según la levadura utilizada, aunque no se detectaron diferencias significativas en los destilados de cobre.

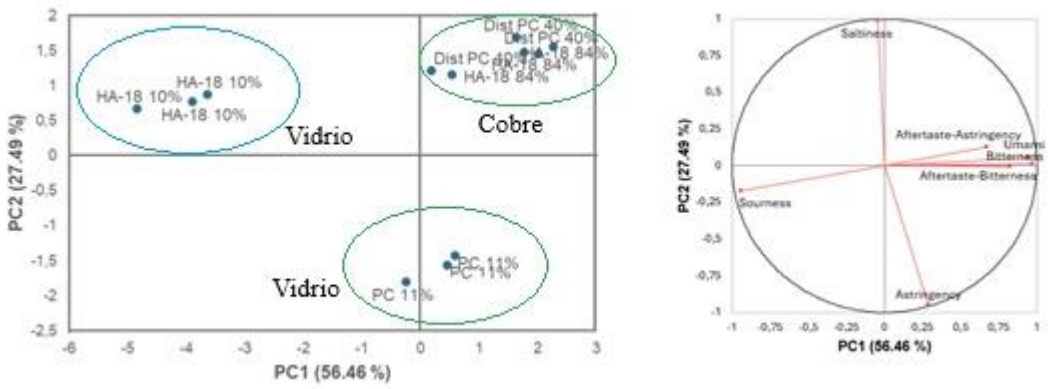



Fig. 4. Biplot del analisis de componentes principales (PCA) de las muestras de destilado de ñame destilados en alambique de cobre Dist PC 40% y HA-18 84% y destilado en vidrio PC 11% y HA-18 10%

## 4. CONCLUSIONES

Se demostró que el ñame puede utilizarse como sustrato para la producción de bebidas fermentadas, las cuales, tras ser destiladas, generan productos alcohólicos con mayor valor agregado y un precio de venta superior al del producto sin procesar. Se desarrolló una metodología eficiente para la hidrólisis enzimática del almidón y se evaluaron dos levaduras comerciales, observando diferentes velocidades de fermentación entre ellas. Además, se comprobó que la lengua electrónica es una herramienta útil, sencilla y objetiva para distinguir entre los destilados de ñame procesados en vidrio y en alambique de cobre.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por la financiación de este proyecto (PG2602 ECBTI 2022), otorgada mediante la convocatoria n°10 de 2021. Extienden su gratitud al Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente de la Università degli Studi di Milano por su valiosa colaboración en el análisis con la lengua electrónica, y al Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena por el soporte técnico en la caracterización de las bebidas. Asimismo, agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Cartagena por el apoyo brindado para la presentación de este trabajo en el evento, a través del Plan de Fortalecimiento del Grupo ITMIA 2023, Acta 053 de 2023.

## 6. REFERENCIAS

1. MENDOZA-CRESPO, HENRY; ORTIZ-VELÁSQUEZ, MAURICIO. “Importancia y determinantes de la asociación productiva agrícola: el cultivo de ñame en el caribe colombiano”. *Sociedad y Economía*, 2020, núm. 41, pp. 88-108.

2. MORALES BEDOYA, Enrique. *Fogón Caribe: la historia de la cocina del Caribe colombiano*. p. 379, 2ª edición, septiembre de 2020. Villa de Leiva: Editor Enrique Morales Bedoya. p.380. ISBN 978-958-49-0057-9.

3. REINA ARANZA, Yuri. C. El cultivo de ñame en el Caribe Colombiano. Bogotá: Editorial Banco de la república. p. 31, numero 168, junio de 2012. ISSN 1692-3715.

4. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *MinAgricultura lanzó la cadena de ñame en Bolívar para lograr rentabilidad en las 30.000 familias que dependen del sector*. [en línea] [ref. de

02 septiembre 2024]. Disponible en Web: https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/MinAgricultura-lanzó-la-cadena-de-ñame-en-Bolívar-para-lograr-rentabilidad-en-las-30-000-familias-que-dependen-del-sector.aspx.

5. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Cadena Productiva del Ñame. Cifras del subsector, organización de cadena, comercialización y coyuntura nacional actual.* [en línea] [ref. de 02 septiembre 2024]. Disponible en Web: https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales ñame.pdf.

6. PAM ISMAIL B; NIELSEN SUZANNE S. *Nielsen's Food Analysis*. Sixth edition. Editorial Springer, 2024. 614 pp. ISBN 978-3-031-50642-0.

7. MILLER, G. L. "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar". *Analytical Chemistry*, vol. 31, no. 3, pp. 426-428, marzo 1959. Disponible en: doi:10.1021/ac60147a030.

8. QUICAZÁN, M.; CUENCA, M.; BLANCO PAZ, A. *Producción de hidromiel en el contexto de la apicultura en Colombia. Universidad Nacional de Colombia*, Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2018. 318 pp. ISBN 978-958-783-602-8.

9. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4118:1997. *Bebidas alcohólicas. Determinación de metanol y de congéneres en bebidas alcohólicas y en alcohol etílico empleado en su elaboración, mediante cromatografía de gases.* Bogotá. Colombia. 1997.

10. LIU, J. et al. "Fuzzy evaluation output of taste information for liquor using electronic tongue based on cloud model". *Sensors*, 2020, vol 20, núm. 3, pp. 686-706.

11. WALKER, G. M.; STEWART, G. G. "Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages". *Beverages*, 2016, vol. 2, núm 4, pp. 1-12.

12. ARROYO-LÓPEZ, F. N.; ORLIĆ, S.; QUEROL, A.; BARRIO, E. "Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters of *Saccharomyces cerevisiae, S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid". *International Journal of Food Microbiology*, 2009, vol. 131, núm. 2-3, pp. 120-127.

13. MARTINEZ TRUJILLO, Aurora. "DNS: Una técnica de cuantificación de azúcares reductores. Utilizada en el Laboratorio de Catálisis Enzimática del TESE". *TecnoCultura*, 2022, vol. 3, pp.7-9.

14. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 1588:2004. Bebidas alcohólicas. Vinos espumosos. Bogotá. Colombia. 2004.

15. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 305:2020. Bebidas alcohólicas. Vodka. Bogotá. Colombia. 2020.

**Sobre los autores**

**Marco Mason**
Profesional magíster en Ciencia y Tecnología de alimentos egresado de la Università degli Studi di Milano y doctor en Montaña, Medio Ambiente y Agricultura de la Libera Università di Bolzano (Italia). Es experto en análisis y control de calidad, manejo de procedimientos y estándares HACCP, manejo de dietas hospitalarias y gestión de personal en cocina hospitalaria, experiencia en investigación y desarrollo aplicado a la producción de nuevos electrodomésticos de cocina, conocimientos generales de principios de ciencia y tecnología de alimentos, así como también en la realización de fermentaciones de alimentos (yogurt, cerveza, pan, vinos de fruta). Cuenta con experiencia profesional de más de quince (15) años, en la industria y en universidades en Colombia, Italia y Estados Unidos, relacionada con bioprocesos, nanotecnología y manejo de técnicas analíticas instrumentales. En este trabajo participó en la formulación

y presentación del proyecto para ser financiado, parte experimental, así como en la dirección del trabajo, escritura, revisión y redacción del manuscrito.

**Susanna Buratti**
Profesional en Ciencias de las preparaciones alimentarias de la Università degli Studi di Milano doctora en Biotecnología alimentos de la Università degli Studi di Milano. Profesora del programa de Ciencia y Tecnología de alimentos de la la Università degli Studi di Milano desde hace más de 25 años y experta en aplicación de la nariz y lengua electrónica aplicada al análisis de los alimentos. En este trabajo participó en el análisis de las muestras de destilado con la lengua electrónica.

**Simona Benedetti**
Profesional en Ciencias de las preparaciones alimentarias de la Universidad de Napoli "Federico II", doctora en Biotecnología de alimentos de la la Università degli Studi di Milano. Empleada científica de la Universidad de Milán desde hace más de 25 años y experta en aplicación de la nariz y lengua electrónica aplicada al análisis de los alimentos. En este trabajo participó en el análisis de las muestras de destilado con la lengua electrónica.

**Martha Cuenca Quicazán**
Ingeniería química, magíster y doctora en Ingeniería Química egresada de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Es actualmente Profesora Asociada al Programa de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Pertenece al Grupo de Investigación en Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador (NIPAC) y lidera el Grupo de Investigación en Transformación de Matrices Industriales y Agroindustriales (ITMIA). Es Investigadora Junior en la Categorización del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Minciencias). Cuenta con experiencia profesional de más de veinte (20) años, en la industria y en universidades en Colombia, Italia y Chile, relacionada con desarrollo de nuevos productos, bioprocesos y manejo de técnicas analíticas instrumentales. En este trabajo participó en la realización de las fermentaciones, así como también en la escritura, revisión y redacción del manuscrito.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE ESQUEMAS DE INTEGRACIÓN EN PLANTAS DE DERIVADOS DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA "ANTONIO SÁNCHEZ"

**Arletis Cruz Llerena[1], Massiel Figueroa Rodríguez[2], Osney Pérez Ones[3], Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas[4], Gustavo Saura Laria[5]**

[1,5]*Departamento de Bioingeniería; Dirección de Biotecnología; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) Vía Blanca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba,* [2,3,4]*Grupo de Análisis de Procesos; Facultad de Ingeniería Química; Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae); Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba*.
[1]e-mail: arletis.cruz@icidca.azcuba.cu, [2]e-mail: mfigueroa@quimica.cujae.edu.cu, [3]e-mail: osney@quimica.cujae.edu.cu, [4]e-mail: lourdes@quimica.cujae.edu.cu, [5]e-mail: gustavo.saura@icidca.azcuba.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se analizaron las condiciones actuales de operación de las plantas de derivados de la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) "Antonio Sánchez". Se seleccionaron algunas corrientes con potencialidades a evaluar para posibles esquemas de integración y se propusieron seis escenarios de sistemas integrados. Se obtuvo que la producción de etanol extrafino en la destilería es de aproximadamente 900 hL/d, en la planta de Torula se producen 10,21 t/d de levadura seca y en la de $CO_2$ se obtienen 9,50 t/d de $CO_2$ licuado. Se analizaron los escenarios propuestos desde el punto de vista técnico-económico y ambiental y resultó que el escenario seis es el más adecuado ya que aprovecha algunas de las principales corrientes de desecho de las plantas como el residual Torula para la generación de 946,42 kWh/t de levadura producida, y el fusel para la obtención de productos de alto valor agregado.

**PALABRAS CLAVES:** escenarios de integración, etanol extrafino, levadura Torula, recuperación y purificación de $CO_2$

## EVALUATION OF INTEGRATION SCHEMES IN DERIVATIVES PLANTS OF THE AGROINDUSTRIAL SUGAR COMPANY "ANTONIO SÁNCHEZ"

**ABSTRACT**

In this work, the current operating conditions of the byproducts plants of the "Antonio Sánchez" Agroindustrial Sugar Company (EAA) were analyzed. Some streams with potentialities to be evaluated for possible integration schemes were selected and six scenarios of integrated systems were proposed. It was obtained that the production of extra fine ethanol in the distillery is approximately 900 hL/d, 10.21 t/d of dry yeast are produced in the Torula plant and 9.50 t/d of liquefied $CO_2$ are obtained in the $CO_2$ plant. The proposed scenarios were analyzed from the technical-economic and environmental point of view and it turned out that scenario six is the most appropriate since it takes advantage of some of the main waste streams of the plants, such as the residual Torula for the generation of 946.42 kWh/t of yeast produced, and the fusel for obtaining high value-added product

**KEY WORDS:** integration scenario, extra fine ethanol, Torula yeast, $CO_2$ recovery and purification

## 1. INTRODUCCIÓN

El nuevo escenario mundial promueve un modelo económico reorganizado, sostenible y dinámico a través de los sistemas de producción y consumo en circuitos cerrados, llamado economía circular [1-3]. Una biorrefinería de caña de azúcar constituye un proceso industrial capaz de producir diferentes

productos y subproductos (azúcar, etanol 1G/2G, electricidad, fertilizantes, y diversos productos químicos. En este sentido, la industria de la caña de azúcar posee las potencialidades para retomar su posición como una de las principales actividades productivas en la economía cubana actual [4-6].

Resulta imprescindible lograr una integración entre sus plantas para potenciar su producción, aprovechar al máximo las materias primas y satisfacer las necesidades energéticas de manera equilibrada [7]. El tratamiento y disposición final de los residuos, así como la disminución del consumo energético y de agua constituyen una de las premisas principales en la gestión del proceso de producción de azúcar y etanol [8-10] en una biorrefinería de caña de azúcar.

La Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) "Antonio Sánchez" constituye un polo productivo de la caña de azúcar y sus derivados. Está compuesta por un central azucarero, la destilería de alcoholes finos de caña (ALFICSA), una planta de producción de levadura Torula y de recuperación y purificación de dióxido de carbono ($CO_2$). Estas últimas se encargan del aprovechamiento industrial de los desechos provenientes de la destilería (vinazas y $CO_2$ respectivamente).

Estas plantas solo están conectadas entre sí por las corrientes materiales: miel/meladura, vinazas y $CO_2$, no existe una integración entre sus procesos, presentan una baja eficiencia y altos consumos de materias primas y energía, por lo que el empleo de herramientas de análisis de procesos para su evaluación y la propuesta de alternativas de mejoras constituye una solución viable para mejorar la eficiencia de estas producciones.

En este trabajo se tiene como objetivo proponer nuevos esquemas productivos para lograr la diversificación de las producciones y la obtención de productos de alto valor agregado con un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y materias primas, reducir los costos de producción y los efectos ambientales negativos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Diagnóstico del esquema de integración

Se realizó un análisis global de los procesos, las materias primas empleadas en cada uno y los productos. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las principales corrientes del esquema integrado destilería-Torula-$CO_2$, y de sus posibles aplicaciones.

Tabla 1: Principales corrientes de los procesos de producción de etanol extrafino, levadura Torula y $CO_2$

| Corrientes | Aplicaciones | Fuente |
|---|---|---|
| Miel | Etanol extrafino | [11, 12] |
| | Alimento animal | |
| | Torula | |
| Vinazas | Torula | [12, 13] |
| | Biogás y generación de electricidad | |
| | Fertirriego | |
| | Fertilizantes | |
| $CO_2$ | Industria alimentaria, química, farmacéutica y cosmética | [14] |
| Fusel | Obtención de productos de alto valor agregado | [15] |
| Etanol extrafino | Industria de bebidas | [16] |
| Residual Torula (vinazas) | Biogás y generación de electricidad | [17, 18] |
| | Fertirriego | |

### Evaluación de las condiciones actuales de operación

Con el fin de analizar las condiciones actuales de operación y el nivel de integración en los procesos de obtención de etanol extrafino, producción de levadura Torula, y recuperación y purificación de $CO_2$, se realizaron los balances de masa y energía en cada una de las secciones de las plantas. En las Tablas 2-4 se resumen la cantidad de datos de operación disponibles para los tres procesos y la cantidad de ecuaciones requeridas para la evaluación de las plantas.

Tabla 2: Número de ecuaciones y variables para el balance de masa y energía en el proceso de producción de etanol extrafino

| **Secciones de la planta** | **Cantidad de datos empleados** [17, 19] | **Cantidad de ecuaciones** |
|---|---|---|
| Disolutores y tanque de acidificación | 12 | 11 |
| Cuba madre | 16 | 21 |
| Fermentación | 8 | 15 |
| Columna destiladora | 5 | 3 |
| Condensador-rehervidor | 2 | 1 |
| Columna preconcentradora | 2 | 2 |
| Columna hidroselectora | 4 | 2 |
| Columna rectificadora | 11 | 2 |
| Columna desmetilizadora | 2 | 1 |
| **Total** | **62** | **58** |

Tabla 3: Número de ecuaciones y variables para el balance de masa y energía en el proceso de producción de levadura Torula

| **Secciones de la planta*** | **Cantidad de datos empleados** [17, 20] | **Cantidad de ecuaciones** |
|---|---|---|
| Enfriamiento de las vinazas | 8 | 3 |
| Fermentación y desemulsión | 10 | 14 |
| Separación y lavado | 9 | 6 |
| Termólisis y concentración | 3 | 2 |
| Secado y envase | 1 | 6 |
| **Total** | **31** | **31** |

*Se asume: 95 % de conversión en el fermentador, 10 % de pérdidas en el secador

Tabla 4: Número de ecuaciones y variables para el balance de masa y energía en el proceso de producción de recuperación y purificación de $CO_2$

| **Secciones de la planta** | **Cantidad de datos empleados** [21, 22] | **Cantidad de ecuaciones** |
|---|---|---|
| Columna de lavado con agua | 5 | 8 |
| Columna de lavado con permanganato de potasio | 4 | 8 |
| Compresor reciprocante multietapa | 24 | 6 |
| Secador | 2 | 4 |
| Purificador | 2 | 3 |
| Ciclo de refrigeración | 25 | 17 |
| **Total** | **62** | **46** |

**Costo de producción de las plantas de derivados**

El costo de producción es el conjunto de gastos económicos en que se incurre en una planta o proceso industrial durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la utilización de recursos materiales y humanos y que tienen lugar durante el proceso de elaboración de los productos terminados. Generalmente, se divide en dos partes fundamentales que son los costos de operación (costos directos e indirectos) y los gastos generales.

Los precios de los insumos para los productos adquiridos nacionalmente o importados se tomaron de la base de precios establecidos por AZCUBA en el 2022 y aparecen reportados en la Tabla 5.

Tabla 5: Índices de consumo y precios de las materias primas

| Materia prima | Índice de consumo | | Precio (CUP/t) |
|---|---|---|---|
| | Destilería | Planta de Torula | |
| Miel | 0,3800 t/hL | - | 1 500,00 |
| Sulfato de amonio | - | 0,3500 t/t | 6 977,95 |
| Fosfato diamónico | 0,3300 kg/hL | 0,0190 t/t | 11 413,25 |
| Urea | 0,9400 kg/hL | 0,0070 t/t | 6 519,33 |
| Antiespumante | 0,0800 kh/hL | 0,0027 t/t | 63 784,56 |
| Ácido nítrico | - | 0,0001 t/t | 9 312,00 |
| Sosa cáustica | - | 0,0020 t/t | 2 078,88 |
| Ácido sulfúrico | 2,7500 kg/hL | - | 2 346,19 |

En las plantas de derivados se emplean servicios auxiliares para los cuales se presentan, en la Tabla 6, los índices de consumo y precios.

Tabla 6: Índices de consumo y precios de los servicios auxiliares

| Servicios auxiliares | Índices de consumo | | Precios |
|---|---|---|---|
| | Destilería | Planta de Torula | |
| Agua | 6,06 $m^3$/hL | 51,7 t/t | 2,64 CUP/$m^3$ |
| Electricidad | 11 kWh/hL | 1 300 kWh/t | 3,84 CUP/kWh |
| Combustible | 24,85 L/hL | 0,35 t/t | 12,4352 CUP/L |

Para el cálculo del costo de producción se siguió la metodología planteada por Turton [23] y se usaron los datos que aparecen en la Tabla 7.

Tabla 7: Datos que se requieren para el cálculo del costo de operación y los gastos generales

| Datos | Valor | Unidad de medida | Fuente |
|---|---|---|---|
| Vida útil de la planta | 20 | años | Planta |
| Cantidad de meses de trabajo | 12 | meses/año | |
| Cantidad de días de trabajo | 300 | días/año | |
| Cantidad de horas que opera la planta | 24 | h/día | |
| Índice de generación de vapor | 15 | kg vapor/kg combustible | |
| Densidad del combustible (petróleo) | 0,989 | kg/L | |
| Índice de costo de las materias primas en la planta de | 249,23 | CUP/t | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | | | | | |
| Índice de costo de los servicios auxiliares en la planta de $CO_2$ | | | 927,62 | CUP/t | |
| Precio del etanol extrafino | | | 1 488 | CUP/hL | |
| Precio levadura seca | | | 18 000 | CUP/t | |
| Precio del $CO_2$ licuado | | | 4 815,6 | CUP/t | |
| Costo de inversión de la destilería | | | 110 846 466 | CUP/año | |
| Costo de inversión de planta de Torula | | | 254 970 331 | CUP/año | [24] |
| Costo de inversión de planta de $CO_2$ | | | 2 086 909 | CUP/año | [25] |
| Salarios vinculados al proceso productivo | | | | | |
| Cantidad de trabajadores ($n_i$) | | | Cargo que ocupa | Salarios ($S_i$) | Unidad de medida | |
| Destilería | Planta Torula | Planta $CO_2$ | | | | |
| 1 | 1 | - | Jefe de planta | 5 200 | CUP/mes | Planta |
| - | 1 | - | Especialista principal | 3 200 | CUP/mes | |
| - | 1 | - | Jefe de turno | 3 800 | CUP/mes | |
| 3 | 6 | 2 | Operadores | 2 800 | CUP/mes | |
| 12 | 12 | - | Analistas de laboratorio | 2 800 | CUP/mes | |

**Análisis económico de los escenarios**

Para la evaluación económica de los escenarios de integración se estableció una comparación entre las ganancias de cada uno de ellos con las del primer escenario, que es el que representa las condiciones actuales de las plantas de derivados.

El análisis que se realiza en los escenarios desde el punto de vista técnico y ambiental se basa en modificaciones que permitan reutilizar los efluentes de la destilería y de las plantas de levadura Torula y $CO_2$, por lo que para el cálculo de las ganancias solamente se tuvieron en cuenta los ingresos por concepto de venta de los productos que se obtienen y los egresos por concepto de compra de las materias primas y los servicios auxiliares que se requieren.

Para realizar estos cálculos se necesitan los precios de algunas materias primas y productos que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Precios de materias primas y productos

| Materia prima o producto | Costo o precio | Unidad de medida | Fuente |
|---|---|---|---|
| Jugo de los filtros y secundario | 2 088 | CUP/$m^3$ | [26] |
| Alcohol isoamílico | 1 062 | CUP/L | [27] |
| 2-propanol | 741,69 | CUP/L | [28] |
| i-butanol | 1 172,54 | CUP/L | [29] |

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

**Diagnóstico del esquema de integración**

Se realizó un diagnóstico del esquema de producción integrado destilería-Torula-$CO_2$. En la Tabla 9 se presenta la relación de las corrientes con potencialidades para evaluar su empleo en posibles escenarios de integración.

Tabla 9: Identificación de las corrientes con potencialidades para integración

| No. | Corrientes | Clasificación de las corrientes | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Destilería | Planta Torula | Planta $CO_2$ |
| 1 | Miel | Entrada | - | - |
| 2 | Agua de dilución | Entrada | Entrada | - |
| 3 | Agua de lavado | - | Entrada | Entrada |
| 4 | Agua residual | - | - | Salida |
| 5 | Agua de enfriamiento | Entrada, Salida | Entrada, Salida | Entrada, Salida |
| 6 | Etanol extrafino | Salida | - | - |
| 7 | $CO_2$ | Salida | - | Entrada |
| 8 | $CO_2$ purificado | - | - | Salida |
| 9 | Vinazas | Salida | Entrada | - |
| 10 | Fusel | Salida | - | - |
| 11 | Cabezas | Salida | - | - |
| 12 | Residual Torula | - | Salida | - |
| 13 | Levadura | - | Salida | - |
| 14 | Vapor | Entrada | Entrada | - |
| 15 | Condensado | Salida | Salida | - |
| 16 | Electricidad | Entrada | Entrada | Entrada |

Se identifican 16 corrientes con potencialidades para su aprovechamiento, las que pueden entrar y salir de más de un proceso, por lo que pueden generar más de un escenario de integración destilería-torula, tanto material como energético. En la Fig.1 se presenta el esquema integrado destilería-Torula-$CO_2$ existente.

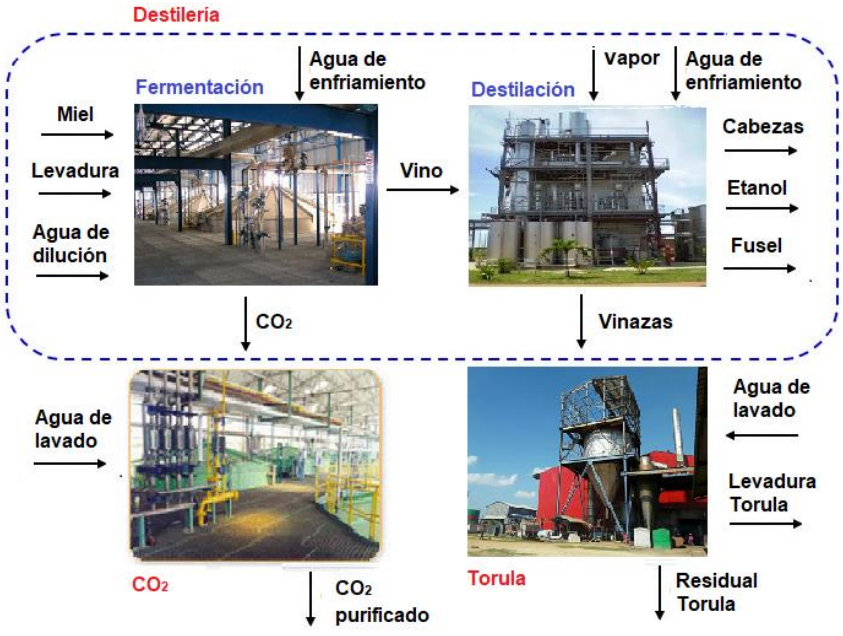



Figura 1: Diagrama del proceso integrado destilería-Torula-$CO_2$

Como se observa, en el esquema actual integrado los productos principales que se obtienen son: etanol extrafino, $CO_2$ y levadura Torula.

Se identificaron tres corrientes de salida que en el esquema actual no se aprovechan (fusel, cabezas y residual de Torula). A partir de los resultados del diagnóstico se pueden identificar posibles escenarios de integración de procesos, que permitan diversificar la producción y mejorar la eficiencia de las plantas.

Para la evaluación de los diversos escenarios la utilización de la simulación de procesos resulta imprescindible, de donde se procedió a obtener esquemas de simulación para la producción de levadura Torula y de recuperación y purificación de $CO_2$.

**Escenarios de integración propuestos**

En la Tabla 10 se presentan las propuestas de seis escenarios con grandes potencialidades para mejorar la eficiencia de las plantas azucareras y sus derivados bajo el enfoque de biorrefinería.

Tabla 10: Escenarios de integración propuestos

| **Procesos** | **Escenarios** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1*** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| Producción de etanol a partir de miel final | X | | X | X | X | |
| Producción de etanol a partir de jugo y miel final | | X | | | | X |
| Recuperación y purificación de $CO_2$ | X | X | X | X | X | X |
| Producción de Torula a partir de vinazas | X | X | X | X | X | X |
| Obtención de productos de alto valor agregado | | | X | | X | X |
| Producción de biogás y generación de electricidad | | | | X | X | X |

*Escenario actual

Escenario 1: Todo el jugo obtenido se destina a la producción de azúcar, se produce alcohol con miel final, se obtiene levadura Torula a partir de las vinazas de la destilería y el $CO_2$ obtenido en la fermentación es recuperado, purificado y vendido.

Escenario 2: Se desvía jugo del proceso de azúcar para la producción de etanol, por lo que la producción de etanol se realiza a partir de miel final y jugo. La obtención de levadura Torula es a partir de las vinazas y se recupera y purifica el $CO_2$ obtenido en la fermentación.

Escenario 3: Integración del escenario 1 y el aprovechamiento de las impurezas separadas en la etapa de destilación, los alcoholes de mal gusto y los aceites de fusel, para la obtención de productos de alto valor agregado.

Escenario 4: Integración del escenario 1 y la producción de biogás y generación de electricidad a partir del residual del proceso de producción de levadura Torula.

Escenario 5: Integración de los escenarios 1, 3 y 4.

Escenario 6: Integración de los escenarios 2, 3 y 4.

En la Tabla 11 se presenta un resumen de los principales aportes desde el punto de vista técnico de cada uno de los escenarios.

Tabla 11: Resumen de los principales aportes técnicos de los escenarios

| **Parámetros** | **Escenarios** |
|---|---|

| | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MF+JF | MF+JS | | | | MF+JF | MF+JS |
| Etanol extrafino (hL/d) | 899,95 | 899,95 | | 899,95 | 899,95 | 899,95 | 899,95 | |
| $CO_2$ licuado(t/d) | 9,50 | 9,50 | | 9,50 | 9,50 | 9,50 | 9,50 | |
| Levadura Torula (t/d) | 10,21 | 10,21 | | 10,21 | 10,21 | 10,21 | 10,21 | |
| Ahorro de agua de dilución ($m^3$/d) | - | 248 | 166,08 | - | - | - | 248 | 166,08 |
| Ahorro de miel final (%) | - | 24,18 | 16,20 | - | - | - | 24,18 | 16,20 |
| Etanol (kg/d) | - | - | | 43,20 | - | 43,20 | 43,20 | |
| i-butanol (kg/d) | - | - | | 251,04 | - | 251,04 | 251,04 | |
| Alcohol isoamílico (kg/d) | - | - | | 124,56 | - | 124,56 | 124,56 | |
| 2-propanol (kg/d) | - | - | | 2,14 | - | 2,14 | 2,14 | |
| Generación diaria de electricidad (MWh) | - | - | | - | 9,67 | 9,67 | 9,67 | |

MF+JF: mezcla de miel-jugo de los filtros
MF+JS: mezcla miel jugo secundario

**Costos de producción de las plantas de derivados**

Para conocer el costo de producción de la destilería y de las plantas de levadura Torula y $CO_2$ se utilizan los datos reportados en las Tablas 5-7. En la Tabla 12 se presentan algunos de los resultados obtenidos.

Tabla 12: Costos de producción de la destilería y las plantas de Torula y $CO_2$

| Indicadores (CUP/año) | Destilería | Planta de Torula | Planta de $CO_2$ |
|---|---|---|---|
| Materias primas y materiales de producción | 159 682 822 | 8 833 885 | 710 714 |
| Servicios auxiliares | 99 153 066 | 29 208 102 | 2 645 237 |
| Salarios | 566 400 | 751 200 | 67 200 |
| Total de costos directos | 269 553 836 | 41 351 000 | 3 581 578 |
| Total de costos indirectos | 723 619 | 1 273 915 | 53 651 |
| Gastos generales | 51 541 799 | 8 534 854 | 706 504 |
| Valor de producción | 401 738 623 | 55 171 992 | 13 732 348 |
| Total de gastos incluyendo depreciación | 322 293 676 | 52 251 043 | 4 350 665 |
| Ganancia económica incluyendo la depreciación | 79 444 946 | 2 920 950 | 9 381 683 |

Los costos de producción de la destilería y de las plantas de levadura Torula y $CO_2$ son de 322 293 676 CUP/año, 52 251 043 CUP/año y 4 350 665 CUP/año respectivamente. Los costos directos son los que presentan mayor influencia sobre los costos de producción ya que constituyen el 83,64 %, el 79,14 % y el 82,32 % del total de gastos incluyendo la depreciación para la destilería y las plantas de Torula y de $CO_2$ respectivamente.

**Análisis económico de los escenarios**

Los resultados del análisis económico de los seis escenarios se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13: Cálculos económicos de los escenarios de integración

| Parámetros | | Escenarios | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | | 3 |
| | | | MF+JF | MF+JS | |
| Ingresos (CUP/año) | | 470 642 963 | 470 642 963 | | 618 424 196 |
| Egresos (CUP/año) | | 300 233 825 | 298 785 698 | 299 266 046 | 300 233 825 |
| Ganancia (CUP/año) | | 170 409 138 | 171 857 265 | 171 376 917 | 318 190 371 |
| Variación de la ganancia (CUP/año) | | - | 1 448 127 | 967 778 | 147 781 233 |
| Variación de la ganancia (%) | | - | 0,85 | 0,57 | 86,72 |

| Parámetros | | Escenarios | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 4 | 5 | 6 | |
| | | | | MF+JF | MF+JS |
| Ingresos (CUP/año) | | 470 642 963 | 618 424 196 | 618 424 196 | |
| Egresos (CUP//año) | | 289 094 411 | 289 094 411 | 287 646 285 | 288 126 633 |
| Ganancia (CUP/año) | | 181 548 552 | 329 329 785 | 330 777 912 | 330 297 564 |
| Variación de la ganancia | CUP/año | 11 139 414 | 158 920 647 | 160 368 773 | 159 888 425 |
| | % | 6,54 | 93,26 | 94,11 | 93,83 |

Teniendo en cuenta las Tablas 11 y 13 se selecciona el escenario 6, con la mezcla de jugo de los filtros y miel final, como el más adecuado desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

En el sexto escenario propuesto, se emplea la mezcla de miel y jugo de los filtros para la producción diaria de 899,95 hL de etanol extrafino. Esto representa un ahorro de los egresos por concepto de compra de materias primas de 52 076 CUP/año y de los servicios auxiliares de 196 050 CUP/año, ya que se consume una menor cantidad de miel final y de agua de dilución.

Las vinazas de destilería, residuo altamente contaminante de la industria alcoholera, se utilizan para la producción de 10,21 t/d de levadura Torula. Los líquidos residuales que se obtienen de la etapa de centrifugación, y que actualmente se desechan, se emplean en la producción de biogás y en la generación de electricidad que, a pesar de no cubrir la demanda total de la planta, representan un ahorro de 11 139 414 CUP/año por compra de electricidad.

Los ingresos por concepto de venta del etanol extrafino, la levadura Torula y el $CO_2$ purificado aumentan en 147 781 233 CUP/año al incorporarse la venta de productos de alto valor agregado (alcohol isoamílico, isobutanol y 2-propanol) que se obtienen del fraccionamiento del fusel, corriente de desecho en la producción de etanol.

De los seis escenarios analizados, el sexto (con mezcla de miel y jugo de los filtros) es el que posee el menor valor de egresos por concepto de compra y por tanto la mayor ganancia económica (330 777 912 CUP/año), con una diferencia de 160 368 773 CUP/año con respecto a la del sistema integrado que existe actualmente entre las plantas de derivados

## 4. CONCLUSIONES

1. Se identificaron 16 corrientes con potencialidades para su aprovechamiento. En el esquema actual se identificaron tres corrientes materiales de salida que no se aprovechan: el fusel, las cabezas y el residual de Torula y se propusieron seis escenarios de sistemas integrados bajo el enfoque de biorrefinería.

2. Se realizó una evaluación de las condiciones actuales de la destilería ALFICSA mediante balances de masa y energía en las diferentes etapas de producción, para lo que se obtuvo un total de 64,10 t/d de $CO_2$ producido en la fermentación, un flujo de vinazas de 75,11 $m^3$/h en la columna destiladora que pasa a la planta de levadura Torula y una producción diaria de etanol extrafino de 899,95 hL. Los valores

calculados se obtuvieron con un error máximo relativo de 5,84 % con respecto a los reportados en la bibliografía.

3. Se evaluó la planta de levadura Torula a partir del flujo de vinazas obtenido como residual de la etapa de destilación en la producción de etanol extrafino y se obtuvo una concentración de biomasa de 10,05 g/L y una producción diaria de 10,21 t de levadura seca. En la planta de $CO_2$ solo se recupera el 16 % del $CO_2$ producido en la etapa de fermentación de la destilería y se obtuvo un flujo de $CO_2$ licuado de 9,50 t/d con un rendimiento relativo del ciclo de refrigeración de 78,35 %.

4. De los seis escenarios de integración material y energética propuestos, el sexto, con mezcla de jugo de los filtros y miel final, es el más adecuado desde el punto de vista económico y técnico-ambiental ya que aprovecha algunas de las corrientes que se desechan actualmente en las plantas de derivados además de presentar mayor ganancia en comparación con el resto de los escenarios. Los egresos por concepto de compra disminuyen al existir un ahorro en el consumo de las materias primas y de los servicios auxiliares, y los ingresos aumentan al incorporarse la venta de productos de alto valor agregado obtenidos a partir del fusel.

**REFERENCIAS**

1. MORALES, Marlen, et. al. "La sinergia entre las biorrefinerías de azúcar y el desarrollo de la industria química". *Universidad y Sociedad*, 2021, vol. 13, núm. 5, pp. 81-91.

2. GONZÁLEZ, Meilyn, et. al. "Impacto de la integración de los procesos de azúcar y derivados". *Tecnología Química*, 2013, vol. 33, núm. 1, pp. 20-26.

3. SABADÍ, Raúl. "Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: las rutas de la energía". *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2023, vol. 57, núm. 1, pp. 13-22.

4. GONZÁLEZ, Meilyn, et. al. "Generación de irreversibilidades en las producciones integradas de azúcar, alcohol y biogás". *Centro Azúcar*, 2017, vol. 44, núm. 1, pp. 82-95.

5. CORDOVÉS, Marianela, et. al. "Los derivados de la caña de azúcar en Cuba". *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2013, vol. 47, núm. 3, pp. 31-37.

6. HERNÁNDEZ, Juan Pedro, et. al. "Procedimiento de análisis energético para la conversión de industrias de la caña de azúcar en biorrefinerías". *Universidad y Sociedad*, 2021, vol. 13, núm. 5, pp. 277-288.

7. OUCHIDA, Kotaro, et. al. "Coordinated integration of agricultural and industrial processes: a case study of sugarcane-derived production. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2023, vol. 7, núm. 5, pp. 1191-1209. https://doi.org/10.1007/s41660-023-00337-8

8. GARCÍA, Oraivis, et. al. "Propuesta de mejora tecnológica para el enfriamiento-calentamiento de vinazas y *Saccharomyces* en fábrica de Torula". *Ingeniería Energética*, 2022, vol. 43, núm. 2, pp. 70-78.

9. CLAVELO, Dennis Abel, et. al. "Consideraciones para la integración material y energética de los procesos de producción de azúcar y procesos derivados". *Centro Azúcar*, 2015, vol. 42, núm. 2, pp. 93-98.

10. CLAVELO, Dennis Abel, et. al. "Optimización del esquema de biorrefinería para la integración de las producciones de azúcar y derivados". *ATAM*, 2016, vol. 29, núm. 2, pp. 41-42.

11. PENÍN Enrique, et. al. "Análisis del proceso de obtención de alcohol extrafino en una destilería". *Centro Azúcar*, 2010, vol. 37, núm. 1, pp. 8-14.

12. DÍAZ, Manuel, et. al. "La producción de levadura *Candida utilis* (levadura Torula)". In: Gálvez-Taupier LO, editor. Resultados de los institutos cubanos de investigación, desarrollo e innovación en las tecnologías sobre azúcar y derivados". La Habana: ICIDCA, 2019. p. 338-351.

13. DÍAZ, Manuel. "Consideraciones sobre la interrelación etanol - levadura Torula en un complejo agroindustrial". *Centro Azúcar*, 2017, vol. 44, núm. 4, pp. 33-43.

14. FORMANN, Steffi, et. al. "Beyond sugar and ethanol production: value generation opportunities through sugarcane residues". *Frontiers in Energy Research*, 2020, vol. 8, núm. 1, pp. 1-21. https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.579577

15. FERNÁNDEZ, Marcela, et. al. "Obtención de productos de alto valor agregado a partir de la separación de aceite fusel". *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2022, vol. 56, núm. 2, pp. 43-55.

16. ALFARO, Jessy Mabel. "Propuesta de tratamiento para el reuso de agua condensada resultante de la destilación de bioetanol". *Agua, Sanamiento & Ambiente*, 2021, vol. 16, núm. 1, pp. 25-34. https://doi.org/10.36829/08ASA.v16i1.1093

17. CRUZ, Arletis, et. al. "Simulación preliminar en Aspen Hysys de una planta de producción de levadura Torula". *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2022, vol. 56, núm. 1, pp. 56-67.

18. FIGUEROA, Massiel, et. al. "Evaluación económica de la producción de levadura Torula a partir de balances en secciones de la planta". *Centro Azúcar*, 2022, vol. 49, núm. 3, pp. 90-99.

19. PENÍN, Enrique. "Propuestas de alternativas de mejoras tecnológicas en la destilería ALFICSA". Tesis de Maestría en Gerencia de la Ciencia y la Innovación, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, 2016.

20. JIMÉNEZ, Odenmy, et. al. "Diseño óptimo económico de la etapa de preparación de residuos de destilería de etanol para producir crema nutriente". *Centro Azúcar*, 2015, vol. 42, núm. 2, pp. 61-71.

21. CRUZ, Arletis, et. al. "Simulación de la etapa de recuperación y purificación de dióxido de carbono en la producción de etanol". *TecnoLógicas*, 2024, vol. 27, núm. 59, e2845. https://doi.org/10.22430/22565337.2845

22. PERRY, Robert, GREEN, Don. *Perry´s chemical engineers´s handbook*. Octava ed. NewYork: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. pp. 2735.

23. TURTON, Richard; SHAEIWITZ, Joseph A; BHATTACHARYYA, Debangsu; WHITING, Wallace B. *Analysis, synthesis, and design of chemical processes*. New York: Pearson Education, Inc, 2018. 1520 pp. ISBN 0134177657.

24. PÉREZ, Indira. "Diseño de una planta de levadura Torula utilizando la herramienta SuperPro Designer". *Revista Cubana de Química*, 2006, vol. 18, núm. 1, pp. 100-106.

25. MATILLA, A, et. al. "La gestión ambiental en la UEB derivados Antonio Sánchez". *Centro Azúcar*, 2013, vol. 40, núm. 1, pp. 59-65.

26. COSME, Daniela, et. al. "Análisis de alternativas para la rehabilitación de la destilería "Héctor Molina". *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2018, vol. 52, núm. 1, pp. 58-64.

27. *Alcohol isoamílico según Gerber para análisis* [en línea]. [ref. de 4 abril 2024] Disponible en Web: https://www.itwreagents.com/rest-of-world/es/product/alcohol-isoamilico-segun-gerber-para-analisis/121079.

28. *2-Propanol (Reag. USP, Ph. Eur.) para análisis, ACS, ISO* [en línea]. [ref. de 4 abril 2024] Disponible en Web: https://www.itwreagents.com/rest-of-world/es/product/2-propanol+%28reag.+ups%2C+ph.+eur.%29+para+an%C3%A1lisis%2C+acs%2C+iso/131090.

29. *Isobutanol (Reag. USP, Ph. Eur.) para análisis, ACS* [en línea]. [ref. de 4 abril 2024] Disponible en Web: https://www.itwreagents.com/iberia/es/product/isobutanol+%28reag.+usp%2C+ph.+eur.%29+para+an%C3%A1lisis%2C+acs/131089.

**Sobre los autores**

M. Sc. Arletis Cruz Llerena: Graduada de Ingeniería Química. Investigador Auxiliar en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Máster en Ciencias. Miembro de la Sociedad Cubana de Química.

Ing. Massiel Figueroa Rodríguez: Graduada de Ingeniería Química. Miembro del Grupo de investigación de Análisis de procesos. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE).

Dr. C. Osney Pérez Ones: Graduado de Ingeniería Química. Profesor Auxiliar en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Máster en Ciencias. Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro de la Academia de Ciencias de Cuba. Miembro de la Sociedad Cubana de Química. Miembro del Grupo de investigación de Análisis de procesos.

Dr. C. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas: Graduada de Ingeniería Química. *Profesor Emérito* y *Doctor Honoris Causa* en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro de la Academia de Ciencias de Cuba. Miembro de la Sociedad Cubana de Química. Jefe de Grupo de investigación de Análisis de procesos.

Ing. Gustavo Saura Laria: Graduado de Ingeniería Química. Investigador Auxiliar en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# HYDROGEN PRODUCTION VIA STEAM REFORMING OF BIOGAS DERIVED FROM SUGARCANE VINASSE

# PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE REFORMADO CON VAPOR DE BIOGÁS DERIVADO DE VINAZA DE CAÑA DE AZÚCAR

**Diego Rafael Mágero Elihimas, Arthur de Almeida Martins, Mauro Antonio da Silva Sa Ravagnani, Caliane Bastos Borba Costa**

Chemical Engineering Graduate Program, State University of Maringá,

Av. Colombo, 5790 - CEP 87020-900, Maringá - PR, Brazil

e-mails: diegowrafael@gmail.com[1]; arthurmartins2065@gmail.com[2]; massravagnani@uem.br[3]; cbbcosta@uem.br[4]

## ABSTRACT

Hydrogen, especially when produced from renewable sources, is a key element in global efforts to reduce carbon emissions and transition away from fossil fuels. Sugarcane vinasse, a byproduct of ethanol production, presents a valuable opportunity for biogas generation through anaerobic digestion, which can then be used for hydrogen production via steam reforming. While biogas reforming has been studied using various substrates, there is limited research on the use of sugarcane vinasse. Thus, this study evaluated hydrogen production via steam reforming of biogas derived from sugarcane vinasse. The process simulation was conducted using Aspen Plus v.14 and process data available in the current literature. Four major steps were considered: biogas reforming, water gas shift reaction, purification, and hydrogen compression. The process produced 590 kg/h of hydrogen, with a molar percentage of 99.8%, in a biorefinery that processes two million tons of sugarcane per year, with a 200-day harvest season. Therefore, the results indicate that steam reforming of biogas using vinasse as feedstock is a promising technology for clean hydrogen generation.

**KEYWORDS:** Hydrogen, Vinasse, Biogas, Biofuel, Biorefinery.

## RESUMEN

El hidrógeno, especialmente cuando se produce a partir de fuentes renovables, es un elemento clave en los esfuerzos globales para reducir las emisiones de carbono y abandonar los combustibles fósiles. La vinaza de caña de azúcar, un subproducto de la producción de etanol, presenta una valiosa oportunidad para la generación de biogás a través de la digestión anaeróbica, que luego se puede utilizar para la producción de hidrógeno mediante reformado con vapor. Si bien el reformado de biogás se ha estudiado utilizando varios sustratos, existe una investigación limitada sobre el uso de la vinaza de caña de azúcar. Por lo tanto, este estudio evaluó la producción de hidrógeno mediante el reformado con vapor del biogás derivado de la vinaza de caña de azúcar. La simulación del proceso se realizó utilizando Aspen Plus v.14 y los datos de proceso disponibles en la literatura actual. Se consideraron cuatro pasos principales: reformado de biogás, reacción de desplazamiento de gas de agua, purificación y compresión de hidrógeno. El proceso produjo 590 kg/h de

hidrógeno, con un porcentaje molar del 99,8%, en una biorrefinería que procesa dos millones de toneladas de caña de azúcar por año, con una temporada de cosecha de 200 días. Por lo tanto, los resultados indican que el reformado con vapor de biogás utilizando vinaza como materia prima es una tecnología prometedora para la generación de hidrógeno limpio.

**PALABRAS CLAVE**: Hidrógeno, Vinaza, Biogás, Biocombustibles, Biorrefinerías.

## 1. INTRODUCTION

The global transition to renewable energy has become crucial in addressing climate change and reducing greenhouse gas emissions. Among the various renewable technologies, green hydrogen production has emerged as a strategic solution for decarbonization, offering a sustainable alternative to traditional fossil fuel-based hydrogen. Hydrogen's role extends across multiple industries, serving as a clean fuel for internal combustion engines, a zero-emission solution for heat and power generation, and a key player in reducing $CO_2$ emissions.

The 2015 Paris Agreement marked a significant step in global efforts to limit global warming to 1.5 ºC, by reducing greenhouse gas emissions and encouraging countries to adopt sustainable energy practices [1]. Countries worldwide, including Brazil, have implemented specific policies to meet emission reduction targets. Brazil's RenovaBio policy, for instance, aims to increase the use of biofuels in the national energy matrix while improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions throughout the biofuels production chain.

Biomass, as a renewable and low-carbon feedstock, plays a crucial role in biofuel production. Compared to fossil fuels, biofuels derived from biomass, such as biodiesel and ethanol, are biodegradable, non-toxic, and contain lower levels of sulfur and aromatic compounds, making them more environmentally friendly. Brazil, the largest producer of sugarcane in the world, generated 713 million tons of sugarcane in 2023/2024, which was primarily used for producing around 30 billion liters of sugarcane ethanol [2]. The byproducts of this process, such as vinasse, offer additional opportunities for producing high-value products.

Vinasse, a byproduct of ethanol distillation, is typically produced at a rate of 10-15 liters for every liter of ethanol. While it is commonly used as fertilizer, vinasse holds great potential for biofuel production, such as biogas and green hydrogen, due to its high organic content. Currently, only 4% of global hydrogen production comes from renewable sources [3]. The primary technology for hydrogen production is steam reforming of natural gas, a fossil fuel. However, similar technology could be applied to produce clean hydrogen from the biogas generated via the anaerobic digestion of vinasse. Biogas reforming presents numerous advantages, including the utilization of renewable resources, reduction in hydrogen production costs, support for a circular economy, and low emission of pollutants. Hydrogen produced via steam reforming of biogas, especially from agro-industrial byproducts like sugarcane vinasse, presents a unique opportunity to enhance the circular economy by converting waste into valuable energy. This approach not only mitigates the environmental impact of fossil fuel consumption but also provides a renewable and efficient feedstock for hydrogen generation.

Some studies have explored hydrogen production from biogas derived from substrates, such as swine manure [4,5], cow dung [5], and municipal solid waste [5]. However, there is limited research on using sugarcane vinasse as a feedstock for biogas reforming. Therefore, given the high organic content of vinasse and its significant energy potential, this study aimed to evaluate the production of hydrogen through steam reforming of biogas generated by the anaerobic digestion of sugarcane vinasse.

## 2. METHODOLOGY

In this study, an autonomous first-generation ethanol biorefinery and biogas production system, as described by Leme and Seabra [6], was considered. The distillery operates for 200 days per year, processing two million tons of sugarcane annually, with hydrated ethanol as its main product. Additionally, 12 liters of vinasse are generated for every liter of ethanol produced. Consequently, approximately 510 $m^3/h$ of vinasse is converted into 5,020 $Nm^3/h$ of biogas, which consists of 60% methane (on a dry basis). For simplification purposes, it was assumed that $H_2S$ had been removed from the biogas beforehand, leaving only $CO_2$ as the remaining component. The biogas was considered saturated with water, with a molar water concentration of 5.55% at 35°C and 1 bar, as per Leme and Seabra [6]. The obtained biogas was then directed toward hydrogen production through the steps illustrated in Figure 1.




Figure 1. Hydrogen production from biogas derived from vinasse.

The simulations were conducted using Aspen Plus v.14 simulator, with operational parameters sourced from existing literature. The simulated process flowsheet and parameters were primarily based on Kourdourli et al. [7]. The NRTL (Non-Random Two Liquid) model was employed for the biogas-to-hydrogen conversion, while the Peng-Robinson model was used for the hydrogen compression stage. The process can be seen in Figure 2.

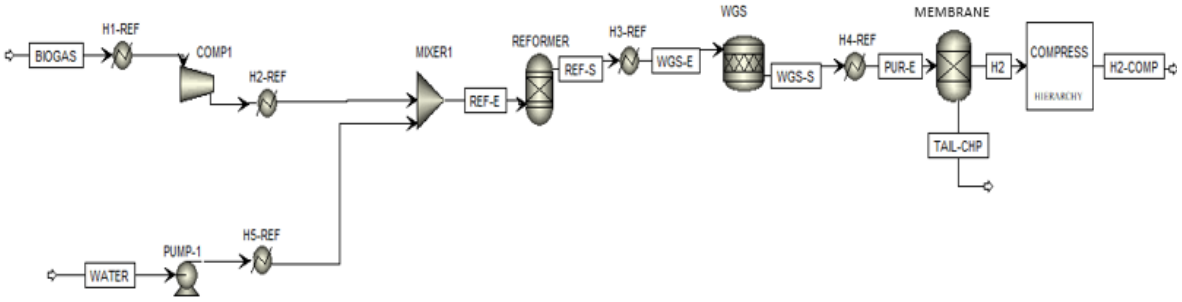



Figure 2: Hydrogen production via steam reforming of biogas

As shown in Figure 2, the first reactor is a reformer where biogas reacts with excess water vapor at 972 K and 10 atm to produce syngas (REF-S in Figure 2), according to Equation 1. $H_2O/CH_4$ Other reactions may occur, and in the simulation, a Gibbs reactor was used, considering the possible products at the reactor outlet: $O_2$, $H_2O$, $CH_4$, $CO_2$, CO, and $H_2$.

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3\ H_2,\ \ \Delta H^{\circ}_{298} = 206\ kJ/mol \quad (1)$$

The syngas is then fed into a water-gas shift (WGS) reactor, represented by a stoichiometric reactor, where the reaction in Equation 2 takes place. The process occurs at 573 K and 10 atm, with a conversion efficiency of 98%. The resulting stream is then directed to the purification process.

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2\ ,\ \Delta H^{\circ}_{298} = -41\ kJ/mol \quad (2)$$

The stream from the WGS reactor was purified using metallic membrane, and modeled with a SEP-type separator. The purification was carried out at 723 K and 10 atm, achieving an 85% separation efficiency and producing hydrogen with 99.9 mol.% purity. This process generated two streams: one containing hydrogen ($H_2$) and another with the remaining gases (TAIL-CHP), which could be sent to a cogeneration unit.

Finally, the hydrogen stream was compressed up to 200 bar ($H_2$-COMP) using a multi-stage compression system for storage and subsequent use in industries or laboratories, as suggested by Vives et al. [8]. The compression process is presented in Figure 3, with each stage consisting of a compressor, a cooler, and a flash separator. The cooler was used to condense water, while the flash separator allowed the separation of hydrogen from the condensed water.

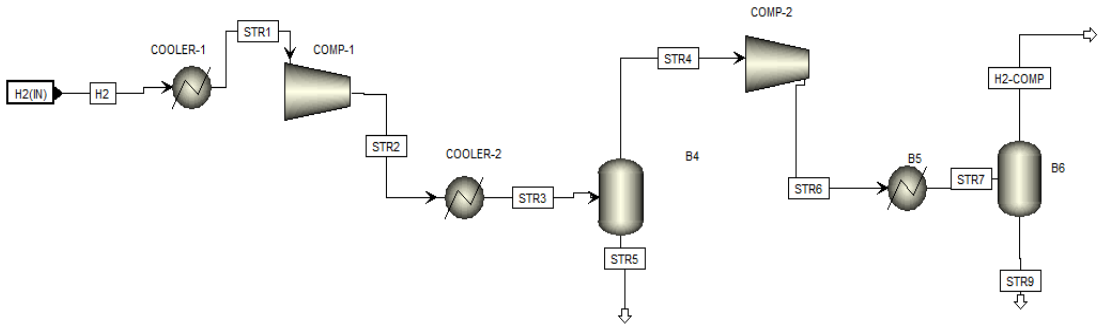



Figure 3: Hydrogen compression system.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

After completing the process simulation, the mass flow rates of the main streams were analyzed, as presented in Chart 1.

As indicated in Chart 1, methane from the biogas reacted with water vapor in the reformer and was converted into syngas with a total mass flow rate of 13,596 kg/h. The excess water shifted the equilibrium of the reversible reaction in favor of hydrogen production in the reformer according with Le Chatelier's Principle. The resulting molar composition of the syngas was 6% $CH_4$, 21% $CO_2$, 30% $H_2O$, 41% $H_2$, and 0.15% CO.

Additionally, the consumption of CO and water in the water-gas shift (WGS) reactor further increased hydrogen production, which also led to higher $CO_2$ generation. After the compression process, a hydrogen stream with a flow rate of 590 kg/h and a molar purity of 99.8% was obtained. This hydrogen can be utilized within the biorefinery or compressed and stored for other applications.

The other stream generated by the metallic membrane had a mass flow rate of 13,006 kg/h and a molar composition of 9.6% $CH_4$, 32.8% $CO_2$, 47.7% $H_2O$, 9.5% $H_2$, and 0.2% CO. This gas can be directed to a cogeneration unit to generate heat and/or electricity, thus improving the overall efficiency of the process.

Chart 1. Mass flow rates of components in the simulated streams.

| **Component** | **Mass flow rates(kg/h)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Biogas** | **REF-S** | **$H_2$-COMP** | **TAIL-CHP** |
| **$CH_4$** | 2,155.86 | 810.88 | 1.62 | 809.26 |
| **$CO_2$** | 3,942.76 | 4,947.68 | 15.15 | 7,563.58 |
| **$H_2$** | 0,00 | 553.04 | 572.53 | 101.03 |
| **$H_2O$** | 234.83 | 5,575.94 | 0 | 4,498.91 |
| **CO** | 0 | 1,708.74 | 0.07 | 34.10 |

Furthermore, a sensitivity analysis was conducted, as shown in Figure 4, to assess the impact of reformer temperature on hydrogen production. As seen in Figure 4, hydrogen production increases with rising reformer reaction temperatures, as the reforming reaction is endothermic, up to approximately 1000 K. At this temperature, hydrogen production peaks, reaching a maximum of approximately 1000 kg/h. However, it is important to highlight that more extreme temperature conditions can lead to coke formation, which can negatively affect productivity.

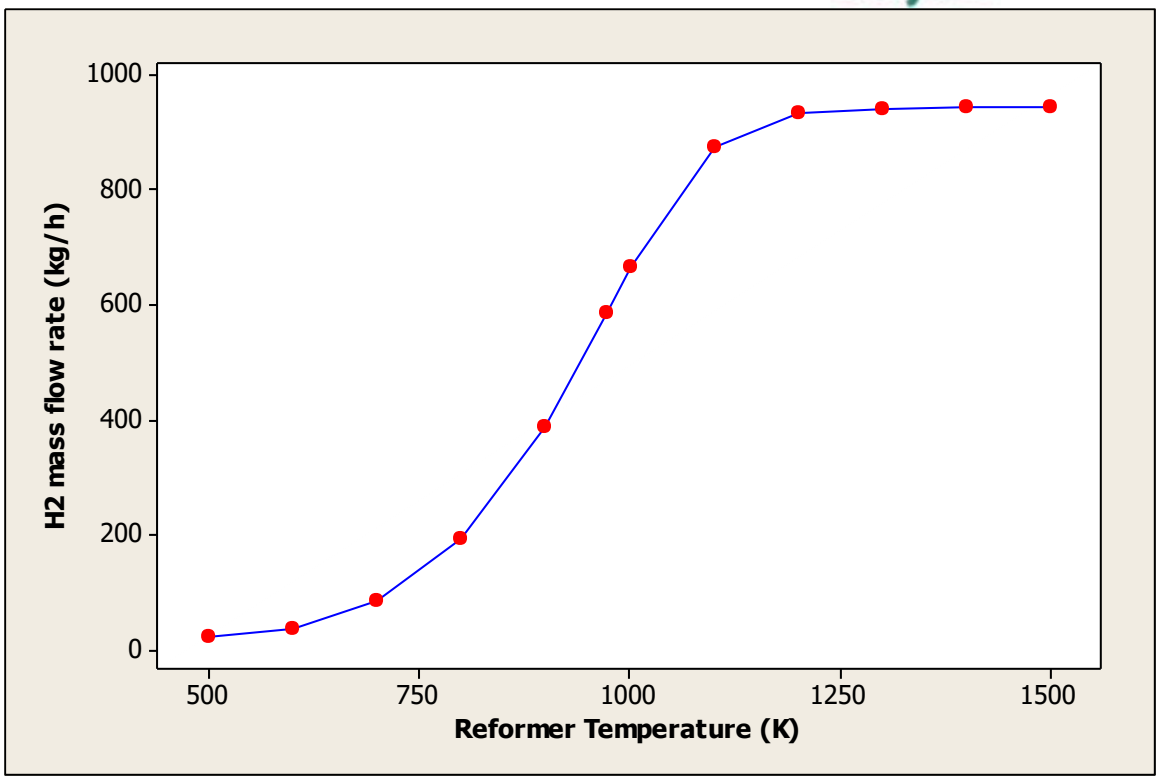



Figure 4: Influence of Temperature on Hydrogen Production.

## 4. CONCLUSIONS

In this study, the hydrogen production process through steam reforming of biogas derived from sugarcane vinasse was simulated. Using this model, it was possible to obtain a process that generates approximately 590 kg/h of $H_2$ in a plant that processes 6,333.47 kg/h of biogas. The result of this production can be commercialized or used in various processes that require hydrogen to operate in the biorefinery. Therefore, steam reforming of biogas produced from the anaerobic digestion of sugarcane vinasse is a promising technology to generate clean hydrogen.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. The authors gratefully acknowledge the support provided by the State University of Maringa, Federal University of Pernambuco, Origem Energia S.A. and the National Council for Scientific and Technological Development - CNPq (Brazil) – processes: 141891/2023-8, 307958/2021-3, 309026/2022-9, and 406544/2023-9.

**REFERENCES**

1. SCOVAZZI, Tullio; LIMA, Lucas Carlos. "Do Protocolo De Kyoto Ao Acordo De Paris". *Revista da Faculdade de Direito da UFMG*, 2021, vol. 78, pp. 469-476.

2. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. "Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar". Brasília, DF, 2024, vol. 11.

3. MAH, Angel Xin YEE et al. "Review of hydrogen economy in Malaysia and its way forward". *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, vol. 44, n. 12, pp. 5661-5675.

4. MADEIRA, Jonni Guiller Ferreira et al. "Hydrogen production from swine manure biogas via steam reforming of methane (SRM) and water gas shift (WGS): A ecological, technical, and economic analysis". *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, n. 13, pp. 8961-8971.

5. TAMILSELVAN, Ranganathan; IMMANUEL SELWYNRAJ, Arunodayaraj. "Model development for biogas generation, purification and hydrogen production via steam methane reforming". *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, vol. 50, pp. 211-225.

6. LEME, Rodrigo Marcelo; SEABRA, Joaquim Eugênio Abel. "Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry". *Energy*, 2017, vol. 119, pp. 754-766.

7. KOURDOURLI, Fatima et al. "Modeling of hydrogen production from biomass bio-digestion under Aspen Plus". *Computers & Chemical Engineering*, 2023, vol. 175, p. 108273.

8. VIVES, Ana María Villarreal et al. "Techno-economic analysis of large-scale green hydrogen production and storage". Applied Energy, 2023, vol. 346, p. 121333.

**ABOUT THE AUTHROS**

**Diego Rafael Mágero Elihimas** is Ph.D. student in Chemical Engineering at the State University of Maringá.

**Arthur de Almeida Martins** is Chemical Engineering student at the State University of Maringá.

**Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani** is Ph.D. in Chemical Engineering and is Professor at the State University of Maringá. Has experiency in Chemical Processes Optimization, Energy and Water Integration in Industrial Processes and biofuels production.

**Caliane Bastos Borba Costa Carlos** is Ph.D. student in Chemical Engineering and is Associate Professor at the State University of Maringá.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPUESTAS DE MEJORAS EN LA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN DE ALCOHOL DE LA RONERA SANTA CRUZ DEL NORTE

**Lídice Fernández Hernández[1], Simara González Pérez[1], Saydi Borrego Barrionuevo[2], Guido Riera González[2]**
[1]UEB Ronera Santa Cruz del Norte [2]Universidad tecnológica de la Habana (CUJAE),
[1]e-mail: guido@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Con el presente trabajo busca una mejora en el proceso de rectificación de alcohol flema que se lleva a cabo en la destilería de la Ronera Santa Cruz perteneciente a la Corporación Cuba Ron S.A. Para ello se utiliza la simulación con el Aspen Hysys. El caso estudiado consiste en un intercambiador de calor que calienta una extracción de una corriente de alcohol hecha en el plato 15 y reincorporada en el plato 13 de la columna rectificadora. El objetivo es aumentar la alimentación de flema a la columna, así como la producción de alcohol. También se busca lograr cumplir con los índices de consumo establecidos (1,105) y con la eficiencia del proceso (94 al 95 %). Se realiza la validación del modelo obteniéndose errores por debajo de un 5 %.

**PALABRAS CLAVES: PALABRAS CLAVES:** Columna rectificadora, simulación, intercambiador de calor.

**ABSTRACT**
**ABSTRACT**

This work aims to improve the rectification process of 'flema' alcohol carried out at the Ronera Santa Cruz distillery, part of Corporación Cuba Ron S.A. Simulation with Aspen Hysys is used for this purpose. The case studied involves a heat exchanger that heats an extraction from an alcohol stream made on plate 15 and reincorporated on plate 13 of the rectification column. The objective is to increase the 'flema' feed to the column and boost alcohol production. The aim is also to meet the established consumption indices (1.105) and achieve process efficiency (94 to 95%). The model is validated with errors below 5%

Esto lo haces tu

**KEY WORDS:** Rectifying column, simulation, heat exchanger.

## 1. INTRODUCCIÓN

El etanol es un líquido de origen natural que se obtiene de la fermentación de los azúcares naturales (1, 2, 3) o hidratando el etileno que es un compuesto orgánico formado por dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno. Se caracteriza por ser totalmente transparente un rasgo que le permite disolverse en el agua. Fue el primer derivado obtenido industrialmente a partir de un subproducto de la agroindustria cañera: las mieles de caña o melazas. Su tecnología de producción es bien conocida, y casi todos los países cultivadores de caña lo producen en mayor o menor escala (4). En Cuba se centran mayores esfuerzos en la utilización del alcohol para la industria farmacéutica y alimentaria.

El empleo del alcohol para estas actividades impone normas de calidad muy rigurosas, por lo que el control de la calidad de los insumos y los alcoholes finales toma especial relevancia. Para obtener alcoholes competitivos en el mercado mundial hay que tener un control exigente sobre los parámetros de producción, que incluye principalmente a los procesos de fermentación (5, 6), destilación y almacenamiento de las producciones, e incluso con el aumento de la tecnificación en el cultivo de la caña pudiesen existir factores inhibidores que pudieran dañar la calidad del producto terminado, como pueden ser los herbicidas, fertilizantes, fangos y otros, por lo que se debe estar atento ante el eventual deterioro de las producciones finales (7).

El sistema de producción de alcohol en la Destilería, en la Ronera Santa Cruz, Corporación Cuba Ron, fue concebido integralmente a partir de miel fermentada y contaba con un gran número de medidas de ahorro de energía, así operó desde el 1982 hasta el 2001 cuando la corporación decidió concentrar en esta destilería toda la producción de aguardiente fresco y en otras destilerías del sistema realizar la producción de alcohol fino. Durante todo este tiempo de paralización, hasta el 2018, el sistema de alcohol sufrió un gran deterioro, ya que por necesidades de la producción muchas partes y equipos fueron usados como piezas de repuesto en otros sistemas productivos.

Cuando en 2018 se retoma la producción de alcohol en esta destilería, debido a la necesidad de incrementar la disponibilidad del mismo, hubo de realizarse una inversión para poner en funcionamiento solo el sistema de rectificación de alcohol. Como fluido de calentamiento en cada columna de rectificación se emplea vapor saturado, procedente del área energética. Pero en la columna rectificadora (por problemas de altura dividida en dos, columna LK y RK) esto condujo a frecuentes inundaciones, además de un aumento del grado alcohólico del fondo de la columna RK, conllevando a altas presiones en la columna rectificadora por lo que el sistema de destilación en general se desestabiliza y se desconcentra (8). El presente trabajo se propone como objetivo mediante el empleo de aplicar herramientas de análisis de procesos en la operación obtener una propuesta tecnológicas que permitan aumentar la producción en un 10 %.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La simulación, desde el punto de vista de la ingeniería química, es la solución de las ecuaciones de balance de materia y energía para procesos químicos en estado estacionario o dinámico, así como del dimensionamiento de los equipos involucrados en un proceso. La simulación de procesos conlleva la solución mediante software de los modelos que describen los procesos químicos, físicos, biológicos, así como otros procesos técnicos y operaciones unitarias (9). La modelación del intercambiador de calor se realizó en el simulador Aspen Plus v10.0 (10). Se realiza análisis de sensibilidad. Para los cálculos manuales se emplearon los balances de masa y energía. (11)

### Balance de masa

Los balances de masa para flujo total como por componentes se basaron en que el proceso se encuentra en estado estacionario, por lo que toda la masa que entra es igual a la que sale.

$$m_{entra} = m_{sale} \quad (1)$$

**Balance de energía**

Para el balance de energía se emplearon las siguientes ecuaciones:
Para el cálculo del calor que es capaz de transferir el intercambiador de calor se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Q = U * A * MLDT \quad (2)$$

Donde:
$Q$: Calor intercambiado (kJ/h)
$U$: Coeficiente global de transferencia de calor (kJ/m$^2$h°C)
$A$: Área de transferencia de calor (m$^2$)
$MLDT$: Media logarítmica de la diferencia de temperatura

Para ello se necesitaba conocer el área de transferencia de calor la cual es calculada haciendo uso de la ecuación 3.

$$A = \pi * d * L * Nt \quad (3)$$

Donde:
$A$: Área de transferencia de calor (m$^2$)
$d$: Diámetro de los tubos (m)
$L$: Longitud de los tubos (m)
$Nt$: Número de tubos

Para calcular el calor sensible se hace uso de la ecuación 4.

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (4)$$

Donde:
$Q$: Flujo de calor sensible (kJ/h)
$m$: Flujo (kg/h)
$Cp$: Capacidad calorífica específica (kJ/kg °C)
$\Delta T$: Diferencia de temperatura (°C)

Haciendo uso de la ecuación 5 se obtiene el calor total que transfiere el intercambiador de calor bajo estas condiciones:

$$Q_{Total} = Q * pérdidas \quad (5)$$

La masa de vapor es obtenida despejando la ecuación del calor cedido.

$$Q_{cedido} = m_v * \lambda \quad (6)$$

Donde:
$Q_{cedido}$: Flujo de calor cedido (kJ/h)
$m_v$: masa de vapor (kg)
$\lambda$: Calor latente de vaporización (kJ/kg)

Para la solución de estas se empleó el Microsoft Excel.

**Descripción del proceso**

El calentamiento de las distintas columnas se planificó con vapor saturado procedente de calderas, como resulta normal, y así se llevó a cabo la nueva puesta en marcha. Durante esta y en la operación posterior se observó que el tope de la columna LK (zona de agotamiento de la rectificadora), se inundaba con frecuencia, lo que conlleva aumento de la presión en la paila, disminución de la temperatura y como consecuencia de ello pérdidas de alcohol por el fondo. Con el análisis del problema se llegó a la conclusión de que la condensación del vapor directo en el fondo de RK (zona de concentración de la rectificadora, desde la cual se envía el líquido del fondo al tope de LK) implica un incremento de la cantidad de líquido en el tope de LK, el cual se hace más significativo cuando la calidad del vapor se ve afectada, por las diferentes causas existentes:

- Columnas y tuberías de conducción de vapor sin aislamiento térmico.
- El diámetro de la tubería principal para vapor, desde Energético a Destilería, está sobredimensionado, ya que está calculado para el suministro simultáneo de vapor para la producción de alcohol y aguardiente, solo realizándose una de ellas por déficits de generación de vapor y de materias primas para destilería, conllevando perdidas de calor y caída de la presión de vapor y condensación.
- Frecuentes caídas de la presión de vapor por consumos bruscos de la fábrica de levaduras “Lefersa”.
- Caídas de la presión de vapor por mala combustión del crudo cubano en las calderas, que implica paradas de caldera para eliminar el crudo derramado no quemado (muñeco)

Teniendo en cuenta todo lo antes expuesto se decide analizar la sustitución del suministro de vapor directo al fondo de la columna RK, para lo cual se tienen dos alternativas:

1. Construir un rehervidor en el fondo de la columna RK.
2. Tomar una corriente de alcohol líquido y calentarlo indirectamente mediante un intercambiador de calor con vapor saturado de calderas.

La alternativa 1 se desecha por su complejidad y no contar con los materiales para su ejecución. Para la alternativa 2 los equipos están disponibles, por lo que es la que se evalúa mediante simulación. Dada las facilidades existentes en la columna, en cuanto a instalaciones, se extrae una corriente de alcohol del plato 15 se calienta en el intercambiador de calor y se reincorpora en la columna en el plato 13.

Las características técnicas del intercambiador de calor se presentan en la tabla 1, las del vapor de calentamiento y las de la corriente de alcohol extraída en el plato 15 en la tabla2 3.

**Tabla 1** Datos técnicos del intercambiador de calor

| Tipo de intercambiador de calor | Tubos y coraza |
|---|---|
| Cantidad de tubos | 70 |
| Longitud de los tubos | 6300 mm |
| Diámetro de los tubos | 44,4 mm |
| Espesor de los tubos | 1 mm |
| Área de transferencia de calor | 61,48 $m^2$ |
| Material | Acero inoxidable |

**Tabla 2** Características y propiedades físicas del vapor saturado y del flujo del plato 15 de la torre rectificadora

| **Vapor saturado** | **Valor** | **Flujo del plato 15** | **Valor** |
|---|---|---|---|
| **ti (°C)** | 111,3 | **P15 (kg/h)** | 5004 |
| **tf (°C)** | 111,3 | **ti (°C)** | 82 |
| **Hvs (kJ/kg)** | 2693,03 | **tf (°C)** | 83,2 |
| **Hvs (kJ/kg)** | 466,92 | **Cp (kcal/kg°C)** | 3,63 |
| **Factor pérdida** | 1,7 | | |

Algunas propiedades físicas como la capacidad calórica del flujo del plato 15 y las entalpias de evaporación del vapor saturado, fueron determinadas por (Ones, 2014); el resto fueron de los reportes diarios de la destilería Ronera Santa Cruz.

**Simulación empleando Aspen Hysys v10.0**

En el desarrollo del estudio se empleó el simulador Aspen Hysys v 10.0 para la simulación y se siguieron los pasos siguientes:

1. Seleccionar los componentes involucrados.
2. Elegir el paquete para el cálculo de las propiedades físicas por componentes.
3. Elaborar el diagrama de flujo: módulos y corrientes.
4. Definir los datos de corriente.
5. Definir los datos correspondientes de cada módulo empleado.

**Selección de componentes y paquete de propiedades**

Para que una simulación sea eficiente y sus resultados confiables es preciso hacer una buena selección del paquete de propiedades físicas seleccionado. Por otro lado, es imprescindible definir correctamente los componentes de cada corriente del proceso (Arletis, 2020). En el presente caso los componentes se definieron a partir de los reportes de análisis de laboratorio realizado en la empresa a las diferentes corrientes del proceso. En la tabla 3 se muestra la composición másica seleccionada de la corriente de

vapor de agua y en la tabla 4 se muestra la composición másica seleccionada de la corriente proveniente del plato 15.

**Tabla 3.** Composición másica de la corriente de vapor

| Componente | Composición (%) |
|---|---|
| $H_2O$ | 100 |

**Tabla 4.** Composición másica de la corriente alcohólicas

| Componente | Composición (%) |
|---|---|
| $H_2O$ | 12,30 |
| Etanol | 87,70 |

Para la simulación de las corrientes alcohólicas se empleó el paquete NRTL y para el vapor de agua el ASME Steam.

**Herramientas de la simulación**

Para la conformación del modelo de simulación se realizó la selección de los módulos de cálculos que representan las operaciones involucradas en el proceso. En la tabla 5 se describe el módulo empleado en la simulación.

**Tabla 5.** Descripción del módulo de cálculo utilizado para la simulación del intercambiador

| Nombre del módulo | Módulo | Identificación | Descripción |
|---|---|---|---|
| **Heat Exchange** |  | Intercambiador | Modela el intercambio de calor entre las dos corrientes |

**Simulación del intercambiador de calor**

Para la simulación del intercambiador de calor se empleó el módulo *Heat Exchange*. Con este módulo se logró simular el proceso de calentamiento por vapor de agua del flujo proveniente del plato 15 de la torre rectificadora. De esa forma quedó conformado el modelo de simulación. En la figura 1 se muestra el modelo de simulación del intercambiador instalado en el proceso de rectificación de alcohol.

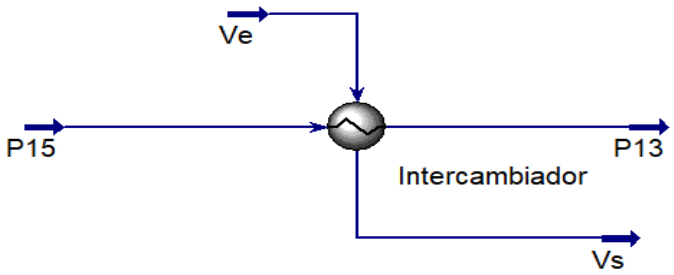



**Figura 1** Modelo de simulación obtenido en el intercambiador

**Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es una herramienta a través de la cual se estudia los cambios que se producen en una variable cuando se introducen ciertas variaciones en el modelo.

Para saber que variable influye más en el valor de temperatura que toma el flujo que sale del intercambiador hacia el plato 13 de la torre rectificadora se plantean los siguientes análisis:

a. Determinación de la temperatura del flujo de salida del intercambiador (P13) si se requiere una temperatura en 16 kJ/h de vapor saturado menor de 84°C.
b. Determinación de la temperatura del flujo de salida del intercambiador (P13) si se requiere una temperatura en 5004 kg/h de flujo en la corriente de entrada (P15) mayor de 82 °C.

**Validación de los modelos de simulación**

La validación de los modelos de simulación es una etapa de gran importancia para comprobar la certeza de los resultados obtenidos. En el presente trabajo se comparó los resultados obtenidos mediante el simulador Aspen Hysys v10.0 con datos reales, se determinó el error relativo para conocer en qué medida son diferentes los valores comparados.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente, se realiza una comparación entre cálculo manuales y los resultados obtenidos de la simulación para comprobar si el modelo se ajusta a los balances de masa y energía. Para ello se tomaron 10 juegos de datos. Los resultados se presentan en la tabla 6 tomándose la masa de vapor saturado empleado para calentar el flujo de alcohol.

**Tabla 6.** Comparación de la masa de vapor entre cálculos manuales y simulación

| Cálculos manuales mv (kJ/h) | Simulación mv (kJ/h) | ER % | Cálculos manuales mv (kJ/h) | Simulación mv (kJ/h) | ER % |
|---|---|---|---|---|---|
| 36,25 | 36,43 | 0,505 | 23,07 | 23,18 | 0,494 |
| 32,98 | 33,15 | 0,522 | 19,77 | 19,87 | 0,501 |
| 32,95 | 33,12 | 0,511 | 19,77 | 19,79 | 0,096 |
| 29,66 | 29,81 | 0,518 | 19,77 | 19,87 | 0,501 |
| 26,36 | 26,50 | 0,526 | 19,77 | 19,87 | 0,501 |

Como se puede ver en la tabla 6 el error relativo es menor que el 1 % en todos los casos, por lo que demuestra que la simulación describe correctamente el proceso de intercambio de calor en estudio.

Otro factor a tener en cuenta es el área de transferencia de calor la cual por diseño fue calculada empleando la ecuación 3, dando como resultado 61,48 $m^2$. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en la simulación del área de transferencia de calor y es comparada con la obtenida por diseño.

**Tabla 7.** Comparación del área de transferencia de calor entre la simulación y la obtenida por diseño

| Área de transferencia de calor por diseño | 61,48 $m^2$ |
|---|---|
| **Área de transferencia de calor por simulación** | **ER %** |
| 60,31 | 1,91 |
| 60,32 | 1,89 |
| 60,31 | 1,90 |
| 60,31 | 1,90 |
| 60,34 | 1,86 |
| 60,31 | 1,90 |
| 60,35 | 1,85 |
| 60,35 | 1,85 |
| 60,35 | 1,85 |
| 60,35 | 1,85 |

Como se puede observar el error relativo presente en los resultados obtenidos en la simulación con Aspen Hysys arrojó valores que se encuentran por debajo del 2 % por lo que corrobora los resultados obtenidos anteriormente de que el módulo seleccionado es capaz de describir correctamente el proceso de intercambio de calor que se está estudiando.

**Validación del modelo de simulación**

La validación del modelo de simulación se realizó a partir de la comparación de los resultados de la simulación con los datos reales de la planta. Para aceptar un modelo como válido el error de validación debe ser menor del 5 %.

Para la validación del modelo de simulación se realizó en la planta una corrida de diez días. En la tabla 8 se presenta los resultados obtenidos en la simulación del intercambiador de calor.

**Tabla 8.** Comparación de los resultados para la validación de la simulación del intercambiador de calor

| | Datos reales en planta | | | Simulación | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Corridas** | **P15 (kg/h)** | **ti (°C)** | **tf (°C)** | **tf (°C)** | **ER %** |
| 1 | 5250 | 75 | 83,00 | 84,36 | 1,64 |
| 2 | 5010 | 75 | 83,80 | 84,80 | 1,19 |
| 3 | 5200 | 75 | 83,60 | 84,46 | 1,03 |
| 4 | 5300 | 75 | 83,20 | 84,29 | 1,31 |
| 5 | 5020 | 75 | 83,80 | 84,81 | 1,21 |
| 6 | 5010 | 75 | 83,80 | 84,66 | 1,03 |
| 7 | 5010 | 75 | 83,00 | 84,86 | 2,24 |
| 8 | 5200 | 75 | 83,20 | 84,44 | 1,49 |
| 9 | 5200 | 75 | 83,30 | 84,44 | 1,37 |
| 10 | 5200 | 75 | 83,25 | 84,54 | 1,55 |

A partir de esta comparación se concluye que el modelo de simulación obtenido queda validado con un error relativo menor al 2,5 %, en sólo un caso el error superó el 2 % en el resto fue menor.

Con estos resultados se comprobó en la práctica como se desarrollaba el proceso en la actualidad con respecto a etapas anteriores donde se había realizado la modificación. Se toman para la comparación dos meses antes de instalarse el intercambiador y dos meses posterior a la instalación. Se analizarán algunos parámetros fundamentales del proceso.

**Tabla 9.** Comparación en la alimentación del proceso

| | Antes del IC | | Después del IC | |
|---|---|---|---|---|
| **Indicadores** | **Junio** | **Julio** | **Septiembre** | **Noviembre** |
| Muestras | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Promedio | 2216,6 | 2133,6 | 2892,4 | 2998 |
| Coeficiente de variación | 6,05445 % | 6,39487 % | 1,81479 % | 1,36875 % |

En la tabla 9 se compara la alimentación al proceso. Se puede observar que en los meses posteriores a la instalación del intercambiador la alimentación aumentó y su coeficiente de variación disminuyó a menos de un 2 %.

En correspondencia a este incremento se tiene un aumento en la producción. Los resultados se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Comparación de la producción

| | Antes del IC | | Después del IC | |
|---|---|---|---|---|
| **Indicadores** | **Junio** | **Julio** | **Septiembre** | **Noviembre** |
| Muestras | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Promedio | 1988,3 | 1911,4 | 2353,8 | 2744 |
| Coeficiente de variación | 5,52993 % | 6,42025 % | 2,59127 % | 2,63957 % |

En este caso se observa un incremento y mayor estabilidad en los meses posteriores a la realización de la modificación.

Un parámetro importante en el proceso es el índice de consumo. Desde el año 2021 la empresa tiene establecido como índice de consumo 1,1050 hL Alc.Flema 93°GL/hL de Alc.Fino 95,5 °GL, el cual se estaba afectado por inestabilidades en el proceso. En la tabla 11 se presenta la comparación de este parámetro.

**Tabla 11.** Comparación de los índices de consumo

| Indicadores | Antes del IC | | Después del IC | |
|---|---|---|---|---|
| | **Junio** | **Julio** | **Septiembre** | **Noviembre** |
| Muestras | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Promedio | 1,11069 | 1,12034 | 1,10208 | 1,09475 |
| Coeficiente de variación | 0,61413 % | 1,38481 % | 0,2421 % | 0,59222 % |

Se nota que en ambas etapas la variabilidad es pequeña al tener coeficiente de variación por debajo de 1,5 %, la diferencia se tiene que en los meses donde está instalado el intercambiador se logra cumplir con el índice de consumo establecido, lo que demuestra la estabilidad de la modificación realizada.

Por último, se analizará la eficiencia del proceso, los resultados se presentan en la tabla 12.

**Tabla 12.** Eficiencia del proceso

| Indicadores | Antes del IC | | Después del IC | |
|---|---|---|---|---|
| | **Junio** | **Julio** | **Septiembre** | **Noviembre** |
| Muestras | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Promedio | 93,911 | 93,587 | 94,352 | 95,06 |
| Coeficiente de variación | 2,1696 % | 2,07664 % | 0,52623 % | 0,7741 % |

Con los resultados obtenidos en los parámetros anteriores es de esperar que la eficiencia en los meses posteriores a realizada la modificación se mayor como se observa en la tabla 12. También resalta su estabilidad con coeficiente de variación menor a 1 %.

**Análisis económico**

Se realiza un análisis económico sencillo en base al posible ahorro o sobreconsumo de alcohol flema en función de los índices determinados. Para los cálculos se utilizó como precio del alcohol flema 13,62 CUP/L, valor empleado en la empresa durante los meses en que se realizó el estudio. En la tabla 13 se presentan los resultados.

**Tabla 13.** Resultados económicos

| Mes | Sobreconsumo de alcohol flema (L) | Costos de alcohol flema (CUP) |
|---|---|---|
| **Septiembre-22** | 162 | 2207,16 |
| **Noviembre-22** | 680 | 9263,43 |
| **Octubre-23** | 153 | 2080,54 |
| **Noviembre-23** | 168 | 2283,73 |

En los años del 2022 y 2023 representan ahorro en el consumo con respecto al índice, el mismo asciende a 15834,86 CUP en los meses analizados. Este resultado muestra que la modificación realizada influyó directamente en la economía de la empresa, ya que al lograr una mayor estabilidad productiva se pudieron mejorar los índices de consumo y por tanto dichos resultados arrojaron ahorros beneficiosos para la planta desde el punto de vista económico.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la simulación en Aspen Plus v10.0 de un intercambiador de calor como modificación propuesta en la columna rectificadora el cuál fue comprobado con cálculo manuales y validados con datos reales obteniéndose en ambos casos errores menores al 5 %. Se demostró que la instalación del intercambiador de calor ofrecía beneficios al aumentar la alimentación al proceso por encima a los 25000 L/h, en consecuencia, aumentar la producción, así como cumplirse con el índice de consumo de alcohol flema manteniéndose siempre por debajo 1,1050 hL Alc.Flema 93°GL/hL de Alc.Fino 95,5 °GLque es el establecido. En correspondencia la eficiencia del proceso aumento manteniéndose por encima de 94 %. El análisis económico brindó un ahorro de 15834,86 CUP de alcohol en flema en los meses de septiembre y noviembre de 2022, y en octubre y noviembre del 2023.

## REFERENCIAS

1. Albernas, Y., González, M., Corsano, G., & González, E., Obtaining superfine ethanol in a Cuban distillery., Ingeniería e Investigación Journal, Vol. 32, No. 3, 2012, pp. 47-52. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120- 56092012000300010
2. Suárez, C., Garrido, N., & Guevara, C. (2016). Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol. ICIDCA.
3. Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía. Ingeniería. Investigación y Tecnología, VIII (4), 249- 259.
4. Vuong, M. D. (2021). *Simultaneous Liquefaction, Saccharification and Fermentation process at Very High Gravity using Cassava flour for ethanol production; Valorization of distillery by-product by Solid State Fermentation for animal feeds* Université de Bourgogne Franche-Comté].
5. . Bello, D.; García, R.; Otero, M.A., Saura, G. Fermentación alcohólica con jugo de caña mezclado en “Heriberto Duquesne”. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, La Habana, 39 (2): p. 29-34, 2005.
6. Tulcán, J. K. C., & Rosero, J. C. T. (2011). *Obtención de Alcohol a partir de Jugo de Caña, Cachaza y Melaza, mediante la incoorporación de dos Niveles de Fermento.* Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
7. Díaz M, Alonso D. Estudio sobre la interrelación etanol, levadura torula y producción de bio gás. XIV Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados; Junio 26-30; La Habana, Cuba, 2017. https://www.researchgate.net/publication/318153180.
8. González Pérez S. **Evaluación técnico – económica de la columna de rectificación de alcohol.** Trabajo de diploma. Habana, Cuba: Universidad politécnica “José A. Echeverría” de La Habana; 2023.
9. Carvalho, Nuno. "Modelización y simulación de una columna de destilación utilizando nuevos modelos predictivos ". Director: Díaz Ismael. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2017.
10. González C, González. “Simulación de procesos en ASPEN HYSYS®”. Curso electivo. In: UN Cuyo, editor. Mendoza, Argentina, 2010. p. 77.
11. Borrego Barrionuevo S. Propuestas de mejoras en la columna de rectificación de alcohol de la Ronera Santa Cruz del Norte. Trabajo de diploma. Habana, Cuba: Universidad politécnica “José A. Echeverría” de La Habana; 2024.

**SOBRE LOS AUTORES**

**Lídice Fernández Hernández** es ingeniero químico desde 1996, graduada en la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); Trabajó durante 26 años en la Ronera Santa Cruz, en la actualidad se desempeña como vicepresidente industrial en la Corporación Cuba Ron SA

**Simara González Pérez** es ingeniero químico, graduada en el 2023 en la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); se encuentra en período de adiestramiento, desempeñando funciones es trabajadora en la Ronera Santa Cruz del Norte

**Saydi Borrego Barrionuevo** es ingeniero químico , graduada en julio 2024 en la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); labora en el CIGB Mariel.

**Guido Riera González** es ingeniero químico de la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); es profesor de ingeniería química con 42 años de experiencia y Doctor de ciencias desde el año 1996. Se desempeña como jefe del grupo de investigación de ingeniería alimentaria

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPUESTAS DE MEJORAS EN LA COLUMNA DEPURADORA DE ALCOHOL DE LA RONERA SANTA CRUZ DEL NORTE

**Rolando González Señan[1], Ana Lura Galbán Díaz[1], Guido Riera González[2]**
[1]UEB Ronera Santa Cruz del Norte [2]Universidad tecnológica de la Habana (CUJAE),
[1]e-mail: guido@quimica.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El etanol, después del agua, es el disolvente y la materia prima más común y utilizada; en la industria química, farmacéutica y alimentaria. El objetivo principal de este trabajo es mejorar el proceso de rectificación de alcohol flema que se lleva a cabo en la destilería de la Ronera Santa Cruz perteneciente a la Corporación Cuba Ron S.A; mediante la instalación de un condensador parcial a la columna depuradora de alcohol, el cual no se encontraba en funcionamiento, pero cumple con los requisitos necesarios para emplearlo en el sistema. Con la incorporación de este nuevo condensador se disminuyen la pérdida de alcohol por el déficit de transferencia de calor. La misma se aumentó hasta 82,5 $m^2$. Las pérdidas fueron disminuidas en más de un 10 %, pudiéndose aumentar el flujo de alimentación de vapores alcohólicos no condensados en 1000 kg/h y por ende la producción de alcohol mejorando así la eficiencia y los índices en la destilería. Se realiza un análisis económico para comprobar que la modificación tecnológica llevada a cabo en la destilería trajo consigo mejoras en la economía de la empresa puesto que al disminuir las pérdidas en la producción.

**PALABRAS CLAVES: PALABRAS CLAVES:** Columna depuradora, simulación, intercambiador de calor, condensadores.

## ABSTRACT

Ethanol, after water, is the most common and widely used solvent and raw material in the chemical, pharmaceutical, and food industries. The main objective of this work is to improve the rectification process of 'flema' alcohol carried out at the Ronera Santa Cruz distillery, part of Corporation Cuba Ron S.A., by installing a partial condenser in the alcohol purification column, which was not in operation but meets the necessary requirements to be used in the system. The incorporation of this new condenser reduces alcohol loss. The heat transfer area was increased to 82.5 m². Losses were reduced by more than 10%, allowing the feed flow of uncondensed alcoholic vapors to increase by 1000 kg/h, thereby improving alcohol production and enhancing efficiency and performance indicators in the distillery. An economic analysis was conducted to confirm that the technological modification implemented in the distillery resulted in economic improvements for the company by reducing production losses.

**KEY WORDS:** Purifying column, simulation, heat exchanger, condensers

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de alcohol a partir de las melazas (miel B o miel final, como también se le conoce) en la industria abarca dos aspectos básicos: uno la fermentación, la cual parte de las características que tienen algunos microorganismos de desintegrar azúcares y generar como residuo alcohol etílico, anhídrido carbónico y otros productos secundarios; y el otro la destilación, etapa en la que el alcohol es separado de la mezcla fermentada. El proceso de producción de alcohol abarca de forma general tres grandes etapas: preparación del mosto, fermentación y destilación-rectificación.

La fermentación es una etapa principal del proceso pues en ella es donde se logra el alcohol deseado, por tanto, el logro del rendimiento en esta etapa es de gran importancia, es el aspecto que se debe realizar mayor énfasis. Esto se logra a través de un conjunto de parámetros que van desde la propia preparación de la materia prima hasta el vital punto del cultivo del microorganismo que será el encargado de la conversión de los azúcares en etanol. (1)

La destilación es la operación unitaria más importante en el proceso de obtención de alcohol etílico, fundamentalmente para la separación de la inmensa cantidad de componentes que acompañan la mezcla obtenida en la fermentación y obtener un líquido lo más homogénea y con el mayor nivel de pureza posible lo cual es independiente de la forma en que se lleva a cabo la fermentación. Los tipos y calidades de alcohol dependen de las características y ordenamiento de los equipos de destilación denominados sistemas, según los cuales se puede obtener desde alcohol crudo hasta alcoholes extra refinados.

En Cuba la mayor utilización de alcohol es en la industria farmacéutica y alimentaria. El empleo del alcohol para estas actividades impone normas de calidad muy rigurosas, por lo que el control de la calidad de los insumos y los alcoholes finales toma especial relevancia. Para obtener alcoholes competitivos en el mercado mundial hay que tener un control exigente sobre los parámetros de producción.

El alcohol etílico al que se hace referencia en este trabajo es procedente de la Ronera Santa Cruz, perteneciente a la corporación Cuba Ron S.A., la cual se encuentra ubicada en el municipio Santa Cruz del Norte. Esta consta de una destilería productora de aguardiente y rectificadora de alcohol, los cuales constituyen las materias primas para la fabricación de los diferentes surtidos de rones elaborados en la entidad. En el sistema de rectificación de alcohol se encontraron grandes pérdidas de alcohol en los condensadores debido a que el área de transferencia de calor instalada mucho menor de la requerida en el sistema de condensación; al realizar un análisis en el laboratorio se reportó que el grado de alcohol de la corriente líquida que sale junto a los gases incondensables es de 90 °GL - 95 °GL; lo que resulta elevado lo que provoca grandes pérdidas económicas.

El presente trabajo centra su objetivo en evaluar una modificación tecnológica en el sistema de condensadores en la columna depuradora de alcohol que permita disminuir las pérdidas en el proceso por debajo de un 10 %.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del proceso**

El estudio se realiza en los condensadores instalado en la columna depuradora (VK). El flujo de tope de la columna depuradora se condensa en dos intercambiadoras de calor instalado verticalmente, el primero como condensador parcial, el segundo en función de condensador total. Las características técnicas de los equipos se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Datos técnicos de los condensadores

| Parámetros | Condensador 1 | Condensador 2 |
|---|---|---|
| Superficie del intercambio de calor (m²) | 40 | 2,5 |
| Diámetro de tubos (mm) | 33 | 33 |
| Longitud de tubos (mm) | 2200 | 1300 |
| Número de tubos (-) | 187 | 19 |
| Diámetro del intercambiador de calor (mm) | 730 | 250 |
| Altura total (mm) | 3000 | 1800 |

En la tabla 2 se presentan las características y propiedades físicas de los fluidos que circulan por la coraza y por los tubos en cada condensador.

**Tabla 2** Características y propiedades físicas en el primer condensador (parcial)

| | Condensador 1 | | Condensador 2 | |
|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Fluido frío (Agua)** | **Fluido caliente (vapores alcohólicos)** | **Fluido frío (Agua)** | **Fluido caliente (vapores alcohólicos)** |
| Flujo másico (kg/h) | 9600-10000 | 2690-2750 | 1390-1500 | - |
| Temperatura de entrada (ºC) | 30 | 83,2 | 30 | 82 |
| Temperatura de salida (ºC) | 79 | 82 | 45 | 80,6 |
| Capacidad calórica (kcal/kgºC) | 0,99 | 0,74 | 0,99 | 0,74 |

Los cálculos primarios se realizaron mediante balance de masa y energía, cuyas ecuaciones se presentan a continuación. (2)

Los balances de masa para flujo total como por componentes se basaron en que el proceso se encuentra en estado estacionario, por lo que toda la masa que entra es igual a la que sale.

$$m_{entra} = m_{sale} \quad (1)$$

**Balance de energía**

Para el balance de energía se emplearon las siguientes ecuaciones:
Para el cálculo del calor que es capaz de transferir el intercambiador de calor se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Q = U * A * MLDT \quad (2)$$

Donde:
$Q$: Calor intercambiado (kJ/h)
$A$: Área de transferencia de calor ($m^2$)
$U$: Coeficiente global de transferencia de calor ($kJ/m^2h°C$)
$MLDT$: Media logarítmica de la diferencia de temperatura

Para ello se necesitaba conocer el área de transferencia de calor la cual es calculada haciendo uso de la ecuación 3.

$$A = \pi * d * L * Nt \quad (3)$$

Donde:

$A$: Área de transferencia de calor ($m^2$)
$L$: Longitud de los tubos (m)
$d$: Diámetro de los tubos (m)
$Nt$: Número de tubos

Para calcular el calor sensible se hace uso de la ecuación 4.

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (4)$$

Donde:
$Q$: Flujo de calor sensible (kJ/h)
$Cp$: Capacidad calorífica específica (kJ/kg °C)
$m$: Flujo (kg/h)
$\Delta T$: Diferencia de temperatura (°C)

Haciendo uso de la ecuación 5 se obtiene el calor total que transfiere el intercambiador de calor bajo estas condiciones:

$$Q_{Total} = Q * pérdidas \quad (5)$$

La masa de vapor es obtenida despejando la ecuación del calor cedido.

$$Q_{cedido} = m_v * \lambda \quad (6)$$

Donde:
$\lambda$: Calor latente de vaporización (kJ/kg)
$Q_{cedido}$: Flujo de calor cedido (kJ/h)
$m_v$: masa de vapor (kg)

Para la solución de estas ecuaciones se empleó el Microsoft Excel.

El estudio se realizó en cuatro meses, una primera etapa para determinar las causas de la pérdida de alcohol que se desarrolló en los meses de septiembre y noviembre de 2022. La segunda etapa para comprobar el efecto que sobre la pérdida de alcohol tiene la instalación de un nuevo condensador se desarrolló en los meses de enero y marzo del presente año. En este estudio se tomaron 15 muestras cada mes para analizar el flujo de los vapores alcohólicos no condensados a la entrada del primer condensador (VANC) y los flujos de agua como medio refrigerante (3) en cada condensador.

Se recogieron también 10 muestras, antes de la modificación, a una corriente líquida que salía junto a los gases incondensables para determinar su grado alcohólico y verificar de esta manera las pérdidas de alcohol. Se tomó como criterio que la corriente líquida tenía el mismo grado alcohólico que la gaseosa.

La simulación, desde el punto de vista de la ingeniería química, es la solución de las ecuaciones de balance de materia y energía para procesos químicos en estado estacionario o dinámico, así como del dimensionamiento de los equipos involucrados en un proceso. La simulación de procesos conlleva la solución mediante software de los modelos que describen los procesos químicos, físicos, biológicos, así como otros procesos técnicos y operaciones unitarias (4). La modelación del intercambiador de calor se realizó en el simulador Aspen Plus v10.0 (5).

**Herramientas de la simulación**

Para la conformación del modelo de simulación se realizó la selección de los módulos de cálculos que representan las operaciones involucradas en el proceso. En la tabla 3 se describe el módulo empleado en la simulación.

**Tabla 3.** Descripción del módulo de cálculo utilizado para la simulación del intercambiador

| Nombre del módulo | Módulo | Identificación | Descripción |
|---|---|---|---|
| **Heat Exchange** |  | Intercambiador | Modela el intercambio de calor entre las dos corrientes |

**Simulación del intercambiador de calor**

Para la simulación del intercambiador de calor se empleó el módulo *Heat Exchange*. Con este módulo se logró simular el proceso de condensación de los vapores alcohólicos procedente del topo de la columna

depuradora. En la figura 1 se muestra el modelo de simulación de los tres condensadores propuesta para reducir las pérdidas de alcohol en el proceso.

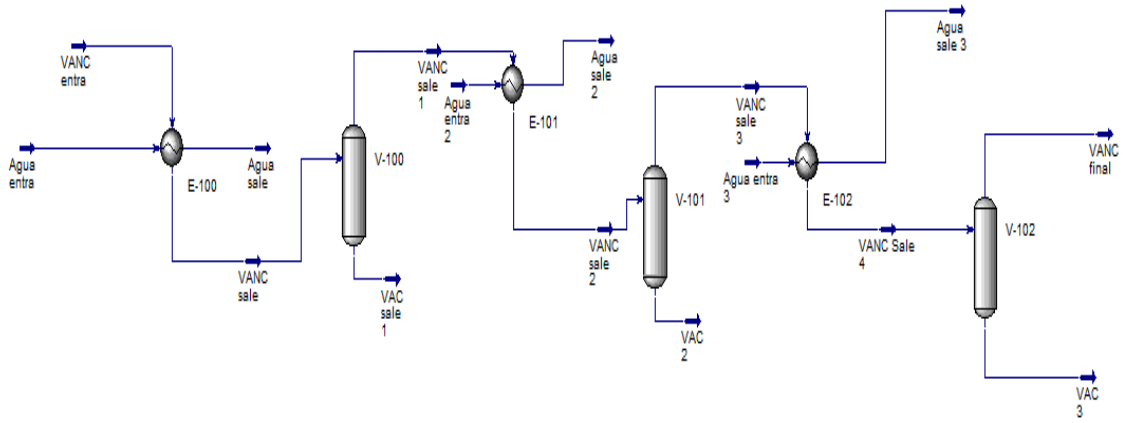



**Figura 1** Modelo de simulación obtenido en el intercambiador

**Validación de los modelos de simulación**

La validación de los modelos de simulación es una etapa de gran importancia para comprobar la certeza de los resultados obtenidos. En el presente trabajo se comparó los resultados obtenidos mediante el simulador Aspen Hysys v10.0 con datos reales, se determinó el error relativo para conocer en qué medida son diferentes los valores comparados.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente, se determinó mediante balance de masa la cantidad de alcohol perdida ($m_{PA}$) por no condensación. En la tabla 4 se presenta los resultados de procesamiento estadístico para 30 corridas, correspondiente a los meses de septiembre y noviembre de 2022.

**Tabla 4.** Resultados del análisis estadístico del alcohol perdido por no condensación

| | **VANC** (kg/h) | **$m_P$** (kg/h) | **$m_{PA}$** (kg/h) |
|---|---|---|---|
| Recuento | 30 | 30 | 30 |
| Promedio | 2711,9 | 695,4 | 146,0 |
| Coeficiente de variación (%) | 0,58 | 4,95 | 9,98 |

VANC: Vapores de alcohol al condensador, $m_P$: Masa pérdida por no condensación

En la tabla anterior se muestra que para un flujo de vapores alcohólicos al condensador con poca variación al tener un coeficiente de variación por debajo de 1 %, sin embargo, la masa perdida es alta 695,4 kg/h (25,6 %) con un contenido de alcohol que en masa es de 146 kg/h como promedio el cual oscila entre un mínimo de 127,0 y un máximo de 173,0 y su variabilidad es elevada al tener un coeficiente de variación de 9,98, cercano al 10 % el cual considera como límite de aceptación. Estos valores son realmente elevados influyendo considerablemente y de forma directa en la producción de alcohol y en la economía de la empresa.

El resultado anterior demuestra que los intercambiadores instalados como condensadores no logran condensar el 25 % de los vapores del tope de la columna depuradora por lo que es necesario buscar una solución.

Con el propósito de encontrar la causa que origina las pérdidas por no condensación se determinó el área necesaria para condensar la totalidad de los vapores del tope de la columna VK, para ello se emplearon

las ecuaciones 2 y 4. Como resultado se obtuvo que el área necesaria es de 73,11 $m^2$, siendo la instalada de 42,5 $m^2$. Este resultado demuestra que hay una diferencia de 23,27 $m^2$. Como solución se decide instalar un nuevo intercambiador de calor con área de transferencia de calor igual a 40 $m^2$ cuyos datos técnicos de presenta en la tabla 5. El total de área con el nuevo intercambiador es de 82,5 $m^2$ la cual es superior a la necesaria.

**Tabla 5.** Datos técnicos del condensador propuesto

| **Parámetros** | **Condensador 3** |
|---|---|
| Superficie del intercambio de calor ($m^2$) | 40 |
| Diámetro de tubos (mm) | 33 |
| Longitud de tubos (mm) | 2200 |
| Número de tubos (-) | 187 |
| Diámetro del intercambiador de calor (mm) | 730 |
| Altura total (mm) | 3000 |

El efecto de la instalación del nuevo intercambiador se estudio por simulación empleando el Aspen Hysys v10.0.

Primeramente, se realiza una comparación entre cálculo manuales y los resultados obtenidos de la simulación para comprobar si el modelo se ajusta a los balances de masa y energía. Para ello se tomaron 5 juegos de datos. Los resultados se presentan en la tabla 6 tomándose como referencia la masa de condensado que sale del sistema y de los vapores que no se condensan.

**Tabla 6.** Comparación de la masa de vapor entre cálculos manuales y simulación

| **Condensado total** | | | **Vapores no condensados** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cálculos manuales (kg/h)** | **Simulación (kg/h)** | **ER %** | **Cálculos manuales (kg/h)** | **Simulación (kg/h)** | **ER %** |
| 3215,00 | 3257,70 | -0,45 | 557,00 | 543,20 | 2,48 |
| 3200,00 | 3230,80 | -0,65 | 480,00 | 471,00 | 1,88 |
| 3221,00 | 3242,20 | -0,35 | 519,00 | 507,50 | 2,22 |
| 3245,00 | 3255,70 | -0,33 | 555,00 | 543,80 | 2,02 |
| 3235,00 | 3245,90 | -0,34 | 534,00 | 526,00 | 1,50 |

Como se puede ver en la tabla 6 el error relativo es menor que el 1 % el condensado total que sale del sistema y para los vapores no condensado menor al 3 %, por lo que demuestra que la simulación describe correctamente el proceso de intercambio de calor en estudio.

**Validación del modelo de simulación**

La validación del modelo de simulación se realizó a partir de la comparación de los resultados de la simulación con los datos reales de la planta. Para aceptar un modelo como válido el error de validación debe ser menor del 5 %.

Para la validación del modelo de simulación se realizó se emplearon 5 corridas. En la tabla 7 se presenta los resultados obtenidos en la simulación del intercambiador de calor tomando como referencia las mismas variables que en la comparación anterior.

**Tabla 7.** Comparación de los resultados para la validación de la simulación

| **Condensado total** | | | **Vapores no condensados** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Datos reales (kg/h)** | **Simulación (kg/h)** | **ER %** | **Datos reales (kg/h)** | **Simulación (kg/h)** | **ER %** |
| 3215,00 | 3246,30 | -0,97 | 179,00 | 176,00 | 1,68 |
| 3200,00 | 3253,70 | -1,68 | 176,00 | 173,00 | 1,70 |
| 3221,00 | 3231,30 | -0,32 | 180,00 | 176,00 | 2,22 |
| 3238,00 | 3241,40 | -0,11 | 184,00 | 179,00 | 2,72 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3237,00 | 3259,40 | -0,69 | 160,00 | 158,00 | 1,25 |

A partir de esta comparación se concluye que el modelo de simulación obtenido queda validado con un error relativo menor al 1 % para el condensado total y al 2,8 % para los vapores no condensados.

Con los resultados obtenidos también se comprobó en la práctica el efecto que tiene la modificación realizada en el proceso de producción comparándola con la etapa anterior. Se toman para la comparación 15 corridas antes de instalarse el intercambiador y posterior a la instalación. Se analizarán algunos parámetros fundamentales del proceso.

Primeramente, se analizará la alimentación al proceso, cuyos resultados se muestran en la tabla 8.

**Tabla 9.** Comparación en la alimentación del proceso

| | **Antes del IC** | **Después del IC** |
|---|---|---|
| Muestras | 15 | 15 |
| Promedio | 2712,07 | 3768,0 |
| Coeficiente de variación | 0,58 % | 0,89 % |

En la tabla 9 se compara la alimentación al proceso. Se observa que posteriormente a la instalación del intercambiador la alimentación aumentó y su coeficiente de variación se mantiene por debajo de un 1 %.

En la tabla 10 se presentan los resultados de la comparación entre la masa de vapores no condensado y del alcohol perdido.

**Tabla 10.** Resultados del análisis estadístico del alcohol perdido por no condensación

| | **$m_P$** (kg/h) | **$m_{PA}$** (kg/h) | **$m_P$** (kg/h) | **$m_{PA}$** (kg/h) |
|---|---|---|---|---|
| Recuento | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Promedio | 693,1 | 145,4 | 175,8 | 35,88 |
| Coeficiente de variación (%) | 4,65 | 9,38 | 3,28 | 3,21 |

$m_P$: Masa pérdida por no condensación. $m_{PA}$: Masa pérdida de alcohol por no condensación

Los resultados demuestran que existe una disminución de más de un 25 % de la masa de condensado y de más de un 24 % par la masa de alcohol. Las pérdidas con respecto al condensado que entra al sistema son de 4,6 % que demuestra la efectividad de la modificación propuesta.

**Análisis económico**

Se realiza un análisis económico (6) en base a la disminución de las pérdidas de alcohol por no condensación. Para los cálculos se utilizó como precio costo de producción por litro (L) igual a 12,74 CUP y el precio del producto obtenido es 29,55 CUP por cada litro (L); datos lo facilita por la empresa. Los resultados se muestran en la tabla 11.

**Tabla 13.** Resultados económicos

| | **Pérdidas de alcohol (L/h)** | **Costo de producción (CUP/L)** | **Pérdidas económicas (CUP/h)** |
|---|---|---|---|
| **Antes** | 198 | 12,74 | 2522,2 |
| **Después** | 2,46 | 12,74 | 31,34 |

Como se puede observar en la tabla anterior, antes de la instalación del condensador parcial por cada hora de trabajo se pierde como promedio 2522,2 CUP; por lo que la afectación económica a la empresa es considerable. Luego de realizada la modificación tecnológica en el sistema de condensación disminuyen las pérdidas de alcohol y por ende las pérdidas económicas también favoreciendo las ganancias a la

empresa puesto que por cada hora de producción se tiene como pérdida económica 31,34 CUP, valor que representa el 1,24 % de la pérdida anterior.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró que la causa directa de las pérdidas de alcohol en la condensación de los vapores de tope de la columna depuradora es la menor área de transferencia de calor (42,5 $m^2$) que la necesaria (73,11 $m^2$). Se propuso la instalación de un nuevo intercambiador de calor el cual de 40 $m^2$ de área de transferencia. Se realizó la simulación en Aspen Plus v10.0 del sistema en estudio el cuál fue comprobado con cálculo manuales y validados con datos reales obteniéndose en ambos casos errores menores al 5 %. Se demostró que la instalación del intercambiador de calor ofrecía beneficios al aumentar la alimentación al proceso por encima a los 3500 L/h y disminuir las pérdidas por debajo del 5 %. El análisis económico brindó que las pérdidas económicas desde 2522,20 CUP en cada hora de producción de alcohol a perder solo 31,34 CUP logrando aumentar las ganancias en la empresa.

.

## REFERENCIAS

1. López, A. F. (2013). *Estudio sobre alternativa de mejoras tecnologicas en la destileria ALFIC S.A.* Universisdad Central "Marta Abreu" de las Villas.
2. Borrego Barrionuevo S. Propuestas de mejoras en la columna de rectificación de alcohol de la Ronera Santa Cruz del Norte. Trabajo de diploma. Habana, Cuba: Universidad politécnica "José A. Echeverría" de La Habana; 2024
3. Morales, V. M. E. R. W. J. (2009). *Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico.* Universidad de El Salvador.
4. Carvalho, Nuno. "Modelización y simulación de una columna de destilación utilizando nuevos modelos predictivos ". Director: Díaz Ismael. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2017.
5. Haydary, J. Chemical process design and simulation: Aspen Plus and Aspen Hysys applications. First ed. American Institute of Chemical Engineers I, editor. USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2019
6. González Pérez S. **Evaluación técnico – económica de la columna de rectificación de alcohol.** Trabajo de diploma. Habana, Cuba: Universidad politécnica "José A. Echeverría" de La Habana; 2023.

## SOBRE LOS AUTORES

**Rolando González Señan** es ingeniero industrial graduado en el 2015, en la Universidad Agraria de la Habana. Ha laborado en la Ronera Santa Cruz donde a desempeñado en diferentes funciones. En actualidad ocupa la responsabilidad de director adjunto de dicha entidad.

**Ana Lura Galbán Díaz es** químico graduada ene la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); Trabaja en la Ronera Santa Cruz en el área de tecnología como adiestrada

**Guido Riera González** es ingeniero químico de la Universidad tecnológica de la Habana **"**José Antonio Echeverría" (Cujae); es profesor de ingeniería química con 34 años de experiencia y Doctor de ciencias desde el año 1996. Se desempeña como jefe del grupo de investigación de ingeniería alimentaria

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DEL PRECALENTAMIENTO DE LA ALIMENTACIÓN A LA COLUMNA DESTILADORA EN RONERA SANTA CRUZ

**Marí Fernández Aguila[1, 2], Hansel Riera Suárez[1], Guido Riera González[2]**

[1]UEB Ronera Santa Cruz del Norte [2]Universidad tecnológica de la Habana (CUJAE),
e -mail: mfernandez: mfernandez@ronstacruz.co.cu
e-mail: guido@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El proceso de fabricación de rones consta de diferentes etapas, de las cuales forman parte la fermentación y la destilación. De la fermentación se obtiene como producto un vino fermentado (batición) que luego pasa a ser destilado y se obtiene como residual por el fondo de la columna el mosto (vinaza). Esta batición debe ser alimentada a la columna destiladora a 80 ºC, para finalmente obtener aguardiente. El mosto es descargado a una zanja y transportado hacia el mar. En la actualidad en la Unidad Empresarial Básica (UEB) Destilería de la Ronera Santa Cruz debido al mal estado del calientavinos por los años de explotación, la temperatura de precalentamiento del vino fermentado para alimentar la columna destiladora, se encuentra muy por debajo de la requerida por diseño. Para darle solución a este problema se pensaron diferentes alternativas encontrándose como la más viable en el momento actual, el montaje de dos intercambiadores de calor de tubos y coraza ya existentes. En estos intercambiadores se emplearía como fluido de calentamiento el mosto al cual es imprescindible bajarle la temperatura antes de ser vertido a la zanja y evitar de esa forma daños al medio ambiente y también se calentaría agua de alimentación a calderas lo cual también trae beneficios económicos. El objetivo del presente trabajo es evaluar esta alternativa mediante simulación.

**PALABRAS CLAVES:** Vinaza, mosto, simulación, intercambiador de calor

# STUDY OF THE PREHEATING OF THE FEED TO THE DESTILLERATION COLUMN TO RUM FACTORY SANTA CRUZ

**ABSTRACT**

The rum manufactory process consists of different stages, of which fermentation and distillation are part. From the fermentation, a fermented wine is obtained as a product (beating) which is then distilled and the residual must (vinasse) is obtained as residual at the bottom of the column. This mixture must be fed to the distillation column at 80 °C, to finally obtain eau-de-vie. The must is discharged into a ditch and transported to the sea. Currently, in the Basic Business Unit (BBU) of the Rum Factory Santa Cruz Distillery, due to the poor condition of the wine heater due to the years of exploitation, the preheating temperature of the fermented wine to feed the distillation column is well below that required by design. In order to solve this problem, different alternatives were thought of, the most viable at the present time being the assembly of two existing shell and tube heat exchangers. In these exchangers, the must would be used as a heating fluid, the temperature of which must be lowered before being poured into the ditch and thus avoid environmental damage, and feed water to the boilers would also be heated, which also brings economic benefits. The objective of this work is to evaluate this alternative by means of simulation.

**KEY WORDS:** Vinasse, must, simulation, heat exchanger

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de alcohol a partir de las melazas (miel B o miel final, como también se le conoce) en la industria abarca dos aspectos básicos: uno la fermentación, la cual parte de las características que tienen algunos microorganismos de desintegrar azúcares y generar como residuo alcohol etílico, anhídrido carbónico y otros productos secundarios; y el otro la destilación, etapa en la que el alcohol es separado de la mezcla fermentada. El proceso de producción de alcohol abarca de forma general tres grandes etapas: preparación del mosto, fermentación y destilación-rectificación [1], [2].

La fermentación es una etapa principal del proceso pues en ella es donde se logra el alcohol deseado, por tanto, el logro del rendimiento en esta etapa es de gran importancia, es el aspecto en que se debe realizar mayor énfasis. Esto se logra a través de un conjunto de parámetros que van desde la propia preparación de la materia prima hasta el vital punto del cultivo del microorganismo, que será el encargado de la conversión de los azúcares en etanol [3].

La destilación es la operación unitaria más importante en el proceso de obtención de alcohol etílico, fundamentalmente para la separación de la inmensa cantidad de componentes que acompañan la mezcla obtenida en la fermentación y obtener un líquido lo más homogéneo y con el mayor nivel de pureza posible, lo cual es independiente de la forma en que se lleva a cabo la fermentación. Los tipos y calidades de alcohol dependen de las características y ordenamiento de los equipos de destilación denominados sistemas, según los cuales se puede obtener desde alcohol crudo hasta alcoholes extra refinados [4].

En Cuba la mayor utilización de alcohol es en la industria farmacéutica y alimentaria. El empleo del alcohol para estas actividades impone normas de calidad muy rigurosas, por lo que el control de la calidad de los insumos y los alcoholes finales toma especial relevancia. Para obtener alcoholes competitivos en el mercado mundial hay que tener un control exigente sobre los parámetros de producción [5].

El sistema de destilación de aguardiente de la Ronera Santa Cruz del Norte se compone de una columna destiladora, un calientavinos (compuesto por dos intercambiadores de calor), tres condensadores y un sistema de eyectores-tanque expansor. El transcurrir de los años, el trabajo diario y las limpiezas químicas que se realizan en el sistema semestralmente, han provocado que el estado actual del calientavinos; que presenta incrustaciones y tubos ponchados, sea tanto que no garantiza la temperatura de precalentamiento requerida del vino fermentado antes de ser alimentada a la columna destiladora de aguardiente [6]. Al principio el sistema garantizaba una temperatura de alimentación en la batición de 80 ºC, actualmente solo alcanza los 52 ºC, provocando mayor consumo de vapor por parte de la columna para alcanzar el cambio de fase de los componentes volátiles presentes en el vino fermentado.

El presente trabajo centra su objetivo en evaluar el empleo de dos intercambiadores de calor como modificación tecnológica para elevar la temperatura del precalentamiento del vino fermentado (batición) que alimenta a la columna destiladora de aguardiente y disminuir la temperatura del mosto que se vierte al mar.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del proceso

El estudio se realiza en los dos intercambiadores de calor (IC) instalados en el lado este del área de destilación cercanos a la columna destiladora, ambos equipos presentan las mismas características técnicas las cuales se presentan en la tabla 1.

Los intercambiadores de calor se encuentran instalados en serie. El fluido caliente que se empleará es el mosto (vinaza) para disminuir su temperatura antes de que se vierte al mar, haciéndolo menos agresivo al medio ambiente y cumplir con la Norma Cubana NC 521:2007 [7] y los fluidos fríos son agua de alimentar las calderas de vapor que al aumentar su temperatura se garantiza, y el vino fermentado para

elevar su temperatura antes de entrar a la torre de destilación. Por la coraza circula el fluido caliente y por los tubos los fluidos fríos.

**Tabla 1.** Datos técnicos de los intercambiadores de calor

| Parámetros | IC 1-2 | Parámetros | IC 1-2 |
|---|---|---|---|
| Superficie del intercambio de calor ($m^2$) | 93,42 | Disposición de los tubos | Arreglo en cuadro |
| Longitud de tubos (mm) | 5960 | Espaciado de los tubos (mm) | 99 |
| Diámetro externo de tubos (mm) | 78 | Material de los tubos | Cobre |
| Diámetro interno de tubos (mm) | 74 | Material de la coraza | Cobre |
| Espesor de los tubos (mm) | 2 | Largo del intercambiador (mm) | 6000 |
| Número de tubos (-) | 64 | Número de pases por la coraza | 1 |
| Diámetro del intercambiador (mm) | 1000 | Número de pases por los tubos | 8 |

En la tabla 2 se presentan las características de los fluidos que circulan por la coraza y por los tubos en cada condensador.

**Tabla 2** Características y propiedades físicas en el primer condensador (parcial)

| | Fluido frío | | Fluido caliente |
|---|---|---|---|
| **Variable** | **Agua** | **Batición** | **Mosto** |
| Flujo másico (kg/h) | 1700-1790 | 30000-35000 | 42600 |
| Temperatura de entrada (ºC) | 25-30 | 29-34 | 90-92 |
| Temperatura de salida (ºC) | 60-69 | 61-64 | 50-78 |

Los cálculos primarios se realizaron mediante balances de masa y energía, cuyas ecuaciones se presentan a continuación [8].

Los balances de masa para flujo total como por componentes se basaron en que el proceso se encuentra en estado estacionario, por lo que toda la masa que entra es igual a la que sale.

$$m_{entra} = m_{sale} \quad (1)$$

**Balance de energía**

Para el balance de energía se emplearon las siguientes ecuaciones [9], [10]:
Para el cálculo del calor que es capaz de transferir el intercambiador de calor se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Q = U * A * MLDT \quad (2)$$

Donde:
$Q$: Calor intercambiado (kJ/h)
$U$: Coeficiente global de transferencia de calor ($kJ/m^2h°C$)
$A$: Área de transferencia de calor ($m^2$)
$MLDT$: Media logarítmica de la diferencia de temperatura

Para ello se necesitaba conocer el área de transferencia de calor la cual es calculada haciendo uso de la ecuación (3).

$$A = \pi * d * L * Nt \quad (3)$$

Donde:
$A$: Área de transferencia de calor ($m^2$)
$L$: Longitud de los tubos (m)
$d$: Diámetro de los tubos (m)
$Nt$: Número de tubos

Para calcular el calor sensible se hace uso de la ecuación (4).

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (4)$$

Donde:
$Q$: Flujo de calor sensible (kJ/h)
$Cp$: Capacidad calorífica específica (kJ/kg °C)
$m$: Flujo (kg/h)
$\Delta T$: Diferencia de temperatura (°C)

Haciendo uso de la ecuación (5) se obtiene el calor total que transfiere el intercambiador de calor bajo estas condiciones:

$$Q_{Total} = Q * pérdidas \quad (5)$$

Para la solución de estas ecuaciones se empleó el Microsoft Excel.

En el estudio se analizaron dos variantes haciendo 10 corridas de cada variante. A continuación, se describen las variantes.

Variantes 1: Esta variante se denomina AB. En ella en el primer intercambiador se alimenta por los tubos agua y por la coraza el mosto. En el segundo intercambiador por los tubos se hace pasar la batición y por la coraza continúa el mosto.

Variante 2: Se denomina BA. En ella se intercambia el orden de los fluidos fríos, en el primer intercambiador se alimenta por los tubos la batición y por la coraza el mosto. En el segundo intercambiador por los tubos se hace pasar agua y por la coraza continúa el mosto.

La simulación, desde el punto de vista de la ingeniería química, es la solución de las ecuaciones de balance de materia y energía para procesos químicos en estado estacionario o dinámico, así como del dimensionamiento de los equipos involucrados en un proceso. La simulación de procesos conlleva la solución mediante software de los modelos que describen los procesos químicos, físicos, biológicos, así como otros procesos técnicos y operaciones unitarias [11]. La modelación del intercambiador de calor se realizó en el simulador Aspen Plus v10.0 [12].

**Herramientas de la simulación**

Para la conformación del modelo de simulación se realizó la selección de los módulos de cálculos que representan las operaciones involucradas en el proceso. En la tabla 3 se describe el módulo empleado en la simulación.

**Tabla 3.** Descripción del módulo de cálculo utilizado para la simulación del intercambiador

| Nombre del módulo | Módulo | Identificación | Descripción |
|---|---|---|---|
| **Heat Exchange** |  | Intercambiador | Modela el intercambio de calor entre las dos corrientes |

**Simulación del intercambiador de calor**

Para la simulación del intercambiador de calor se empleó el módulo *Heat Exchange*. Con este módulo se logró simular el proceso. En la figura 1 se muestra el modelo de simulación para la primera variante (AB) y en la figura 2 se muestra el modelo de simulación para la segunda variante (BA).

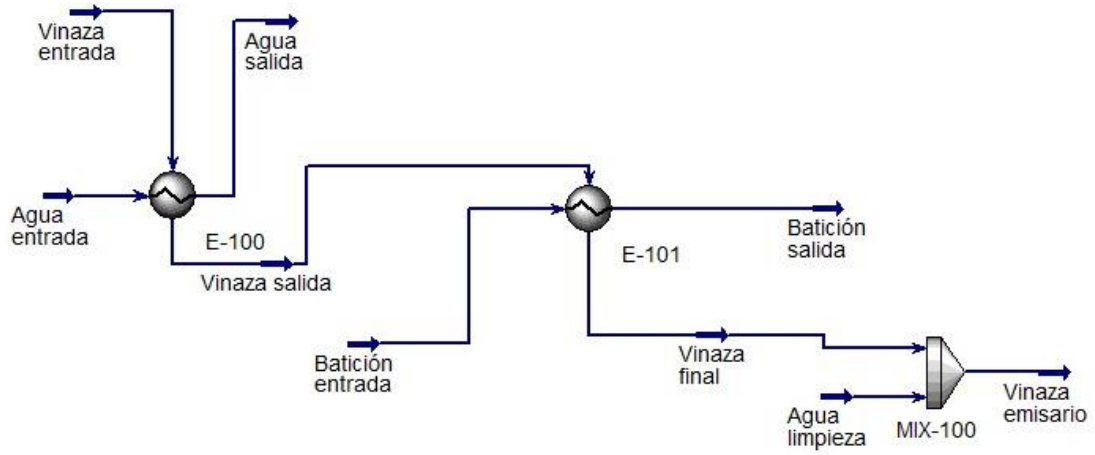



**Fig 1.** Modelo de simulación obtenido para la variante 1

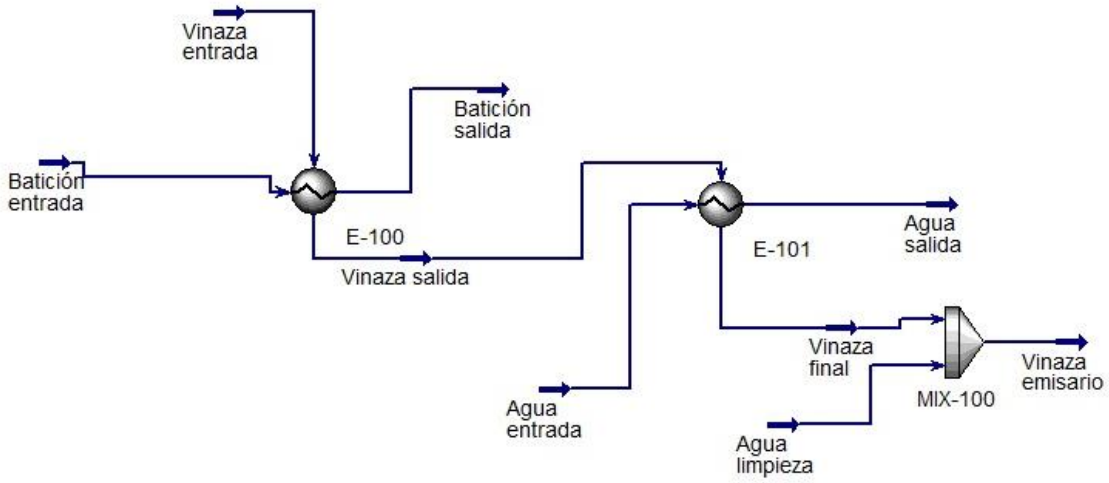



**Fig 2.** Modelo de simulación obtenido para la variante 2

**Validación de los modelos de simulación**

La validación de los modelos de simulación es una etapa de gran importancia para comprobar la certeza de los resultados obtenidos. En el presente trabajo se comparó los resultados obtenidos mediante el simulador Aspen Hysys v10.0 con datos reales, se determinó el error relativo para conocer en qué medida son diferentes los valores comparados.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente, se realiza una comparación entre cálculos manuales y los resultados obtenidos de la simulación para comprobar si el modelo se ajusta a los balances de masa y energía. Para ello se tomaron 5 juegos de datos. Los resultados se presentan en la tabla 4 tomándose como referencia la temperatura de salida del agua en el primer intercambiador y la temperatura de salida de la batición y del mosto en el segundo intercambiador.

**Tabla 4.** Comparación de la masa de vapor entre cálculos manuales y simulación

| IC 1 | | | IC 2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura de salida del agua (ºC) | | | Temperatura de salida de la batición (ºC)) | | | Temperatura del mosto (ºC)) | | |
| Manuales | Simulación | ER % | Manuales | Simulación | ER % | Manuales | Simulación | ER % |
| 65,00 | 64,65 | 0,54 | 60,20 | 60,56 | -0,60 | 50,00 | 50,36 | -0,72 |
| 66,00 | 65,70 | 0,45 | 60,00 | 60,48 | -0,80 | 50,00 | 50,48 | -0,96 |
| 67,00 | 66,90 | 0,15 | 59,30 | 59,85 | -0,93 | 51,00 | 51,48 | -0,94 |
| 68,00 | 67,68 | 0,47 | 60,50 | 60,85 | -0,58 | 52,00 | 52,35 | -0,67 |
| 69,00 | 68,84 | 0,23 | 59,40 | 59,93 | -0,89 | 50,00 | 50,48 | -0,96 |

Como se puede ver en la tabla 4 el error relativo en todos los casos es menor al 1 %, por lo que demuestra que la simulación describe correctamente el proceso de intercambio de calor en el proceso bajo estudio.

### Validación del modelo de simulación

La validación del modelo de simulación se realizó a partir de la comparación de los resultados de la simulación con los datos reales de la planta. Para aceptar un modelo como válido el error de validación debe ser menor del 5 %.

Para la validación del modelo de simulación se emplearon 10 corridas. En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en la simulación de los dos intercambiadores de calor para las mismas variables comparadas en los cálculos manuales.

**Tabla 5.** Comparación de los resultados para la validación de la simulación

| IC 1 | | | IC 2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura de salida del agua (ºC) | | | Temperatura de salida de la batición (ºC)) | | | Temperatura del mosto (ºC)) | | |
| Reales | Simulación | ER % | Manuales | Simulación | ER % | Reales | Simulación | ER % |
| 65,10 | 64,65 | 0,69 | 60,30 | 60,56 | -0,43 | 50,20 | 50,36 | -0,32 |
| 66,20 | 65,70 | 0,76 | 60,20 | 60,48 | -0,47 | 50,20 | 50,48 | -0,56 |
| 67,40 | 66,90 | 0,74 | 59,40 | 59,85 | -0,76 | 51,30 | 51,48 | -0,35 |
| 68,20 | 67,68 | 0,76 | 60,40 | 60,85 | -0,75 | 52,10 | 52,35 | -0,48 |
| 69,30 | 68,84 | 0,66 | 59,40 | 59,93 | -0,89 | 50,20 | 50,48 | -0,56 |
| 60,00 | 59,86 | 0,23 | 59,20 | 59,64 | -0,74 | 50,20 | 50,35 | -0,30 |
| 61,00 | 60,75 | 0,41 | 60,00 | 60,51 | -0,85 | 50,10 | 50,35 | -0,50 |
| 62,00 | 61,78 | 0,35 | 60,20 | 60,46 | -0,43 | 50,00 | 50,26 | -0,52 |
| 63,00 | 62,83 | 0,27 | 60,40 | 60,59 | -0,31 | 50,30 | 50,42 | -0,24 |
| 64,00 | 63,79 | 0,33 | 60,10 | 60,30 | -0,33 | 50,10 | 50,32 | -0,44 |

A partir de esta comparación se concluye que el modelo de simulación obtenido queda validado con un error relativo menor al 1 % para todas las variables analizadas.

Con los resultados obtenidos anteriormente se simularon ambas variantes comparando los resultados obtenidos en cada caso. Se toman para la comparación 15 corridas. La comparación se continúa realizando con las mismas variables analizadas en los casos anteriores.

Primeramente, se analizará la temperatura de salida del agua que en la variante AB es del primer intercambiador y en la variante BA es del segundo intercambiador. Los resultados se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Comparación en la temperatura de salida del agua

| | **Temperatura (°C)** | |
|---|---|---|
| | **Variante AB** | **Variante BA** |
| Muestras | 15 | 15 |
| Promedio | 69,82 | 60,54 |
| Coeficiente de variación | 0,63 % | 0,69 % |

En la tabla anterior se observa que el coeficiente de variación se mantiene por debajo de un 1 %, demostrando poca variabilidad en los cálculos realizados. La temperatura de salida del agua para la variante AB es de 69,82 ºC, superior a la variante BA que es de 60,54 ºC, resultado esperado ya que en la primera variante el agua intercambia con el mosto con una temperatura superior a la de la segunda variante. En ambos casos el resultado es positivo ya que permite disminuir los consumos en el área de generación de vapor al alimentarse el agua 30 ºC por encima de lo habitual.

**Tabla 7.** Comparación en la temperatura de salida de la batición

| | **Temperatura (°C)** | |
|---|---|---|
| | **Variante AB** | **Variante BA** |
| Muestras | 15 | 15 |
| Promedio | 65,88 | 69,95 |
| Coeficiente de variación | 0,62 % | 0,55 % |

Los resultados demuestran que en la variante AB en la batición para ser alimentada a la columna destiladora, aún no se logran los 80 °C requeridos por diseño, pero sí se alcanza aumentar en más de 15 °C la temperatura con la que se trabaja en la actualidad (50 °C). En ambos casos se logra un aumento, pero los mejores resultados se alcanzan en la variante AB. Su coeficiente de variación es menor al 1 % demostrando la confiabilidad de los cálculos.

Por último, en la tabla 8 se presentan los resultados de la comparación la temperatura de salida del primer intercambiador del mosto entre ambas variantes. La temperatura final del mosto para la simulación se fijó en 50 °C.

**Tabla 8.** Comparación en la temperatura de salida del mosto

| | Temperatura (°C) | |
|---|---|---|
| | **Variante AB** | **Variante BA** |
| Muestras | 15 | 15 |
| Promedio | 71,75 | 61,18 |
| Coeficiente de variación | 0,53 % | 0,58 % |

En la tabla 9 se presenta información sobre los flujos y temperaturas de los fluidos que se calientan en el primer intercambiador en cada variante.

**Tabla 9.** Comparación entre los fluidos que absorben calor en el intercambiador 1

| | **Variante AB** | **Variante BA** |
|---|---|---|
| | **agua** | **batición** |
| Flujo (kg/h) | 18000 | 34000 |
| Temperatura de entrada (°C) | 34 | 34 |
| Temperatura de entrada (°C) | 71,75 | 69,95 |

Los resultados de la tabla 8 demuestran que en ambos casos hay poca variabilidad en los resultados al presentar coeficientes de variación menores al 1 %. También se observa que hay una diferencia de más de 10 °C en la temperatura de salida del mosto, fluido que cede calor, debido a que, como se observa en la tabla 9 el flujo de batición es 1,88 veces superior al flujo de agua.

Existe diferencia en la temperatura de salida en cada variante y está en correspondencia con los flujos de los fluidos que se calientan en ambos casos como se muestra en la tabla 9.

También se comprobó que la variante BA es la que en conjunto ofrece mejores resultados en el área, al lograr elevar la temperatura de la batición hasta 69,95 °C y el mosto salir a 49,75 °C.

## 4. CONCLUSIONES

Se obtuvo el esquema de simulación del sistema de intercambiadores de calor utilizando el simulador comercial Aspen Plus v10.0, para su uso en el análisis de alternativas en el proceso de precalentamiento de la batición. Para la simulación del intercambiador de calor se empleó el módulo *Heat Exchange*. Con este módulo se logró simular el proceso. Primeramente, fue comprobado con cálculos manuales y posteriormente validado con datos reales obteniéndose en ambos casos errores menores al 1 %. Se demostró que en ambas variantes se logra aumentar la temperatura de la batición (variante AB 65,88 °C; variante BA 69,95 °C) antes de ser alimentada a la columna destiladora y del agua de alimentación a calderas (variante AB 71,75 °C; variante BA 60,54 °C) y a su vez, disminuir la temperatura del mosto a 49,75 °C en ambas variantes, disminuyendo de esa forma el impacto en el medio ambiente.

## 5. REFERENCIAS

1. SANTORIN, A. “Destilación y conceptos”. Destilación del Bioetanol a partir de la caña de azúcar, La Habana, Cuba, 2015.
2. DONAIRES, Lucía. “Fermentación del mosto de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con uso de catalizadores naturales y comerciales para obtener aguardiente”. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Pachachaca – Abancay-, 2018.
3. LÓPEZ, A. F. “Estudio sobre alternativa de mejoras tecnológicas en la destilería ALFIC S.A.”. Universisdad Central Marta Abreu, Villa Clara, Cuba, 2013.

4. PÉREZ, O. et al. “Simplificaciones en el cálculo de columnas de destilación alcohólica”. *Información Tecnológica*, 2010, vol 21, núm 6, pp: 103-112.
5. RIERA, Hansel. “Evaluación del sistema de precalentamiento de la batición para alimentar a la columna destiladora de aguardiente”. Tesis de diploma. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2023.
6. RODRÍGUEZ, Z.. “Nuevo calientavinos para el sistema de producción de aguardiente”. Tesis de diploma. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2012. Recuperado 5 de julio de 2024, a partir: http://tesis.cujae.edu.cu/ bitstream/handle/123456789/3951/rodriguez_cabrera_ zuanchyt.pdf
7. ININ/Oficina Nacional de Normalización. “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-especificaciones”. NC 521:2007. ICS: 13.060.30, pp: 1-15, La Habana, Cuba.
8. BORREGO, S. “Propuestas de mejoras en la columna de rectificación de alcohol de la Ronera Santa Cruz del Norte”. Tesis de diploma. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2024.
9. MORALES, V. et al. “Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico. Tesis de maestría. Universidad de El Salvador, 2009.
10. GONZÁLEZ, S. “Evaluación técnico – económica de la columna de rectificación de alcohol”. Tesis de diploma. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2023.
11. CARVALHO, Nuno. "Modelización y simulación de una columna de destilación utilizando nuevos modelos predictivos". Director: Díaz Ismael. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2017.
12. GONZÁLEZ C, GONZÁLEZ M. “Simulación de procesos en ASPEN HYSYS®”. Curso electivo. In: UN Cuyo, editor. Mendoza, Argentina, 2010. p. 77.

## 6. SOBRE LOS AUTORES

**Marí Fernández Aguila** es ingeniera química de la Universidad tecnológica de la Habana **“**José Antonio Echeverría” (CUJAE); trabaja como directora de la UEB Destilería en la Ronera Santa Cruz con 7 años de experiencia y optando por la categoría de Máster en Ciencias.

**Guido Riera González** es ingeniero químico de la Universidad tecnológica de la Habana **“**José Antonio Echeverría” (CUJAE); es profesor de ingeniería química con 34 años de experiencia y Doctor de ciencias desde el año 1996. Se desempeña como jefe del grupo de investigación de ingeniería alimentaria

**Hansel Riera Suárez** es ingeniero químico de la Universidad tecnológica de la Habana **“**José Antonio Echeverría” (C); trabaja en la Ronera Santa Cruz, se encuentra en período de adiestramiento, desempeñando funciones en la UEB Naves y Tonelería.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA PARA LA CAPACITACION DE OPERARIOS DE DESTILERIAS DE ETANOL HIDRATADO

**Johanna Garcés Cremé[1], Ayanna Pérez Espinosa[2], Gil Cruz Lemus[3], Osney Pérez Ones[4], Gustavo Saura Laria[5], Arletis Cruz Llerena[6]**

[1,2,3,4]*Grupo de Análisis de Procesos; Facultad de Ingeniería Química; Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae); Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba,* [5,6]*Departamento de Bioingeniería; Dirección de Biotecnología; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) Vía Blanca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba*.

[1]e-mail: jgarces@quimica.cujae.edu.cu, [2]e-mail: ayanna@quimica.cujae.edu.cu, [3]e-mail: gil@tesla.cujae.edu.cu, [4]e-mail: osney@quimica.cujae.edu.cu, [5]e-mail: gustavo.saura@icidca.azcuba.cu, [6]e-mail: arletis.cruz@icidca.azcuba.cu,

**RESUMEN**

La industria alcoholera de un país juega un rol sumamente importante dentro de la economía. En Cuba, esta industria se caracteriza por su trabajo ininterrumpido, su personal que cambia con frecuencia y no existen suficientes especialistas para su capacitación. Debido a estas características, resulta casi imposible lograr un entrenamiento presencial de los operadores, lo que provoca que no todos posean el mismo nivel de conocimiento y, por ende, no todos puedan responder con rapidez y calidad suficiente cuando ocurre una situación crítica en el proceso. En el trabajo se presenta un sistema enmarcado en la rama de software educativo para entrenar a operadores de procesos tecnológicos en la industria alcoholera. El sistema tiene como objetivo evaluar las decisiones que toman los operarios ante diferentes situaciones críticas y brindar al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se van superando los operarios. Se realizaron varias corridas de pruebas en la etapa de entrenamiento, en las que se evaluaron los estados de 84 variables, 40 causas y 43 recomendaciones, y se comprobó que, cuándo el sistema identificó la respuesta del usuario de forma correcta o incorrecta, coincidió con lo que aparece en los árboles de inferencia. Este proyecto está vinculado con la ejecución de un sistema de entrenamiento de operadores y un sistema para gestionar bases de conocimiento para la industria alimentaria, los cuales pueden utilizarse en cualquier otro caso siempre que posean similitudes entre sí.

**PALABRAS CLAVES:** industria alcoholera, sistema de entrenamiento, procesos tecnológicos, motor de inferencia, sistemas expertos.

# SYSTEM FOR THE TRAINING OF HYDRATED ETHANOL DISTILLERY OPERATORS

**ABSTRACT**

The alcohol industry plays an extremely important role in a country economy. In Cuba, this industry is characterized by its uninterrupted work, its staff that changes frequently and there are not enough specialists for their training. Due to these characteristics, it is almost impossible to achieve face-to-face training for the operators, which means that not all of them have the same level of knowledge and, therefore, not all of them can respond quickly and with sufficient quality when a critical situation occurs in the process. The work presents a system framed in the branch of educational software to train operators of technological processes in the alcohol industry. Its objective is to evaluate the decisions made by operators in different critical situations and provide the main technologist of a process with the results of the evaluation and how operators are being capacitated. Several test runs were carried out in the training stage, in which the states of 84 variables, 40 causes and 43 recommendations were evaluated, and it was verified that when the system identified the user's response correctly or incorrectly, it coincided with what appears in inference trees. This project is linked to the execution of an operator training system and a

system to manage knowledge bases for the food industry, which can be used in any other case as long as they are similar to each other.

**KEY WORDS:** alcohol industry, training system, technological processes, inference engine, expert systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El grupo AZCUBA destaca en la producción de etanol hidratado a partir de derivados de la caña. En sus destilerías se trabaja de forma continua, sin embargo, el personal que las opera es inestable. La capacitación del personal nuevo es responsabilidad del experto, ya que debe ser entrenado de acuerdo a la actividad que desempeñará.

Además, también afecta la falta de preparación técnica de los trabajadores, al no contar con cursos tutoriales, ni planes de superación para los operarios, ni se cuenta con suficientes especialistas para la capacitación de los operadores. Por tal motivo, se hace imprescindible acudir al especialista principal del área para tomar decisiones cuando ocurre una situación crítica determinada, pero no siempre están presentes los expertos para su posible solución.

En este trabajo se desarrolla un sistema para entrenar a los operadores de procesos tecnológicos ante diferentes situaciones críticas, permitiéndoles no solo detectar las alteraciones en el proceso e informárselas, sino también capacitarlos para conocer las causas de las mismas y orientar sobre las posibles acciones a realizar para retornar el proceso a la normalidad. Además, permite conocer al operador los resultados de su evaluación en el entrenamiento, así como al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se supera cada uno de los operarios [1].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de los procesos de fermentación alcohólica y destilación de etanol hidratado

En la etapa de fermentación, la miel final de la caña se descarga en una cisterna y antes de ser almacenada en un tanque se pasa primero por un filtro grueso y luego por un filtro más fino. Luego, se precalienta, se pasa a un disolutor con el objetivo de mantener el $^0$Brix entre 15-16 $^0$Brix.

La miel diluida pasa a un tanque cultivador con agitación donde se le añade ácido nítrico para ajustar el pH a 5. En este comienza la fermentación al adicionar el medio de cultivo que contiene los nutrientes, se procede a la esterilización haciendo circular vapor por la chaqueta del tanque hasta alcanzar una temperatura de 30 y 32 $^0$C y a esta temperatura se le introduce la levadura, se monitorea el cultivador hasta dar por terminada esta fase de propagación, cuando el $^0$Brix ha alcanzado un valor entre 6-7 $^0$Brix. De aquí, pasa al pre fermentador, el cual se llena con un flujo continuo de miel diluida, se le adicionan los nutrientes y el inóculo proveniente del cultivador y comienza el siguiente proceso de propagación de la levadura, se mantiene una temperatura entre 30 y 32 $^0$C y se da por terminado cuando el $^0$Brix disminuya a valores entre 6 y 6,5 $^0$Brix.

La biomasa proveniente del pre fermentador se somete a un proceso de fermentación incrementada en el fermentador. Este proceso se considera terminado después de que se han agotado completamente los azúcares fermentables, debiendo obtenerse un porcentaje de etanol en correspondencia con el sustrato adicionado y los azúcares reductores fermentables.

El sistema de destilación de alcohol etílico hidratado se alimenta del tanque de vino proveniente del área de fermentación, el cual pasa por el primer condensador donde intercambia calor con la vinaza proveniente del fondo de la columna destiladora principal. El vino liberado pasa por una columna desgasificadora, para la eliminación de los gases y luego se introduce por el tope a la columna de destilación principal, transformándose ese vino en vinaza. Una vez que el etanol ha sido retirado del vino,

éste sale del tope de la columna destiladora a una concentración del 45-55 % vol. y se denomina a esta mezcla flemas o mezcla hidroalcohólica,

Esta corriente de flema se envía a una segunda columna denominada rectificadora, donde se concentra el etanol y se extraen de platos intermedios, según su punto de ebullición, distintos componentes, lo cual es vital para la obtención del etanol dentro de las normas establecidas.

El vapor alcohólico que abandona el tope de la columna pasa por el pre calentador que intercambia calor con el vino fermentado, por lo que el alcohol se condensa parcialmente. De cada fracción condensada, antes de integrar el reflujo, existe la posibilidad de hacer una extracción de líquido, siendo regulada, lo que permite controlar el grado alcohólico, su acidez, cantidad de ésteres, aldehídos y alcoholes superiores, con el objetivo de buscar la calidad adecuada en el producto final. Todas las extracciones se mezclan y pasan hacia un enfriador vertical de tubos y coraza, pasando posteriormente como producto final hacia los tanques de almacenamiento.

En [2] aparecen las variables de control y sus intervalos normales de operación en la producción de alcohol etílico flema, aguardiente, alcohol etílico rectificado, alcohol etílico fino y alcohol etílico superfino. El estudio de los trabajos [2, 3] permitió conocer cuáles eran las variables que se necesitan controlar y calcular del proceso de producción de etanol hidratado. Para la etapa de fermentación se seleccionaron 29 variables y para la etapa de destilación 55 variables. Estos indicadores sólo deben ser utilizados como reglas para generar el sistema de base de conocimiento.

**Similitudes entre los procesos de elaboración de queso fresco por vía enzimática, el de néctar de naranja-mandarina con el de los procesos de fermentación alcohólica y destilación de etanol hidratado**

Los procesos de fermentación alcohólica y de destilación de etanol hidratado cumplen con las similitudes requeridas que aparecen en [2], lo que permite poder utilizar el sistema para gestionar bases de conocimiento de la industria alimentaria en estos procesos para elaborar las bases de conocimientos.

En los procesos se controla el estado en que se encuentra cada una de las variables. El estado para las variables continuas está entre alto o bajo, para las variables discretas se considera positivo o negativo, y las válvulas entre abierta, normal o cerrada.

En la Fig. 1 se muestra el subárbol de la variable presión en el tanque de la etapa de fermentación del proceso de producción de etanol hidratado y en la Fig. 2 se muestra el subárbol de la variable temperatura del alcohol etílico flema del proceso de producción de alcohol etílico flema, las variables con sus estados de alarma. En cada caso aparecen asociadas las causas y las recomendaciones. En [2, 3] aparecen todos los árboles de inferencia correspondientes a los procesos de fermentación alcohólica y de destilación para la producción de etanol hidratado.

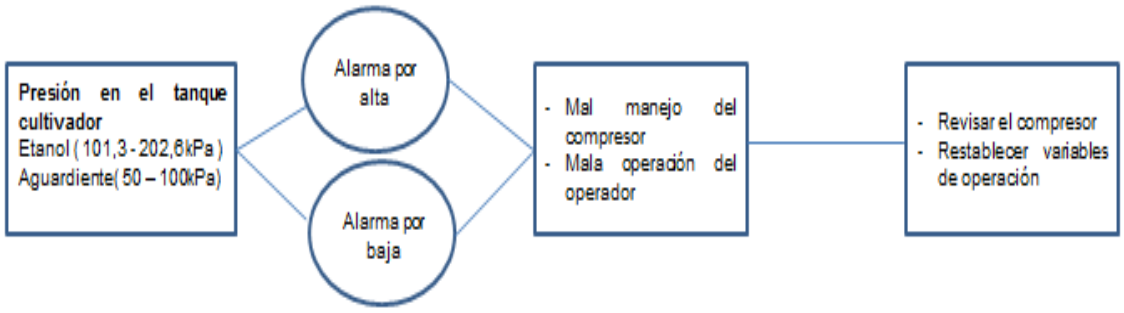



Figura 1: Subárbol de inferencia de la etapa de fermentación del proceso de producción de etanol hidratado




Figura 2: Subárbol de inferencia del proceso de producción de alcohol etílico flema

**Análisis de motores de regla**

Existen varias opciones relacionadas con el software de desarrollo que posibilitan el entrenamiento de los operarios como se refleja en [4, 5]. Se seleccionó un software libre distribuido según los términos de la licencia apache [5]. Ofrece una ejecución de alto rendimiento y un sistema de administración de reglas de negocio, bien equipado para soportar la clasificación del negocio a través de reglas e incluye un complemento para usarse de forma integrada a Eclipse. El mecanismo de inferencia está basado en una versión mejorada del algoritmo ReteOO. Un archivo DRL (a menudo con la extensión. drl) aparece en [4].

**Análisis de las reglas obtenidas en las etapas de fermentación alcohólica y destilación de etanol hidratado**

Se pueden deducir dos tipos de reglas:

1. El estado de la variable tiene asociado una serie de causas (Variable → Causa).
2. La causa tiene asociada sus recomendaciones (Causa → Recomendación).

A partir de la Fig. 2 se pueden obtener tres reglas:

- Si la variable temperatura del alcohol etílico flema está en estado bajo, implica la causa mala operación en la extracción de alcoholes.
- Si la variable temperatura del alcohol etílico flema está en estado alto, implica la causa mala operación en la extracción de alcoholes. (Variable → Causa).
- Si hay mala operación en la extracción de alcoholes implica las recomendaciones, disminuir la extracción de alcoholes y verificar que la extracción se realice en el plato correcto. (Causa → Recomendación).

**Informática educativa y tecnologías utilizadas en el sistema**

La Informática Educativa es una disciplina que estudia el uso, los efectos y las consecuencias de las tecnologías de la información y el proceso educativo. Entre las diferentes ramas de la Informática Educativa se pueden destacar las siguientes: Software Educativo, Internet Educativa y Robótica Educativa.

El sistema elaborado está enmarcado en la rama de Software Educativo, puesto que éste puede tratar diferentes materias de formas muy diversas a partir de cuestionarios, facilitando una información estructurada y ofrecer un entorno de trabajo más o menos rico en posibilidades de interacción.

**Implementación del sistema para entrenar a operadores de procesos tecnológicos en la industria alimentaria**

Las funcionalidades por la que debe operar el experto para llevar a cabo la realización de las bases de conocimiento aparecen en el diagrama de casos de uso del sistema, las cuales se muestran en [1].

El sistema de entrenamiento tiene como objetivo realizar el entrenamiento del operador de un proceso fuera de línea sin la presencia de expertos. Utiliza las reglas de producción como formalismo de producción y el Drools como motor de inferencia [6].

Es el sistema encargado de interactuar con el usuario, que además de gestionar usuarios, procesos y áreas, interactúa también con las bases de conocimientos y el motor de inferencia a la hora de verificar las respuestas dadas por el operario al realizar el examen.

El sistema consta de tres usuarios: administrador, especialista y operario. Las tareas de cada uno se muestran en [3] y en el caso del especialista se encarga de insertar las bases de conocimientos, configurar el entrenamiento y supervisar los resultados obtenidos de los operadores.

Los requisitos de software y de hardware aparecen en [3].

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

**Pruebas funcionales**

Para este software, el nivel de prueba que se utiliza es: pruebas de sistema, consiste en ejecutar el sistema completo, buscando defectos tanto en aspectos generales como en particulares. Se utilizan pruebas basadas en las funcionalidades y el método que se emplea es el de caja negra el cual se lleva a cabo sobre la interfaz del software.

Se realizaron tres experimentos para los casos de pruebas de configuración de entrenamiento en cada caso que incluye el de insertar, modificar y eliminar.

En los casos de prueba para el entrenamiento en la etapa de las causas y para el entrenamiento en la etapa de las recomendaciones, se evaluaron cuatro entrenamientos en cada etapa para cada tipo de preguntas en los diferentes procesos. Para afirmar que las respuestas son correctas en estos últimos dos casos, se estableció una comparación entre las respuestas dadas por el sistema y las respuestas que brinda el motor de reglas (JDrools) y en todos los casos coincidieron los resultados [1].

Posteriormente se cargaron los ficheros de proceso y de reglas generados por el sistema generador de base de conocimientos de cada proceso en el sistema de entrenamiento por el especialista y se seleccionó la forma en que desea evaluar al operario. Para la evaluación se utilizaron los cuatro tipos de preguntas que permite el sistema: verdadero o falso, completar los espacios en blanco, selección múltiple y enlazar. Los resultados se muestran en [2, 3].

Para comprobar la veracidad de los resultados que brinda el sistema de entrenamiento se realizaron varias corridas en cada etapa y en cada de ellas se utilizaron los cuatro tipos de preguntas que permite el sistema para ambos procesos. En el caso particular del proceso de etanol hidratado se realizó para los diferentes tipos de alcohol como son el aguardiente, alcohol etílico rectificado, alcohol etílico flema, alcohol etílico fino y alcohol etílico superfino.

A continuación, se muestran en las figuras 3-6 los resultados de la evaluación de las tres etapas y la evaluación final del operador del proceso de destilación de etanol hidratado.

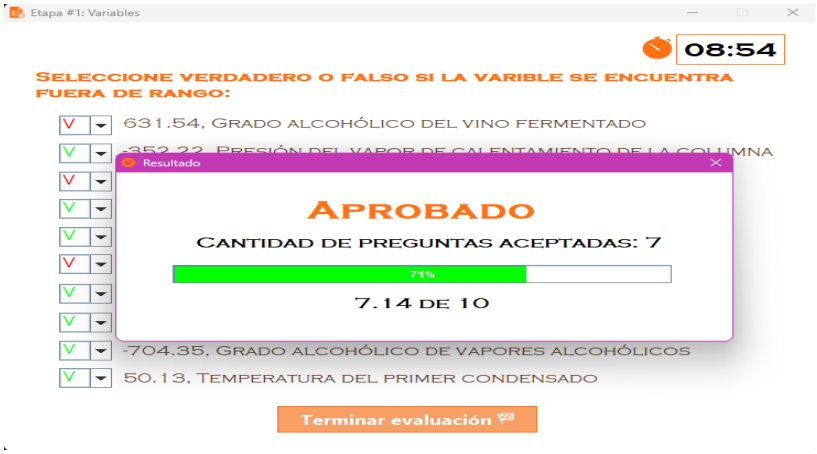



Figura 3: Resultados de la evaluación del entrenamiento en la primera etapa de selección de variables




Figura 4. Resultados de la evaluación del entrenamiento en la segunda etapa de selección de causas



Figura 5: Resultados de la evaluación del entrenamiento en la tercera etapa de selección de recomendaciones




Figura 6: Notas de la evaluación del entrenamiento del operario del proceso de alcohol rectificado

En todos los casos el sistema fue capaz de identificar si el operador respondió de forma correcta o incorrecta en las tres etapas, coincidiendo el resultado con lo que aparece en el árbol de inferencia de los procesos de la etapa de fermentación y de producción de etanol hidratado [2, 3].

## 4. CONCLUSIONES

Se obtuvo una herramienta que sirve para entrenar a los operadores de procesos tecnológicos ante diferentes situaciones críticas. El sistema es capaz de detectar las alteraciones en el proceso y las informa, además que capacita a los operadores para conocer las causas de éstas, y aconsejar las posibles acciones a realizar para retornar el proceso a la normalidad. El sistema brinda al operador los resultados de su evaluación, así como al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se superan cada uno de los operarios. Las pruebas de funcionalidad realizadas al sistema demuestran que éste funciona de manera adecuada respondiendo correctamente ante las situaciones críticas analizadas.

## REFERENCIAS

1. MONTOTO, Mónica. "Sistema para el entrenamiento de operarios en la Industria Alimentaria Cubana". Trabajo de diploma. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba, 2022.
2. GARCÉS, Johanna. "Sistema de entrenamiento para operadores de destilerías del proceso de producción de etanol hidratado". Trabajo de diploma. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"; La Habana, Cuba, 2023.
3. PÉREZ, Ayanna. "Sistema de entrenamiento para operadores de la etapa de fermentación del proceso de producción de alcohol etílico". Trabajo de diploma. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"; La Habana, Cuba, 2023.
4. CRUZ, Gil; SOCORRO, Raisa; RODRÍGUEZ, Ana Mailen. "Sistema para gestionar bases de conocimiento en la industria alimentaria". *Revista Cubana de Ingeniería*, 2018. vol. 9, núm. 2, pp. 2 - 9.
5. RODRÍGUEZ, Ana. "Sistema para gestionar bases de conocimientos en la Industria Alimentaria". Trabajo de diploma. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"; La habana, Cuba, 2017.
6. Drools. Refence manual 2013. [en línea]. [ref. de 17 marzo 2023] Disponible en Web: http://docs.jboss.org/drools/release/6.1.0.Final/droolsdocs/html_single/index.html.

**Sobre los autores**

Ing. Johanna Garcés Cremé: Graduada de Ingeniería Química. Miembro del Grupo de investigación de Análisis de procesos. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE).

Ing. Ayanna Pérez Espinosa: Graduada de Ingeniería Química. Miembro del Grupo de investigación de Análisis de procesos. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE).

Dr. C. Gil Cruz Lemus: Graduado de Ingeniería Química. Profesor Auxiliar en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Máster en Ciencias. Doctor en Ciencias Técnicas. Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado.

Dr. C. Osney Pérez Ones: Graduado de Ingeniería Química. Profesor Auxiliar en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Máster en Ciencias. Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro de la Academia de Ciencias de Cuba. Miembro de la Sociedad Cubana de Química. Miembro del Grupo de investigación de Análisis de procesos.

Ing. Gustavo Saura Laria: Graduado de Ingeniería Química. Investigador Auxiliar en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

M. Sc. Arletis Cruz Llerena: Graduada de Ingeniería Química. Investigador Auxiliar en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Máster en Ciencias. Miembro de la Sociedad Cubana de Química.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# OPTIMIZATION AND EVALUATION OF VEGETABLE OIL HYDROPROCESSING TO GREEN DIESEL PRODUCTION

# OPTIMIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL HIDROPROCESAMIENTO DE ACEITES VEGETALES PARA LA PRODUCCIÓN DE DIÉSEL VERDE

**Sara Regina Osipi[1], Carlos Eduardo Korn Senko[1], Florival Rodrigues de Carvalho[2], Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani[1,*]**

[1]Chemical Engineering Graduate Program, State University of Maringá, Maringá-PR, Brazil

2Chemical Engineering Department, Federal University of Pernambuco, Recife – PE, Brazil

[*]e-mail: massravagnani@uem.br

**ABSTRACT**

The growth of energy demand and industrial expansion has led to an increase in greenhouse gas levels, thereby intensifying global warming. To address decarbonization, various strategies are being developed, such as adopting renewable energy sources and capturing $CO_2$ from major emitters. In Brazil, biodiesel has partially replaced fossil diesel, but its performance limitations have prompted further research into more efficient alternatives. One promising approach is the Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) process, which converts vegetable oils into hydrocarbons similar to fossil fuels. This study aims to simulate and optimize the cost of producing green diesel from vegetable oils through hydroprocessing, using Aspen Plus v.14. Different reactor setups and raw material options, including soybean, palm, and macauba pulp oils, were analyzed. The process optimization was conducted using Particle Swarm Optimization (PSO) to minimize operating costs by balancing utility and raw material expenses with diesel sales revenue. Results showed that palm oil is the most cost-effective option due to its lower price and reduced hydrogen consumption and cold utility.

**KEY WORDS:** Simulation, hydrodeoxygenation, renewable fuels, PSO, optimization.

**RESUMEN**

El crecimiento de la demanda energética y la expansión industrial han provocado un aumento de los niveles de gases de efecto invernadero, intensificando así el calentamiento global. Para abordar la descarbonización, se están desarrollando diversas estrategias, como la adopción de fuentes de energía renovables y la captura de $CO_2$ de los principales emisores. En Brasil, el biodiésel ha sustituido parcialmente al diésel fósil, pero sus limitaciones de rendimiento han impulsado una mayor investigación de alternativas más eficientes. Un enfoque prometedor es el proceso de ésteres hidroprocesados y ácidos grasos (HEFA), que convierte los aceites vegetales en hidrocarburos similares a los combustibles fósiles. Este estudio tiene como objetivo simular y optimizar el costo de producción de diésel verde a partir de aceites vegetales mediante hidroprocesamiento, utilizando Aspen Plus v.14. Se analizaron diferentes configuraciones de reactores y opciones de materias primas, incluidos aceites de de soja, palma y macauba. La optimización del proceso se realizó utilizando la optimización de enjambre de partículas (PSO) para minimizar los costos operativos al equilibrar los gastos de

servicios y materias primas con los ingresos por ventas de diésel. Los resultados mostraron que el aceite de palma es la opción más rentable debido a su menor precio y al menor consumo de hidrógeno y de energía en frío.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación, hidrodesoxigenación, combustibles renovables, PSO, optimización**.**

## 1. INTRODUCTION

In recent years, the growth of energy consumption and industrial development has been increasing greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere, intensifying the greenhouse effect and causing global warming [1]. The effects of warming can already be felt in the rise of the average global temperature compared to the pre-industrial period [2], the increase in sea levels, and the intensification of climatic phenomena [3]. Among GHGs, carbon dioxide ($CO_2$) is the most abundant in the atmosphere, accounting for the largest share of global warming [4]. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), $CO_2$ concentrations in the atmosphere have increased by 47% from the beginning of the Industrial Revolution to 2007 [5].

To mitigate the growth of carbon dioxide concentration in the atmosphere, various alternatives are being studied and implemented, as capturing $CO_2$ near large emitters for injection or utilization and replacing fossil energy sources with renewable ones [6]. In Brazil, there are important renewable ongoing substitutions for gasoline, with ethanol, and biodiesel for fossil diesel. In the last case, however, biodiesel has restrictions regarding performance and stability, making its use limited [7]. Recently, there have been efforts to develop and produce fuel-range hydrocarbons from biomass, in order to obtain drop-in fuels, which possess similar properties to their fossil counterparts [8]. From various processes schemes, the Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) route is one of the most established technologies for producing green fuels [8, 9]. This process involves the catalytic hydrodeoxygenation (HDO) of esters and fatty acids derived from vegetable oils to produce alkanes [9]. In recent years, numerous studies have focused on HDO, exploring aspects such as process simulation, parameter optimization, and economic or environmental impact assessments [10-13]. However, many studies focus on product conversion rather than investigating the kinetics of the reactions involved and their impact on the plant.

Given this background, the purpose of this work is to simulate and optimize the production cost of a green diesel production unit using vegetable oils.

## 2. METHODOLOGY

### Simulation

The simulation of soybean oil hydrodeoxygenation (HDO) was performed in Aspen Plus v. 14. It included the equipment for transport (pumps and compressors), a plugflow reactor and equipment for heat exchange and separation. The key modules and important considerations are summarized in Chart 1. The reaction scheme was based on Manco (2014) [14], who used a NiMo commercial catalyst and considered pseudo-first-order kinetics for saturation, hydrodeoxygenation and decarboxylation reactions. The catalyst characteristics, pressure, temperature range and hydrogen-to-oil ratio were also based on the aforementioned study. Although the study considered reactions for palm oil, the present work also evaluated feeds with different proportions of the tryglicerides listed for the main reactions, using

soybean and macauba pulp oil. Their characteristics are presented in Chart 2. The feed triglycerides flowrate was 1 ton/h, at 25º C and 1 bar. Recovered hydrogen was recycled and sent to a mixer prior to compression, which also received fresh hydrogen at the same conditions of oils.

Chart 1. Simulation modules, premises and conditions

| Aspen Plus Module | Description | Premises | Conditions |
|---|---|---|---|
| PFR | HDO Plug Flow Reactor | Isothermal, pseudo-first-order reactions, diameter = 1 m (Manco, 2014 [14]) | 30 bar < $P_{reaction}$ < 60 bar<br>335º C< $T_{reaction}$ < 365 ºC<br>10 m< $L_{reactor}$ < 30 m |
| MCOMP | Hydrogen compressor | Intercooling | 4 stages<br>30º C < $T_{cooler}$ < 100º C |
| FLASH3 | Triphasic separator | Adiabatic, to separate gases, hydrocarbon and water phases | $P_{reaction}$<br>50º C< $T_{sep}$ < 180 ºC |
| FLASH2 | Biphasic separator | Adiabatic, to separate residual gases and hydrocarbon phases | P = 1,2 bar |
| HEATX | Heat recovery exchanger | Temperature decrease of 150ºC for hot stream | - |
| SEP | Hydrogen separator | $H_2$ recovery of 93% [11] | - |
| PETROFRAC | Product separator | Steam (300ºC, 3 bar) at 60 lb/lb of bottom product | P = 1,2 bar<br>Tcond = 60ºC<br>23 stages |

Chart 2. Vegetable oils characteristics (mass fractions) and prices

| **Component** | **Soybean oil** | **Palm oil** | **Macauba pulp oil** |
|---|---|---|---|
| C12:0 | - | 0.26% | 1.16% |
| C14:0 | - | 1.69% | 0.54% |
| C16:0 | 12.04% | 41.78% | 20.52% |
| C18:0 | 4.00% | 4.69% | 3.56% |
| C18:1 | 25.98% | 42.85% | 61.10% |
| C18:2 | 51.98% | - | 4.03% |
| C18:3 | 6.00% | - | 0.74% |
| **Cost (US$/ton)[1]** | **1045** | **860** | **1200*** |

Sources: [1]Commodities - Index Mundi (2024) [15],*Embrapa (2012) [16] and Nunes *et al.* (2013) [17]

Firstly, sets of different reactors were studied to obtain the most economical configuration, considering default capital and operating costs from Aspen Plus and Aspen Process Economic Analyzer (APEA). Secondly, the best configuration was applied to a complete flowsheet and the total operating cost was optimized. The average price of diesel in Brazil for 2023 was considered [18] as an income, with a 365 day operating schedule.

**Optimization**

The optimization problem is unbounded and consists of minimizing the operating cost, which is the sum of utility and raw material costs, minus the diesel sales revenue. The method used was Particle Swarm Optimization (PSO), with learning and inertia factors of 0.5 and 30 iterations, coded in Python environment. This method is suitable for blackbox problems, such as the one described. The manipulated variables are the ones depicted in ranges in Chart 1, in the column conditions. Their limits were stablished based on the references used for the reaction conditions or assumed from typical values in the flowsheet.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Among the alternatives studied for the reactional system, the simplest and most economical option was the isothermal reactor, since the temperature can rise too much due to the exothermic characteristic of the reactions. Besides, the second best option would be the adiabatic reactor with intermediate cooling. Cost simulations of reactional system, using APEA software, showed capital cost was only 2% of the total annualized cost (interest rate of 12% per year and 20 years investment), considering utilities (electricity, cooling water and hot gases) and raw materials (hydrogen and refined vegetable oil). Vegetable oil represented the majority of the cost, followed by hydrogen and cooling water, as presented in Figure 1.

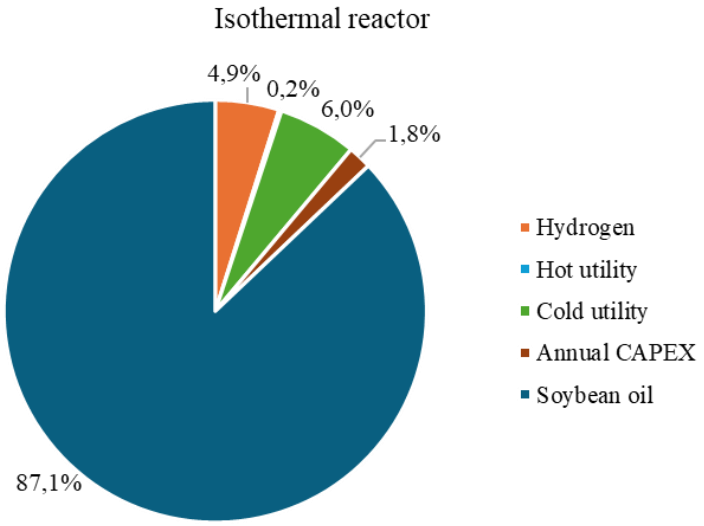



Figure 1. Cost breakdown of isothermal reactional system.

The complete flowsheet considered for optimization is presented in Figure 2.

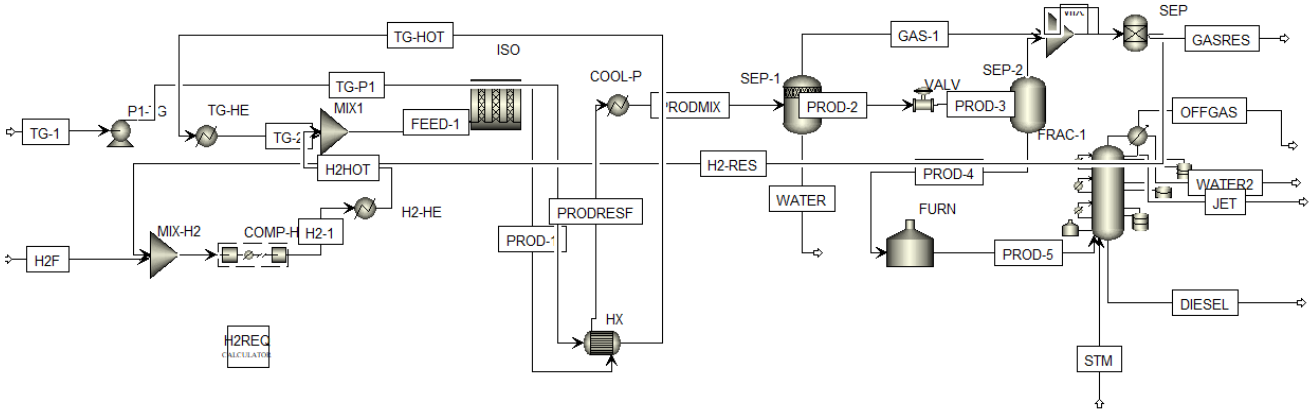



Figure 2. Vegetable oil hydroprocessing flowsheet, developed in Aspen v.14

The results obtained for soybean, palm and macauba pulp oils, with the results presented in Chart 3. The best scenario (Minimal objective function) was the one which used palm oil as a feed, mainly because of the vegetable oil cost, which is the lowest of all three and represents the largest share in operating cost, as discussed above.

Chart 3. Optimization results for soybean, palm and macauba pulp oil

| **Variable** | **Soybean oil** | **Palm oil** | **Macauba pulp oil** |
|---|---|---|---|
| Operating costs (US$/year) | 2.97 | 1.34 | 4.30 |
| Reactor temperature (ºC) | 335.1 | 365.0 | 365.0 |
| Reactor length (m) | 22.6 | 13.1 | 20.2 |
| Comp. cooling temperature (ºC) | 149.6 | 102.6 | 87.7 |
| Sep. cooling temperature (ºC) | 57.1 | 48.8 | 48.1 |
| Reactor pressure (bar) | 50.6 | 49.3 | 46.7 |
| $H_2$ consumption (g/kg oil) | 33.1 | 28.0 | 29.0 |
| Utilities cost ($/h) | 81.0 | 69.6 | 71.0 |

In general, the reaction pressure was similar for all options and mainly had an influence on pump and compressor power and reactor equilibrium factors (hydrogen solubilization in the liquid phase), since the reaction rate did not account for hydrogen pressure or concentration.

The reactor temperature reached the upper limit of the variable for palm and macauba pump oils, but without affecting the rate to the point of making the process unfeasible. The compressor cooling temperature had a tradeoff with electricity consumed in the compressor (lower temperatures decrease gas specific volume and consequently, power) and the need of heating the stream prior to the reactor in heater H2-HE (Figure 2). The separation cooling temperature was similar for all feeds.

It is interesting to note that the hydrogen consumption was the lower for palm oil, that presented the lower concentration of unsaturated tryglicerides, as described in Chart 1. This particularity was one of the contributions to the cost decrease of this scenario compared to the others. Besides, the saturation reactions also contributes in increasing cold utility need, since they are also exothermic, explaining why the utilities cost was also lower for the palm oil case. The palm oil case has the potential to reach the lowest minimum selling price for green diesel simulated in this work.

## 4. CONCLUSIONS

The simulation and optimization of production costs regarding the processing of green diesel from three different vegetable oils was successful, a significant achievement for assessing the economic feasibility of such plants in the future. Considering that each region has its peculiarities and favors the growth of different oilseeds, this work can be expanded to encompass regional differences through the study of other triglyceride sources.

As the acquisition cost of these oilseeds is high, sometimes exceeding the price of the fuels produced, it is worthwhile to consider the application of government subsidies to attract investments in this area. Such subsidies could be similar to those granted during the development of the biodiesel production sector in Brazil.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the funding agencies Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Process 309026/2022-9, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processes 309026/2022-9 and 406544/2023-9.

## REFERENCES

1. MITCHELL, J. F. B. The “greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, v. 27, n. 1, p. 115-139, 1989.

2. NASA. 2023. Available at: <https://climate.nasa.gov/climate_resources/300/video-climate-spiral-1880-2022/>. Acessed on 11/20/2023.

3. MOUSAVI, M. E. *et al.* Global warming and hurricanes: the potential impact of hurricane intensification and sea level rise on coastal flooding. *Climatic Change*, v. 104, p. 575-597, 2011.

4. OLIVIER, J. G. J. *et al*. Trends in global $CO_2$ and total greenhouse gas emissions. *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*, v. 5, p. 1-11, 2017.

5. *World Meteorological Organization.* Intergovernmental panel on climate change, v. 52, 2007.

6. JESWANI, H. K.; CHILVERS, A. and AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of biofuels: a review. *Proceedings of the Royal Society A*, v. 476, n. 2243, p. 20200351, 2020.

7. BRACMORT, K., 2018. The renewable fuel standard (RFS): an overview R43325. Congressional Research Service. Available at: <https://www.everycrsreport.com/files/20200414_R43325_1981cda6b9497b16f7306b81d584cbcf91d4c801.pdf>. Accessed on 11/20/2023.

8. KALNES, T. N., MCCALL, M. M. and SHONNARD, D. R. Renewable diesel and jet-fuel production from fats and oils. In: *Thermochemical conversion of biomass to liquid fuels and chemicals*, pp. 468–495, 2010.

9. KARATZOS, S., VAN DYK, J. S., MCMILLAN, J. D., SADDLER, J., 2017. Drop-in biofuel production via conventional (lipid/fatty acid) and advanced (biomass) routes. Part I. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, vol. 11, no. 2, pp. 344–362.

10. SILVA, G.C.R., de ANDRADE, M.H.C. Simulation of deoxygenation of vegetable oils for diesel-like fuel production in continuous reactor. Biomass Conv. Bioref. 13, 1843–1857 (2023).

11. CAVALCANTI, C. J., RAVAGNANI, M. A., STRAGEVITCH, L., CARVALHO, F. R., PIMENTEL, M. F., 2022. Simulation of the soybean oil hydrotreating process for green diesel production. Cleaner Chemical Engineering, vol. 1, p. 100004.

12. MARTINEZ-HERNANDEZ, E., RAMÍREZ-VERDUZCO, L. F., AMEZCUA-ALLIERI, M. A., ABURTO, J., 2019. Process simulation and techno-economic analysis of bio-jet fuel and green diesel production—minimum selling prices. Chemical Engineering Research and Design, vol. 146, pp. 60–70.

13. TIRADO, A., ANCHEYTA, J., TREJO, F., 2018. Kinetic and reactor modeling of catalytic hydrotreatment of vegetable oils. Energy & Fuels, 32(7), 7245-7261.

14. MANCO, Juan Vélez. 2014. Conceptual design of a palm oil hydrotreatment reactor for commercial diesel production. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Facultad de Minas Escuela de Química y Petróleos.

15. Index Mundi. (n.d.). Soybean oil. Available at: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybean-oil>. Acessed on 04/02/2023.

16. Embrapa. (2023, March 29). Macaúba no mercado de bioenergia. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1481706/macauba-no-mercado-de-bioenergia>. Acessed on 04/02/2023.

17. NUNES, A., FAVARO, S. P., and GALVANI, F. (2013). Perfil de ácidos graxos em óleo de polpa de macaúba bruto e refinado submetidos a ensaio termoxidativo em diferentes intervalos de tempo. In:Congresso Brasileiro de Macaúba, 1., 2013, Patos de Minas, MG. Consolidação da cadeia produtiva: anais. Brasília, DF: MAPA, 2013.

18. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (ANP). Série histórica do levantamento de preços. Available at: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>. Acessed on 05/08/2024.

ABOUT THE AUTHORS

**Sara Regina Osipi** is Ph.D. in Chemical Engineering and has experience as Petroleum Engineer, at Petrobras. Now is Post-doc Fellow at the State University of Maringá.

**Carlos Eduardo Korn Senko** is Ph.D. student in Chemical Engineering and has experience as Petroleum Engineer, at Petrobras.

**Florival Rodrigues de Carvalho** is Ph.D. in Chemical Engineering and is Professor at the Federal University of Pernambuco, and has experiency in oil and gas. Has worked as Director of the Brazilian Agency on Oil, Gas and Biofuels.

**Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani** is Ph.D. in Chemical Engineering and is Professor at the State University of Maringá. Has experiency in Chemical Processes Optimization, Energy and Water Integration in Industrial Processes and biofuels production.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA FERMENTACIÓN SÓLIDA DE LA LEGUMINOSA *LUPINUS MUTABILIS* EN CONDICIONES RÚSTICAS

**Daniel Treto-López*, Kevin Cruz Montes, Julio César Dustet-Mendoza, Luis Cruz-Viera, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas**

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Calle 114, No. 11901, e/ Ciclovía y Rotonda. La Habana, Cuba.
*treto_daniel@quimica.cujae.edu.cu, danieltreto96@gmail.com

**RESUMEN**

La alimentación animal constituye un reto actual para los países subdesarrollados. *Lupinus mutabilis* es una leguminosa que puede utilizarse potencialmente como alimento animal, pero tiene factores antinutricionales que pueden eliminarse mediante la Fermentación en Estado Sólido (FES). La modelación matemática de la fermentación permite predecir el comportamiento de las variables más influyentes en el proceso para maximizar el contenido de proteínas a partir de técnicas de optimización. El sistema de fermentación consistió en una cama ortoédrica de 0,80 $m^2$ en la que el sustrato humedecido en un 70 % de agua, se transforma en presencia del hongo. Se realizaron mediciones de la temperatura y la humedad relativa en diferentes posiciones de la cama durante 144 h. Con ayuda de Matlab se obtuvieron los perfiles de temperaturas y humedades de la fermentación de la leguminosa *Lupinus mutabilis*, con el empleo de una cepa de *Aspergillus niger*, a partir de un modelo compuesto por 17 ecuaciones. La densidad del sustrato, la concentración inicial del inóculo, el coeficiente individual de transferencia de masa y el rendimiento energético de la biomasa resultaron las variables que mayores cambios provocaron en las respuestas del modelo. Los errores promedio de validación obtenidos fueron de 2,28 % y 1,91 % para los perfiles de temperaturas y humedades, respectivamente.

**PALABRAS CLAVES:** *Aspergillus niger*, fermentaciones sólidas rústicas, *Lupinus mutabilis*, modelación matemática.

**MATHEMATICAL MODELING OF LUPINUS MUTABILIS SOLID LEGUME FERMENTATION IN RUSTIC CONDITIONS**

**ABSTRACT**

Animal feeding constitutes a current challenge for underdeveloped countries. *Lupinus mutabilis* is a legume that can potentially be used as animal feed, but has anti-nutritional factors that can be eliminated by Solid State Fermentation (SSF). Mathematical modeling of fermentation allows predicting the behavior of the most influential variables in the process to maximize protein content using optimization techniques. The fermentation system consisted of an orthohedral bed of 0.80 $m^2$ where the substrate, moistened with 70 % water, is transformed in the presence of the fungus. Temperature and relative humidity measurements were made in different positions of the bed for 144 h. The temperature and humidity profiles of the fermentation of the legume *Lupinus mutabilis* were obtained using an *Aspergillus niger* strain from a model composed of 17 equations. The substrate density, the initial inoculum concentration, the individual mass transfer coefficient and the energy biomass yield were the variables that caused the greatest changes in the model responses. The mathematical model, solved in Matlab, was validated, obtaining average validation errors of 2.28 % and 1.91 % for the temperature and humidity profiles respectively.

**KEY WORDS:** *Aspergillus niger*, rustic solid-state fermentation, *Lupinus mutabilis*, mathematical modeling.

**NOMENCLATURA**

| Símbolo | Significado | Unidad de medida |
|---|---|---|
| a | Subíndice que hace referencia al aire | - |
| A | Factor de frecuencia en la etapa de activación | $h^{-1}$ |
| b | Subíndice que hace referencia a la cama sólida | - |
| B | Factor de frecuencia en la etapa de desactivación | |
| $C_{H_2O}$ | Concentración de agua en la cama | $kg/m^3$ |
| $C_{H_2O\ interfase}$ | Concentración de agua en la interfase líquido vapor | $kg/m^3$ |
| $C_{H_2O\ aire}$ | Concentración de agua en el aire | $kg/m^3$ |
| D vap $_{A-B}$ | Difusividad del vapor de agua (A) en el aire (B) | $m^2/h$ |
| Є | Porosidad de la cama | - |
| Ea1 | Energía de activación de la etapa de activación | kJ/mol |
| Ea1 | Energía de activación de la etapa de desactivación | kJ/mol |
| h | Coeficiente de transferencia de calor | $kJ/hm^2\ ^0C$ |
| $\Delta H_0$ | Calor de combustión por mol de oxígeno | kJ/mol oxígeno |
| HR | Humedad relativa del aire | 0 - 1; % |
| K | Constante de integración (modelo lineal de crecimiento) | kg biomasa/ kg sólidos·h |
| k | Conductividad térmica | $kJ/hm^0C$ |
| ky | Coeficiente individual de transferencia de masa | m/h |
| MM ($H_2O$) | Masa molar de agua (18) | kg/kmol |
| $N_{H_2O_{z=0}}$ | Densidad másica de flujo en z = 0 | $kg/m^2h$ |
| -OH | Grupo químico Hidroxilo | - |
| ρ | Densidad | $kg/m^3$ |
| $P_i{}^0{}_{H_2O}$ | Presión de vapor de agua | Pa |
| $p_{i_{H_2O}}$ | Presión parcial de agua | Pa |
| pH | Potencial de Hidrógeno | - |
| R | Constante de los gases (8,31) | $kJ/kmol^0C$ |
| $r_x$ | Velocidad de crecimiento | kg biomasa/ kg sólidos·h |
| $r_{H_2O}$ | Velocidad de producción de agua | $kg/m^3h$ |
| s | Subíndice que hace referencia al sustrato | - |
| S,Sv | Término de generación en ecuaciones de balance | Calor- $kJ/m^3h$<br>Masa- kg/m3h |
| t | Tiempo | h |
| T | Temperatura | $^0C$ |
| $T_w$ | Temperatura de la superficie de la cama | $^0C$ |
| μ | Velocidad específica de crecimiento | $h^{-1}$ |
| $\mu_{máx}$ | Velocidad específica de crecimiento máxima | $h^{-1}$ |
| $v_x, v_y, v_z,$ | Velocidades del fluido en las dimensiones del espacio | m/h |
| x | Largo de la cama de sólidos | m |
| X | Concentración de células vivas | kg biomasa/ kg sólidos |
| Xm | Concentración máxima de células vivas | kg biomasa/ kg sólidos |
| $X_o$ | Concentración inicial de células vivas | kg biomasa/ kg sólidos |
| y | Ancho de la cama de sólidos | m |
| $Y_{X/O_2}$ | Rendimiento biomasa - oxígeno | - |
| $Y_{X/H_2O}$ | Rendimiento biomasa - agua | - |
| $Y_{H_2O/O_2}$ | Rendimiento agua - oxígeno | - |
| z | Altura de la cama de sólidos | m |
| γ | Grado de reducción de la molécula | - |
| η | Rendimiento energético de la biomasa | - |
| $\xi_P$ | Rendimiento energético de los productos | - |
| σ | Fracción de C en la molécula | - |

## 1. INTRODUCCIÓN

La Fermentación en Estado Sólido de residuos con altos contenidos de fibra constituye una de las prácticas más competentes para la producción de alimento animal, mediante la aplicación de técnicas biotecnológicas. Autores como [1-5], han demostrado que el proceso de fermentación sólida permite aumentar el contenido de proteína y disminuir la fibra de algunos productos agrícolas, lo que propicia una mejora de sus cualidades alimenticias. Los factores antinutricionales que contiene *Lupinus mutabilis*, una leguminosa herbácea originaria de Ecuador; interfieren negativamente en el aprovechamiento de sus nutrientes, de la misma forma que promueven pérdidas importantes de proteína endógena y pueden producir daños al organismo del animal que los consume.

En muchos de los procesos en los que se aplican las FES no se logran controlar las principales variables de la operación, por lo que se dice que se llevan a cabo en condiciones rústicas. Las FES rústicas son una variante productiva para el autoabastecimiento de las comunidades agrícolas de alimentos que no tienen un alto valor agregado [6, 7]. Son económicamente atractivas, pues garantizan una mayor productividad volumétrica que las fermentaciones sumergidas, presentan una baja demanda de agua, por lo que permiten disminuir el volumen de residuales líquidos del proceso y no requieren altas condiciones de esterilización [8]. Para determinar las condiciones de fermentación con que se alcanza el nivel de proteína deseado en el producto es necesario modelar matemáticamente el proceso y simular el comportamiento de algunas de sus variables críticas [9]. El estudio de la concentración celular, la temperatura y la humedad permite determinar el tiempo de fermentación más favorable, la altura máxima de la cama y el tiempo de volteo del sustrato, en caso de que sea necesario, que son parámetros de fácil manejo para los productores que determinan la efectividad de la fermentación.

En el año 2012, [10] realizó la modelación matemática de la fermentación sólida rústica de un desecho de la industria azucarera, sin considerar las pérdidas de agua por evaporación de la cama sólida y la variabilidad de los factores ambientales. No se informan modelos capaces de predecir el comportamiento de las FES rústicas del sustrato *Lupinus mutabilis* en que se tengan en cuenta estos elementos. El objetivo de la presente investigación es: desarrollar un modelo matemático que permita obtener los perfiles de temperaturas y humedades en el proceso de fermentación en estado sólido de la leguminosa *Lupinus mutabilis* con una cepa de *Aspergillus niger*, en condiciones rústicas de operación, con un error de validación menor que 5 % en cada caso.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Tratamiento

El sistema de fermentación experimental lo formaron la biomasa (cepa A1 de *Aspergillus niger*) y la leguminosa *Lupinus mutabilis* como sustrato. El medio de fermentación consistió en una cama ortoédrica y el ambiente. La cama de sólidos tuvo una altura (z) de 0,15 m y se dispuso sobre una superficie cementada (z = 0 m). El área ocupada por la cama fue de 0,80 $m^2$.

Los experimentos se realizaron en una cámara que mantiene la temperatura ambiental constante e igual a 30 ºC, y la humedad relativa del aire en 70 %. La fermentación ocurrió en un área donde la radiación solar fue limitada. En el proceso no se controló ninguna variable no ambiental periódicamente. A la leguminosa no se le realizó tratamiento previo. Después de haber sido troceada en un molino industrial, con tamaño de partícula promedio menor que 0,01 m, fue humedecida hasta un 70 % total de agua (kg de agua / kg de sustrato húmedo). El inóculo tuvo una concentración de biomasa equivalente a 0,0001 kg biomasa / kg de sólido húmedo. La humedad del sustrato estuvo ligada completamente, no existieron zonas inundadas y la concentración inicial de agua fue uniforme. En la cama el crecimiento celular incluyó procesos como la extensión de la hifa y la expansión de la biopelícula de microorganismos. En correspondencia con estudios cinéticos del crecimiento de microorganismos del mismo género en el sustrato, como los realizados por [11] y [12], se estableció un tiempo de fermentación total de 144 h.

**Diseño experimental y procedimiento**

Para validar el modelo se realizaron las mediciones que aquí se describen:

1. Medición de la temperatura en la cama: se realizó durante los seis días de fermentación, cada 12 h después del primer día, con un termómetro en 16 puntos de la cama (mostrados en la figura 1) para cada una de las alturas seleccionadas: la superficie (z = 0,15 m), el centro (z = 0,075 m) y el fondo (z = 0). Se utilizó un termómetro infrarrojo con conector para sonda termopar sumergible marca RAYTEMP 38, con una precisión de 0,1 $^0$C.
2. Medición de la humedad relativa de la superficie de la cama: se realizó durante los seis días de fermentación, cada 12 horas después del primer día, en 16 puntos de la cama, para la superficie de la cama. Las mediciones fueron realizadas con el transmisor de humedad SENSOVANT EE23, que ofrece una precisión de 1,3 % en un intervalo de 0 – 100 % de humedad relativa.

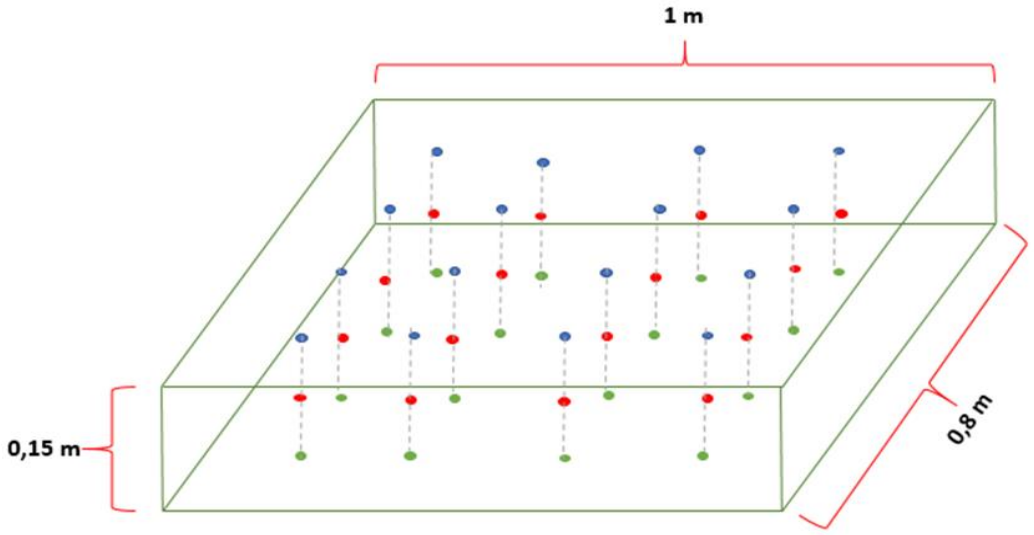



Figura 1. Esquema de puntos de muestreo de temperatura (los puntos azules corresponden a la superficie de la cama, los rojos al centro y los verdes al fondo).

**Modelo matemático**

La ecuación 1 utilizada para calcular la velocidad de crecimiento del microorganismo se corresponde con la empleada por [13] en la descripción de un proceso similar. Describe el crecimiento exponencial de *Aspergillus niger* en la leguminosa.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{máx} \cdot X_0 \, e^{\mu_{máx} t} \tag{1}$$

La velocidad específica de crecimiento máxima del microorganismo tiene estrecha relación con la temperatura del sistema, por lo que se propuso utilizar una modificación de la ecuación empleada por Sosa (9) para describir la influencia de la temperatura en la cinética y, de esta forma, en los resultados de la modelación. Según [14] y [15], el efecto de crecimiento del hongo se ve limitado en sistemas no previamente tratados como este. Incluso, [16] describe que, en este tipo de sistemas, se alcanzan velocidades específicas de crecimiento máximas menores a 0,1 h$^{-1}$. La ecuación 2 explica la influencia de la temperatura en el crecimiento del microorganismo [10].

$$\mu_{máx} = 0.1 \frac{Ae^{\left(\frac{-E_{a1}}{R(T+273)}\right)}}{1+Be^{\left(\frac{-E_{a2}}{R(T+273)}\right)}} \tag{2}$$

**Cálculo y estimación de las propiedades físicas del modelo**

Para la determinación de la densidad aparente de la cama, su conductividad térmica y su capacidad calorífica se utilizaron las ecuaciones (3, 4 y 5) respectivamente, reportadas por [10]. Estas ecuaciones caracterizan el sistema de fermentación como seudohomogéneo y consideran la porosidad de la cama como un factor de interrelación y corrección.

$$\varrho_b = \epsilon\varrho_a + (1-\epsilon)\varrho_s \quad (3)$$

$$k_b = \epsilon k_a + (1-\epsilon)k_s \quad (4)$$

$$Cp_b = \epsilon Cp_a + (1-\epsilon)Cp_s \quad (5)$$

**Relación entre el balance de masa y el balance de energía en la FES**

Entre los principales factores que tienen en común estos procesos se encuentra el rendimiento energético de la biomasa (η), que vincula el crecimiento del microorganismo con la energía del sustrato y nunca sobrepasa, según estudios de [17], la cifra de 0,7. Su expresión en el modelo matemático se manifestó a partir de los rendimientos biomasa – oxígeno y biomasa – agua, que permitieron relacionar la cinética y la termodinámica del proceso; y que también están relacionados entre sí a través de la estequiometría. Los parámetros termodinámicos del sustrato de la fermentación estudiada (*L. mutabilis*, mayoritariamente celulosa por su estructura) son: $\sigma_s$ = 0,440 y $\gamma_s$ = 4,00, mientras que los de *A. niger*: $\sigma_b$ = 0,454 $\gamma_b$ = 4,09 [17].

Los rendimientos $Y_{H_2O/O_2}$, $Y_{X/O_2}$ y $Y_{X/H_2O}$ se estimaron mediante las ecuaciones 6, 7 y 8, que forman parte del modelo matemático. Se supuso η = 0,7.

$$Y_{H_2O/O_2} = 0.78 \cdot \left(0.75 \cdot \frac{m\sigma_b - p}{\eta \cdot \gamma s}\right)\frac{\eta}{1-\eta} \quad (6)$$

$$Y_{X/O_2} = 3/2\frac{\eta}{\sigma_b\,\gamma_b\,(1-\eta-\xi p)} \quad (7)$$

$$Y_{X/H_2O} = \frac{Y_{X/O_2}}{Y_{H_2O/O_2}} \quad (8)$$

**Descripción fenomenológica del proceso de fermentación**

Para obtener los perfiles de temperaturas y humedades en cada punto del sistema de fermentación fueron determinantes las ecuaciones de balance de energía y de agua. Como en el proceso se verifica la transferencia de calor entre el sistema y los alrededores en la dimensión altura, la ecuación de balance de energía del sistema se obtuvo a partir de la ecuación 9, tomada de [18]. El término de generación en la cama se evaluó a partir de la ecuación 10, tomada de Sosa [9].

$$\varrho_b Cp_b \frac{\partial T}{\partial t} = k_b\left(\frac{d^2T}{dz^2}\right) + Sv \quad (9)$$

$$Sv = \frac{\Delta H_0 \varrho_s (1-\epsilon)}{Y_{X/O_2}}\frac{dX}{dt} \quad (10)$$

Para poder dar solución a la ecuación diferencial de balance energético en la cama, se fijó una condición inicial y se establecieron las condiciones de frontera de este proceso.
Condición inicial: En t = 0, la temperatura de la cama es igual a la ambiental (T = Ta = 30 $^0$C).
Condiciones de frontera

Como la cama está ubicada sobre una superficie de concreto, se consideró que todo el calor se evacúa hacia arriba, lo que presupone nulo el flujo de calor hacia el fondo $-k\frac{dT}{dz}]_{z=0} = 0$.

El flujo de calor hacia el aire depende de la resistencia de la cama sólida a la transferencia de calor. El calor cedido corresponde al transferido hacia el aire ambiente que rodea al sistema de fermentación por el mecanismo convectivo. En términos matemáticos, esta condición quedó expresada según la ley de Fourier por la ecuación 11.

$$k\frac{dT}{dz} = h(T_w - T_a) \tag{11}$$

El balance de agua en el sistema se realizó y se tomó como frontera la superficie sólida que limita con el área interfacial cama sólida-aire. Para la descripción del fenómeno de transferencia de masa se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solo se justifica la difusión del agua en el aire, que está en reposo en la superficie de la cama.
- El aire y el vapor de agua forman una mezcla gaseosa ideal (densidad molar constante).
- La temperatura, velocidad, humedad relativa y densidad del aire son constantes conocidas.
- La concentración de agua no varía a lo largo y ancho de la cama, solo en la dimensión altura.

Con estas consideraciones y, a partir de una modificación del modelo descrito por Mitchell (17), se obtuvo la ecuación de transporte de masa del sistema (12) la cual permitió evaluar en el tiempo la concentración de agua en diferentes alturas. La velocidad de generación de agua se evaluó a partir de la ecuación 13, tomada de Sosa [9], en la que se relacionan propiedades del sistema de fermentación con la cinética de producción de agua.

$$\frac{dC_{H_2O}}{dt} = r_{H_2O} + D_{vap\,A-B}\left[\frac{\partial^2 C_{H_2O}}{\partial z^2}\right] \tag{12}$$

$$r_{H_2O} = \frac{dC_{H_2O}}{dt} = \frac{\varrho_s}{Y_{X/H_2O}(1-\epsilon)}\frac{dX}{dt} \tag{13}$$

La condición inicial y las condiciones de frontera que permitieron dar solución a la ecuación diferencial correspondiente al balance de masa son:
Condición inicial: Para t = 0, la concentración de agua corresponde a la humedad inicial con que se prepara la cama. Por tanto, siendo la densidad de la cama 500 kg sólidos /m$^3$ y la humedad inicial de esta 0,7 kg $H_2O$/kg sólido húmedo; la concentración de agua, tomando como base el volumen de la cama, es 350 kg $H_2O$/m$^3$. En $t = 0,\ C_{H_2O} = 350\ kg\ H_2O/m^3$.
Condiciones de frontera

1- La densidad de flujo molar de agua para la altura cero correspondiente al fondo de la cama es nula. En términos matemáticos, $-D_{vap\,A-B}\frac{dC_{H_2O}}{dz}]_{z=0} = 0 = N_{H_2O}{}_{z=0} = 0$.

2- El agua que se difunde a través del sólido y se transfiere al aire ambiente depende de la resistencia que ofrezca el sólido a la transferencia de masa y de las condiciones ambientales del aire. En términos matemáticos, la ecuación 14 describe la relación entre el agua que se difunde y la que puede admitir el aire.

$$D_{vap\,A-B}\frac{dC_{H_2O}}{dz} = k_y\left(C_{H_2O\ interfase} - C_{H_2O\ aire}\right) \tag{14}$$

La concentración de agua en la interfase que separa a las películas gaseosa y líquida corresponde a la concentración de equilibrio en la película gaseosa saturada y que queda determinada por la presión de vapor de agua a la temperatura variable de la superficie. Los cálculos de $C_{H_2O\ interfase}$ y de $C_{H_2O\ aire}$ se efectuaron con los procedimientos:

**Cálculo de $C_{H_2O\ interfase}$**

1- Obtener el perfil de temperaturas de la cama a partir de la solución del modelo.
2- Calcular la presión de vapor para cada temperatura de la superficie por la ecuación 15.

$$P_i{}^0{}_{H_2O} = 0.13332 \cdot 1000 \cdot (10^{7.96681 - \frac{1668.21}{228 + T_i(^oC)}}) \quad (15)$$

3- Determinar la presión parcial de $H_2O$ de esa mezcla aire - agua saturada (HR = 1) con la utilización de la ecuación 16

$$p_{i_{H_2O}} = P_i{}^0{}_{H_2O} \cdot HR \quad (16)$$

4- Con la ecuación 17, determinar $C_{H_2O\ interfase}$ .

$$C_{H_2O\ interfase} = \frac{p_{i_{H_2O}}}{RT_i} \cdot MM(H_2O) \quad (17)$$

**Cálculo de $C_{H_2O\ aire}$**

1- Fijar el valor de temperatura ambiente (Ta) y la humedad relativa del aire (HRa).
2- Calcular la presión de vapor para la temperatura del aire fijada (Ta) por la ecuación 15.
3- Con la ecuación 16, determinar la presión parcial de $H_2O$.
4- A partir de la ecuación 17, determinar finalmente $C_{H_2O\ aire}$ con la sustitución de $C_{H_2O\ interfase}$ por $C_{H_2O\ aire}$

En la tabla 1 se presentan los parámetros del proceso y propiedades utilizadas en el modelo.

Tabla 1. Parámetros tomados de la literatura y propiedades físicas calculadas

| Parámetros | Valor | Unidad de medida | Referencia |
|---|---|---|---|
| $\varrho_a$ | 1,14 | kg/m$^3$ | Perry´s, 2019[19] |
| $\varrho_s$ | 700 | kg/m$^3$ | Sosa,2012[10] |
| $Cp_a$ | 1 005 | kJ/kg $^0$C | [19] |
| $Cp_s$ | 3 140 | kJ/kg $^0$C | [10] |
| $k_a$ | 74,16 | kJ/hm $^0$C | [19] |
| $k_s$ | 1 080 | kJ/hm $^0$C | [10] |
| $\Delta H_0$ | 1,4·10$^4$ | kJ/kg $O_2$ | [10] |
| $\epsilon$ | 0.3 | adimensional | [10] |
| $X_o$ | 0,0001 | kg biomasa/ kg sólido | [10] |
| $h$ | 36 | kJ/hm$^2$ $^0$C | [19] |
| $ky$ | 0,28 | m/h | [19] |
| $A$ | 2,6943·10$^{11}$ | h$^{-1}$ | [10] |
| $B$ | 1,3·10$^{47}$ | - | [10] |
| $Ea1$ | 70 225 | kJ/kmol | [10] |
| $Ea2$ | 283 356 | kJ/kmol | [10] |
| $R$ | 8,31 | kJ/kmol $^0$C | [19] |
| $\varrho_b$ | 500 | kg/m$^3$ | Ecuación 3 |
| $Cp_b$ | 700 | kJ/kg $^0$C | Ecuación 4 |
| $k_b$ | 1 005 | kJ/hm $^0$C | Ecuación 5 |

## Solución matemática del modelo

Teniendo en cuenta que los modelos que describen el transporte de calor y masa involucran ecuaciones diferenciales parciales, la solución del modelo fue obtenida con el programa Matlab R2015a. En la solución se utiliza la función ¨pde¨ (Partial Differential Equations). Para los análisis estadísticos se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV.

### Análisis de sensibilidad para las variaciones de las propiedades físicas y de transporte

Se estudió el comportamiento de las variables respuestas ante la variación de un 30 % por encima y por debajo del valor original de estas propiedades. La altura para la cual se determinaron los perfiles de temperaturas y de concentraciones de agua corresponde al centro de la cama (z = 0,075 m). La temperatura del aire se mantuvo constante en 30 $^0$C y la humedad relativa en 70 %. El tiempo de muestreo escogido fue 144 h.

### Determinación del error de validación

Para validar el modelo se utilizaron los datos de las mediciones de la temperatura en la superficie, el centro y el fondo durante los seis días de fermentación y los valores de humedad relativa medidos en la superficie cada 12 h, durante todo el proceso. Las ecuaciones 18 y 19 se utilizaron para estimar los errores de validación porcentuales promedios de los perfiles obtenidos.

$$\%Error\ T = \sum \frac{\frac{\left|T_{z=i\ t=n} - T_{z=i\ t=n\ exp.}\right|}{T_{z=i\ t=n\ exp.}}}{número\ de\ mediciones} \quad (18)$$

$$\%Error\ C_{H_2O} = \sum \frac{\frac{\left|C_{H_2O_{z=i\ t=n}} - C_{H_2O_{z=i\ t=n\ exp.}}\right|}{C_{H_2O_{z=i\ t=n\ exp.}}}}{número\ de\ mediciones} \quad (19)$$

$T_{z=i\ t=n\ exp.}$ es la temperatura en la altura i y el tiempo n medida experimentalmente, $T_{z=i\ t=n}$. la temperatura en la altura i y el tiempo n ofrecida por el modelo; $C_{H_2O}{}_{z=i\ t=n\ exp}$ es la concentración de agua en la altura i y el tiempo n medida experimentalmente y $C_{H_2O}{}_{z=i\ t=n}$ corresponde a la concentración de agua en la altura i y el tiempo n ofrecida por el modelo.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Solución del modelo matemático

El modelo resuelto en Matlab quedó, finalmente, formado por las ecuaciones desde la 1 hasta la 17. Como se muestra en la figura 2, la máxima velocidad específica de crecimiento alcanzada por el hongo fue de 0,034 h$^{-1}$ y la hizo, aproximadamente, sobre los 38 $^0$C. [14, 20, 21] han informado valores de 0,03-0,08 h$^{-1}$ para este parámetro, al estudiar el crecimiento de *A. niger* en la producción de enzimas.

Al tratarse de este microorganismo, cuya temperatura óptima de crecimiento ha sido informada por [11] y [22] entre los 30 – 40 $^0$C, si la temperatura sobrepasa los 40 $^0$C, $\mu_{máx}$ disminuye vertiginosamente. Si la temperatura en el sistema aumentara hasta 70 $^0$C, casi se detendría el crecimiento del microorganismo.

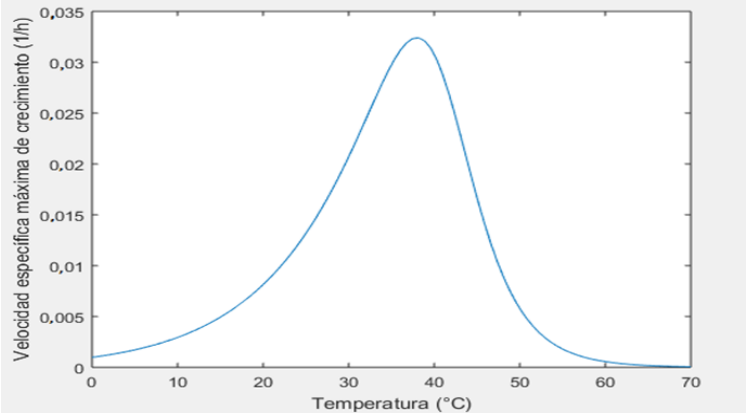



Figura 2. Variación de µmáx con la temperatura, Ta = 30 $^0$C y HR = 70 %.

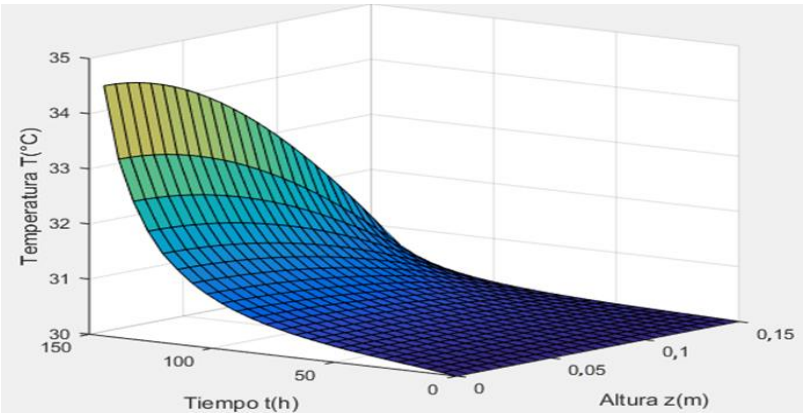



Figura 3. Perfil de temperaturas en la cama, Ta = 30 $^0$C y HR = 70 %.

El perfil de temperaturas a lo largo del tiempo se muestra en la figura 3. El modelo predice que la máxima temperatura que se alcanza en el fondo de la cama (z = 0 m) donde precisamente debe haber una mayor acumulación de calor, de 34,54 $^0$C. La temperatura máxima de la superficie en el sistema se alcanza a las 144 horas de transcurrida la fermentación y es de 30,91 $^0$C. La poca variabilidad de las temperaturas en el tope de la cama (<1 $^0$C), es lógica, pues el sistema está expuesto al aire ambiental.

Los valores de temperatura obtenidos se encuentran todos por encima de la temperatura ambiente, lo que garantiza que parte del calor evolucionado en la fermentación se disipe al ambiente, dada la existencia de un gradiente de temperaturas desde el fondo hacia el aire. No se sobrepasa la temperatura crítica del microorganismo hasta 144 h, por lo que no se considera necesario realizar un volteo de la cama para evitar altas acumulaciones de calor.

Los perfiles de temperatura están relacionados directamente con la cinética microbiana, ya que al crecer la población de células se evoluciona calor metabólico. La baja velocidad de crecimiento del microorganismo, condiciona que solo se alcance una diferencia de poco menos de 5 $^0$C entre la máxima temperatura y la ambiental. En las primeras 24 h el crecimiento del microorganismo fue más lento, lo que refleja que el hongo pasó por una etapa de adaptación.

La predicción del perfil de concentraciones de agua en la cama se muestra en la figura 4.

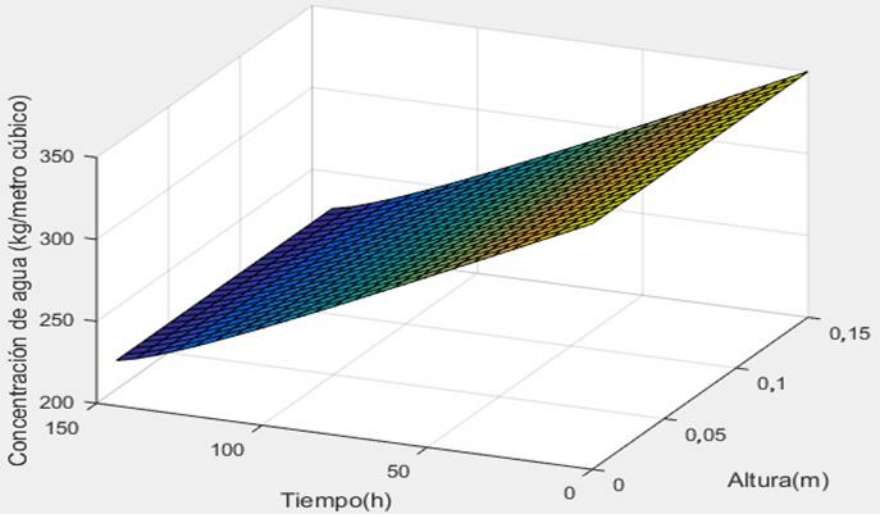



Figura 4. Perfil de concentraciones de agua en el sólido obtenido Ta = 30 $^0$C, HR = 70 %.

El perfil de concentraciones que predice el modelo, es un perfil decreciente en todo momento, se obtiene una concentración mínima de 227,8 kg/m$^3$ (45,6 % de humedad) al final de la fermentación en la superficie de la cama. Las máximas concentraciones de agua se obtienen en el fondo. La diferencia entre el valor máximo informado anteriormente y el análogo informado por el programa para el fondo es solo de 0,2 kg/m$^3$. Esta diferencia se debe a la poca altura de la cama (15 cm). La velocidad de formación de agua no supera los efectos de la difusión y la evaporación.

**Resumen del análisis de sensibilidad**

Los parámetros que más afectan las predicciones del modelo, en un intervalo de variación de un 30 % son: la densidad aparente del sustrato, la concentración inicial de inóculo, el coeficiente individual de transferencia de masa y el rendimiento energético de la biomasa. El resumen de los coeficientes de variación que generan estas variables se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resumen del análisis de sensibilidad (en z = 0,075 m) para t = 144 h

| | **Temperatura** | **Humedad** |
|---|---|---|
| **Variable** | **Referencia** 33,51 $^0$C | **Referencia** 227,70 kg/m$^3$ (45,6 %) |
| | **Coeficiente de variación (%)** | **Coeficiente de variación (%)** |
| **$\varrho_s$** | 6,92 | 7,01 |
| **Xo** | 5,91 | 2,68 |
| **ky** | 0,98 | 12,30 |
| **η** | 18,75 | 4,08 |

Si el rendimiento energético de la biomasa disminuye, disminuye el rendimiento biomasa – oxígeno y, en consecuencia, el calor metabólico aumenta. En este sentido [10] reportó que para un biorreactor de cama empacada con aireación forzada; se obtuvieron resultados similares que demuestran la alta sensibilidad de la temperatura ante variaciones del rendimiento biomasa – oxígeno.

**Validación del modelo matemático**

Las figuras 5, 6 y 7 muestran los resultados de la validación del modelo, al representar el proceso de transferencia de calor.

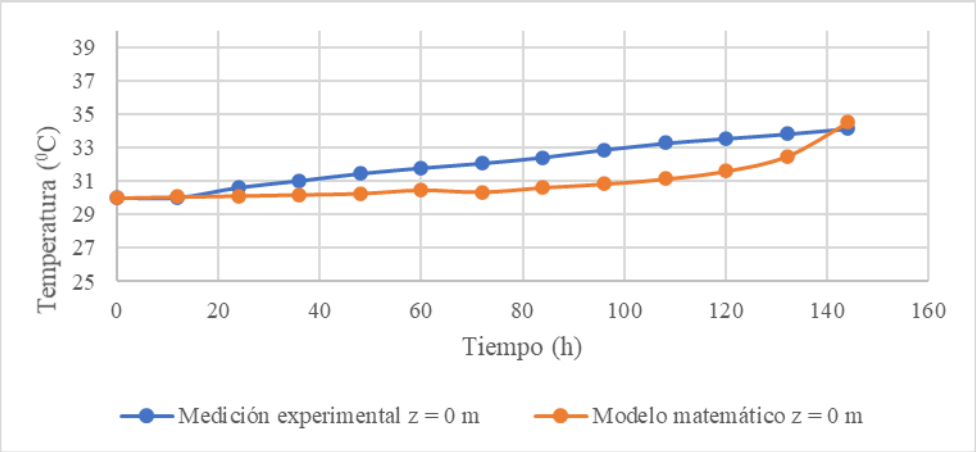



Figura 5. Perfil de temperaturas en la cama descrito por el modelo en comparación con los resultados experimentales para una altura z = 0 m

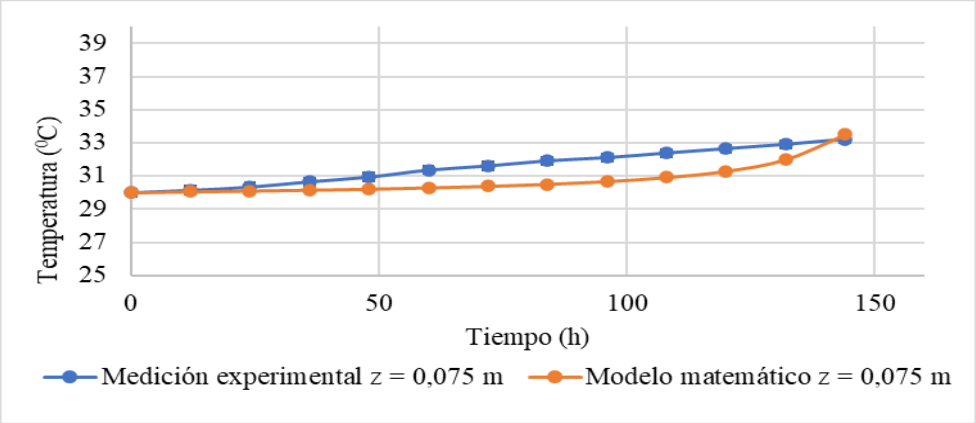



Figura 6. Perfil de temperaturas en la cama descrito por el modelo, en comparación con los resultados experimentales para una altura z = 0,075 m

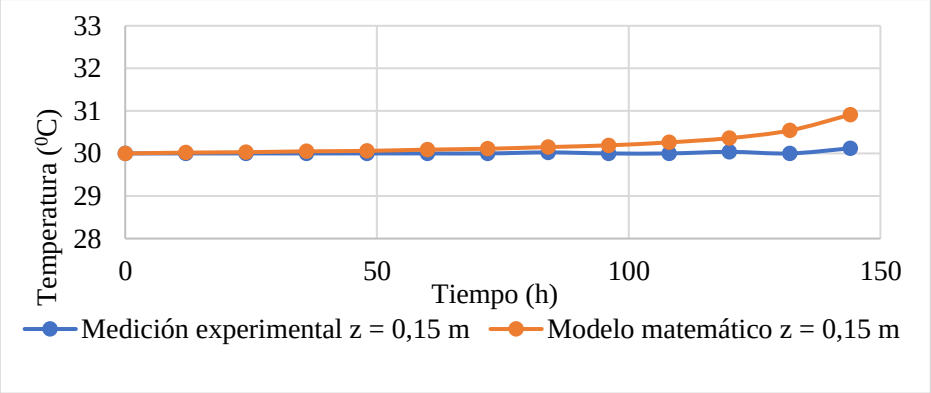



Figura 7. Perfil de temperaturas en la cama, descrito por el modelo en comparación con los resultados experimentales para una altura z = 0,15 m

A continuación, en la figura 8 se muestran los resultados para el perfil de concentraciones de agua en la cama.

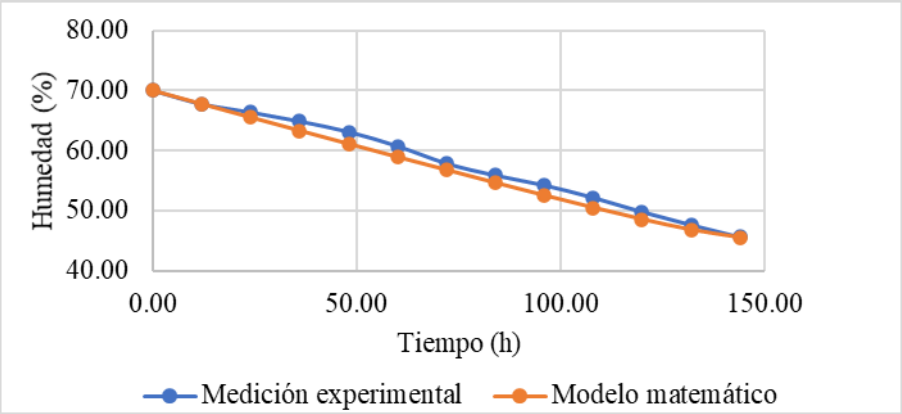



Figura 8. Perfil de concentraciones en la cama, descrito por el modelo en comparación con los resultados experimentales para una altura z = 0,15 m.

El error promedio de validación, calculado por las ecuaciones 18 y 19 obtenido fue de 2,28 % para el perfil de temperaturas y 1,91 % para el perfil de humedades. Como se observa el perfil de temperaturas obtenido describe similares temperaturas máximas al final de la fermentación, para cada altura. El perfil de concentraciones obtenido se comporta linealmente y predice que la humedad final de la cama en la superficie será de 45,5 % cuando acabe la fermentación, mientras que la medida fue de 45,61 % y es este un excelente resultado.

## 4. CONCLUSIONES

Se obtuvo un modelo matemático que permite describir físicamente el proceso de fermentación de la leguminosa en *Aspergillus niger*. A partir de este modelo, compuesto por 17 ecuaciones, se obtienen los perfiles de temperaturas y humedades en la cama y está compuesto por ecuaciones de balance que describen las transferencias de masa y energía en el sistema. ecuaciones para describir la cinética del proceso, relaciones termodinámicas y ecuaciones para estimar propiedades físicas de la cama de sólidos. El rendimiento energético de la biomasa, la densidad del sustrato, la concentración del inóculo y el coeficiente individual de transferencia de masa son las variables que provocaron los mayores cambios en las variables respuestas del modelo. Los errores promedios de validación de los perfiles de temperaturas y humedades son 2,28 y 1,91 %, menores que un 5 %.

## REFERENCIAS

1. CHEBAIBI, S., et al., *Improvement of protein content and decrease of anti-nutritional factors in olive cake by solid-state fermentation: A way to valorize this industrial by-product in animal feed.* Journal of bioscience and bioengineering, 2019. **128**(3): p. 384-390.
2. IQBAL, S., Ö. TIRPANALAN-STABEN, AND K. FRANKE, *Effect of solid-state fermentation with Pleurotus ostreatus on the protein content and other nutritional components of de-seeded carob fruits.* Sustainable Food Technology, 2024. **2**(5): p. 1537-1544.
3. PATIL, N.D., et al., *Enhancing functional attributes of rice protein concentrate through Aspergillus awamori MTCC 6652 assisted solid-state fermentation: Development of value-added vegan smoothie.* Food and Bioproducts Processing, 2024.
4. STONE, A.K., et al., *Effect of solid-state fermentation on the functionality, digestibility, and volatile profiles of pulse protein isolates.* Food Bioscience, 2024: p. 104580.
5. ZHU, J., ET AL., *A novel approach to produce soy protein isolate: Direct enzymatic hydrolysis of high-temperature soybean meal using proteinase produced by microbial solid-state fermentation.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024: p. 135598.
6. MAZHAR, H., et al., *Optimization of low-cost solid-state fermentation media for the production of thermostable lipases using agro-industrial residues as substrate in culture of Bacillus amyloliquefaciens.* Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2023. **47**: p. 102559.

7. PUREWAL, S.S., et al., *Influence of solid-state fermentation on the functional characteristics of pearl millet starch: An innovative and cost-efficient approach to modify starch.* Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2024. **7**: p. 100449.
8. SUN, C., et al., *Production and characterization of okara dietary fiber produced by fermentation with Monascus anka.* Food Chemistry, 2020. **316**: p. 126243.
9. COUDER-GARCÍA, M., et al., *Assessing the Impact of Transport Phenomena on Modeling and Optimization of Solid-State Fermentation for the Revalorization of Agro-Industrial Residues in a Wall-Cooled Packed-Bed Bioreactor.* Chemical Engineering Research and Design, 2024. **210**: p. 365-381.
10. SOSA, D., R. BOUCOURT, AND J. DUSTET, *Uso de la modelación matemática en los procesos de fermentación en estado sólido de sustratos fibrosos destinados a la alimentación animal.* Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 2012. **46**(2): p. 119-126.
11. ZHANG, Y., ET AL., *Effects of temperature on the production of ochratoxin A by Aspergillus niger*. LWT, 2024. **191**: p. 115684.
12. FERNANDES, L.M.G., et al., *Valorization of agro-industrial residues using aspergillus heteromorphus URM0269 for protease production: Characterization and purification.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024: p. 133199.
13. GARCÍA, A., *Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-cafeoilquínico*. 2016, Tesis de maestría]. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
14. SAITHI, S., ET AL., *Mathematical modeling of biomass and enzyme production kinetics by Aspergillus niger in solid-state fermentation at various temperatures and moisture contents.* Journal of Microbial & Biochemical Technology, 2016. **8**(2): p. 123-130.
15. SHAHRIARINOUR, M., et al., *Kinetics of cellulase production by Aspergillus terreus at various levels of dissolved oxygen tension in a stirred tank bioreactor.* BioResources, 2011. **6**(4): p. 4909-4921.
16. LEON-REVELO, G., et al., *Determinación de la temperatura óptima para la producción de celulasas con Aspergillus niger en fermentación sólida.* Centro Azúcar, 2018. **45**(3): p. 1-13.
17. DORAN, P.M., *Bioprocess Engineering Principles*. 2013: Elsevier.
18. BIRD, R.B., W.E. STEWART, AND E.N. LIGHTFOOT, *Fenómenos de transporte*. 2020: Reverté.
19. PERRY, H.H. AND D.W. GREEN, *Perry´s Chemical Engineering Handbook*. 9th ed. 2019, New York: McGraw-Hill.
20. EL-BAKRY, M., et al., *From wastes to high value added products: novel aspects of SSF in the production of enzymes.* Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2015. **45**(18): p. 1999-2042.
21. ABD-ELHALEM, B.T., et al., *Production of amylases from Bacillus amyloliquefaciens under submerged fermentation using some agro-industrial by-products.* Annals of Agricultural Sciences, 2015. **60**(2): p. 193-202.
22. BOONDAENG, A., et al., *Cellulase production under solid-state fermentation by Aspergillus sp. IN5: Parameter optimization and application.* Heliyon, 2024. **10**(5).

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# HYDROGEN-FREE FURFURAL HDO WITH ZIRCONIA-SUPPORTED COPPER-RHENIUM CATALYSTS

**Claudio Roberto Almeida de Abreu[1], Rodrigo de Paiva Floro Bonfim[1], Priscilla Magalhães de Souza[1], Fabio Souza Toniolo[1,*]**

[1] Federal University of Rio de Janeiro, Chemical Engineering Program, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 21941-972, Brazil.

[*]e-mail: toniolo@peq.coppe.ufrj.br

## ABSTRACT

This work investigates the impact of varying Re loadings on the performance of Cu catalysts supported on tetragonal $ZrO_2$ for the hydrodeoxygenation (HDO) of furfural. $H_2$-TPR and XPS analyses reveal a synergistic interaction between Cu and Re species, which lowers the reduction temperatures of both metals and enhances the reduction of Re oxide. Additionally, Re modifies the dispersion of Cu and alters the acid properties of the catalysts. High Re loadings lead to the coverage of the Cu surface. Catalytic tests demonstrate that product distribution changes significantly with different Re loadings. The product distribution was notably affected by the Re loading: a small addiction of Re (0.5 %) leads up to 80 % of selectivity to 2-methylfuran (2-MF). Although 5Cu-5Re and 5Cu-2Re catalysts achieved the same selectivity (95 and 98 %), the economic factor is crucial for selecting the catalyst with a lower Re loading. Consequently, it stands out as a more viable option for industrial purposes.

**KEYWORDS:** Hydrodeoxygenation, furfural; bimetallic Cu-Re catalysts; zirconia; lignocellulosic biomass.

## 1. INTRODUCTION

Considering society's current dependence on energy and chemicals primarily sourced from petroleum, it is essential to find renewable raw materials to replace these conventional sources. This imperative has led to the investigation of lignocellulosic biomass as an alternative feedstock for producing chemicals and fuels [1]. Furfural (FAL), derived from the hemicellulose fraction of lignocellulosic biomass, is a highly reactive platform molecule featuring an aldehyde group attached to a furan ring. Its significant reactivity enables its transformation into a diverse array of compounds [2]. Among these, 2-methylfuran (2-MF) is notable for its applications as a solvent, fuel additive, and biofuel. 2-MF shows promise as a replacement for fossil-based components in gasoline due to its advantageous fuel properties, including a high octane number (131) and low water solubility [2].

2-MF can be produced by HDO of FAL in either the gas or liquid phase. However, several side reactions may occur during this process. To minimize by-product formation, it is advantageous to use a catalyst that adsorbs FAL in such a way that repels the furan ring from the catalyst surface, thereby preventing the hydrogenation of

the furan ring. Cu catalysts are known to achieve this effect but are generally inactive for HDO reactions. In this context, bimetallic catalysts present a promising alternative, offering a potential solution to enhance the efficiency of the HDO process.

Martinez *et al.* [3] explored the role of Cu as a promoter in $Re/SiO_2$ catalysts for the HDO of guaiacol. Their study revealed that Cu significantly boosted the formation of active Re sites by enhancing the reducibility of Re, all while maintaining the integrity of the active sites and leaving the product distribution unchanged. CuRe catalysts exhibited higher HDO reaction rates than Re/SiO2 catalysts at all Cu loadings, with the exception of the 2% Cu/SiO2 catalyst, which demonstrated minimal activity. As for the supports, oxophilic oxides like $ZrO_2$, $TiO_2$, and $Nb_2O_5$ can facilitate the activation of C-O bonds, aiding in the deoxygenation reactions [4,5]. When combined with the catalytic properties of metals, this synergy improves the efficiency of the HDO process.

This study aims to assess the performance of bimetallic Cu catalysts (5 wt.% Cu) supported on $ZrO_2$ with varying Re loadings (0.5–5 wt.%) for the liquid-phase HDO of FAL in a batch system.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Support and catalyst preparation

$ZrO_2$ was synthesized using a hydrothermal method [6]. Primarily, two separate solutions were prepared: The first one was prepared by dissolving 0.30 mol $NaBH_4$ (99.9999%, Sigma-Aldrich) in 80 mL of deionized water and the second one by ultrasonically dispersing 0.02 mol $ZrO(NO_3)_2 \cdot 5H_2O$ (99.9999%, Sigma-Aldrich) in 80 mL of deionized water. The solutions were then simultaneously added to a batch reactor (Parr, model 4561) and aged at 150 °C for 12 h. After cooling, the precipitate was washed until pH = 7, followed by drying at 110 °C overnight. Finally, the solid was calcined in a muffle furnace at 400 °C (10 °C $min^{-1}$) for 8 h.

The incipient wetness impregnation was employed to prepare the monometallic catalysts, achieving a metal loading of 5.0 wt.% for either Re or Cu. By the other hand, bimetallic catalysts were synthesized through co-impregnation, featuring 5.0 wt.% Cu and varying loadings of Re (0.5-5.0 wt.%). The metal precursors used were $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ (99.9999%, Sigma-Aldrich) and $Re_2O_7$ (99.9999%, Sigma-Aldrich). After impregnation, the materials were dried overnight at 110 °C and subsequently calcined at 400 °C (2 °C $min^{-1}$) for 4 h under an air flow (60 mL $min^{-1}$). The catalysts were designated based on their metal loading and symbol as follows: 5Cu, 5Re, 5Cu-0.5Re, 5Cu-1Re, 5Cu-2Re, and 5Cu-5Re.

### 2.2. Catalyst characterization

The chemical composition of the catalysts was determined using inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES) with an Optima 7000 DV (PerkinElmer). Catalysts were digested in a concentrated acid mixture of $HNO_3$ and HCl (1:1) at 60 °C for 1 h. Prior to ICP-OES analysis, the resulting solution was diluted to 20 mL with ultrapure water and filtered.

Textural properties of samples were determined using nitrogen physisorption isotherms measured at 77 K on a Micromeritics ASAP 2020 instrument. Each sample (100 mg) was degassed at 300 ºC for 2 h to remove adsorbed gases. The specific surface areas were calculated using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method, and the total pore volumes were determined using the Barrett–Joyner–Halenda (BJH) method.

X-ray diffraction (XRD) patterns of samples were recorded using a Miniflex diffractometer (RIGAKU) with Cu Kα radiation (λ = 1.5418 Å), operating at 30 kV and 15 mA. Diffractograms were collected over a 2θ range of 10–90° with a scan rate of 2° $min^{-1}$ and a counting time of 0.5 seconds per step.

Infrared experiments were conducted using a PerkinElmer Spectrum 100 Fourier Transform spectrometer, equipped with a Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy (DRIFTS) accessory in Praying Mantis geometry (Harrick). The system featured a heating chamber, $CaF_2$ window, and MCT detector (HgCdTe) cooled by liquid nitrogen. The spectra were recorded in the range of 4000–1000 $cm^{-1}$, with a resolution of 4 $cm^{-1}$ and 150 scans. Samples were pretreated at 400°C (10 °C $min^{-1}$) for 1 h with $H_2$ (40 mL $min^{-1}$), followed by cooling to 150°C (10 °C $min^{-1}$) under He flow (40 mL $min^{-1}$). After pretreatment, the samples were evacuated up to $10^{-3}$ torr for 1 h. Adsorption studies were conducted by exposing the samples at 150°C to pyridine vapor maintained in a saturator at 0°C for 30 min, followed by evacuation up to $10^{-3}$ torr for 30 min. Spectra were recorded after pyridine desorption at 200, 250, 300, 350, and 400°C (10 °C $min^{-1}$), with further evacuation up to $10^{-3}$ torr.

Temperature programmed reduction (TPR) of the catalysts was performed using a reactor system equipped with a mass spectrometer (MKS model Type 247). Prior to the measurements, 100 mg of catalysts were heated to 150 °C for 1 h under He flow (50 mL $min^{-1}$) and then allowed to cool. TPR analyses were conducted using pure $H_2$ from room temperature to 900 °C (10 °C $min^{-1}$).

Dissociative $N_2O$ adsorption technique was used to determinate Cu dispersion [7–11], using a reactor system equipped with a thermal conductivity detector (TCD). 100 mg of the catalysts were preheated with pure Ar at 150 °C (10 °C $min^{-1}$) for 1 h, followed by reduction in a 1.5% $H_2$/Ar mixture (50 mL $min^{-1}$) from 25 to 500 °C (10 °C $min^{-1}$), maintaining at 500 °C for 1 h. After reduction, the sample was purged with Ar for 1 h and cooled to 50 °C. To ensure complete oxidation of $Cu^0$, the reduced sample was exposed to a 10% $N_2O$/He mixture for 1 h, followed by Ar flow for 1 h to remove physically adsorbed $N_2O$. The catalyst then underwent a second reduction in 1.5% $H_2$/Ar at 500°C (10 °C $min^{-1}$).

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was performed using a SPECS-PHOIBOS-150 analyzer with non-monochromatized AlKα radiation (1486.6 eV). Catalysts were pre-reduced ex-situ with pure $H_2$ for 1 h at 400 °C (10 °C $min^{-1}$) and transferred to the equipment in a nitrogen-filled bag to prevent air exposure and oxidation. Survey spectra and core-level spectra for C 1s, O 1s, Cu 2p, Re 4f, and Zr 3d were analyzed using CasaXPS software. Spectra were charge-corrected by setting the binding energy (BE) of the C 1s spectral component from the support to 284.8 eV.

### 2.3. Catalytic activity

HDO reactions were conducted in a Parr reactor (model 4561) equipped with an electronic temperature controller and magnetic stirrer. A typical run involved loading the reactor with a 0.05 M solution of FAL (99%, Sigma-Aldrich) in isopropanol and 100 mg of the reduced catalyst. After loading, the reactor was sealed, pressurized to the target pressure with $N_2$, purged three times, and heated to the target temperature. The reaction was maintained for the desired time. Upon completion, the reactor was cooled to room temperature, and the liquid phase was collected for further analysis using a gas chromatography (Shimadzu model 7890-5975C) equipped with a HP-5 column (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm) and a flame ionization detector (FID).

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Catalyst characterization

Chart 1 summarizes the properties of the catalysts as determined by various characterization techniques. The ICP-OES results showed that the actual Cu and Re loadings were close to the theoretical values (~5.0 wt.% for Cu and 0.5–5.0 wt.% for Re), confirming the effectiveness of the (co)impregnation process.

Chart 1. Chemical composition, textural properties, and Cu dispersion.

| Materials | Loading (wt. %) | | $S_{BET}$ ($m^2 g^{-1}$) | $V_p$ ($cm^3 g^{-1}$) | $D_{Cu}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Cu | Re | | | |
| $ZrO_2$ | - | - | 186 | 0.15 | - |
| 5Cu | 5.2 | - | 130 | 0.13 | 15 |
| 5Cu-0.5Re | 5.7 | 0.5 | 128 | 0.12 | 16 |
| 5Cu-1Re | 5.3 | 0.8 | 117 | 0.11 | 16 |
| 5Cu-2Re | 5.0 | 1.7 | 116 | 0.11 | 6 |
| 5Cu-5Re | 5.1 | 4.1 | 110 | 0.10 | 2 |
| 5Re | - | 4.3 | 145 | 0.14 | - |

All materials exhibited $N_2$ adsorption-desorption isotherms (not shown) of Type IV with a Type H2 hysteresis loop, characteristic of mesoporous materials with ink-bottle pores [12,13]. The $ZrO_2$ support displayed a specific surface area ($S_{BET}$) of 186 $m^2 g^{-1}$ and a pore volume ($V_p$) of 0.15 $cm^3 g^{-1}$. After impregnation and calcination, catalysts showed $S_{BET}$ in a range from 110 to 145 $m^2 g^{-1}$ and $V_p$ from 0.10 to 0.14 $cm^3 g^{-1}$. Metal impregnation and calcination processes resulted in a reduction of both $S_{BET}$ and $V_p$. Among monometallic catalysts, Re catalyst experienced the smallest decrease in $S_{BET}$, indicating slight pore blockage by Re particles. In contrast, the sample with the highest metal loading (5Cu-5Re) exhibited a $S_{BET}$ loss of approximately 41 %, suggesting that higher metal loadings lead to more significant pore occlusion.

XRD patterns of calcined catalysts are shown in Fig. 1. All samples exhibited diffraction peaks at the same 2θ angles: 30.5, 35.2, 50.6, 60.3, 74.7, and 82.6°, corresponding to the (111), (200), (220), (311), (400), and (331) planes of the tetragonal phase of $ZrO_2$ (JCPDS 88-1007) [14]. The peaks were consistently centered at these angles and displayed uniform intensity across samples. No peaks corresponding to Cu or Re were observed, indicating that these metals have small crystallite sizes and are likely highly dispersed on the support [15].

Infrared spectroscopy with pyridine (IR-Py) was used to identify the nature and strength of the acid sites. Lewis (L) and Brönsted (B) acid sites were observed at 1440 and 1540 $cm^{-1}$, respectively, with combined Lewis and Brönsted (L+B) acidity appearing at 1490 $cm^{-1}$ [16]. Fig. 2 shows the infrared spectra for pyridine adsorption in the 2000–1000 $cm^{-1}$ region. All catalysts displayed bands corresponding to Lewis acid sites (1445–1449 $cm^{-1}$) and Brönsted acid sites (1530–1580 $cm^{-1}$), with a broad band around 1600–1620 $cm^{-1}$ associated with Lewis acidity related to metal sites. The intensity of the band attributed to Lewis acid sites was more prominent in the Cu-containing samples. As Re content increased, the intensity of the bands associated with Lewis acid sites decreased, while the intensity of Brönsted acid site bands increased. This decrease in total acidity is attributed to the blockage of Lewis sites by the addition of Re.

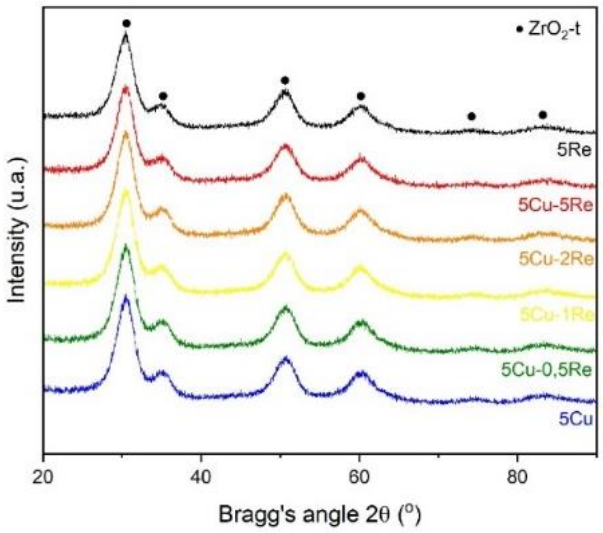



Figure 1: XRD-patterns of catalysts after calcination process.

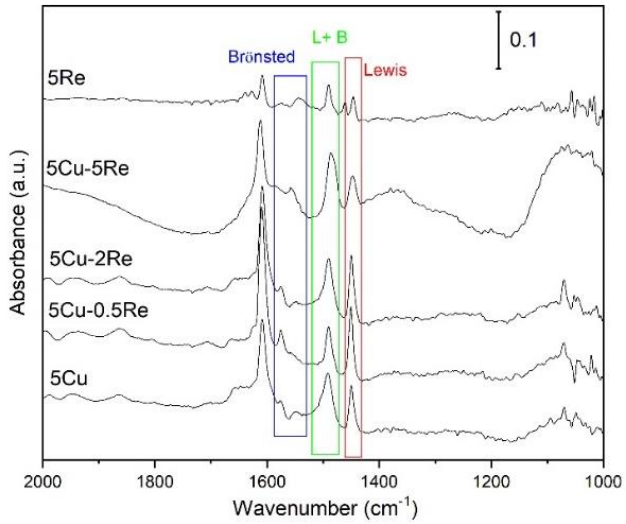



Figure 2: DRIFT spectra of the pyridine adsorbed in catalysts: 5Cu, 5Cu0.5Re, 5Cu2Re, 5Cu5Re and 5Re.

Xiaoding *et al.* [17] and Vuurman *et al.* [18] investigated the impact of Re loading on the distribution of Brönsted and Lewis acid sites in $Re/Al_2O_3$ catalysts, finding Brönsted acidity improved with Re content. This trend is consistent with our findings using $ZrO_2$ as a support. Turek *et al.* [19] proposed the increase in Brönsted acidity upon adding Re oxide to the support results from the formation of M-O bridge bonds, which stabilize Brönsted sites. For the 5Cu0.5Re, 5Cu2Re, and 5Cu5Re samples, a decrease in the intensity of bands related to Lewis acid sites at 1445 $cm^{-1}$ was observed, while the intensity of Brönsted acid site bands increased in the 1540–1580 $cm^{-1}$ range. All samples containing Cu, up to 5Cu2Re, exhibit Lewis acid sites up to 400 °C (not

shown), with a reduction in intensity beginning at 300 °C. Beyond 300 °C, Brönsted acid sites remain stable, indicating their strong nature. In the 5Cu5Re sample, there is a shift in the dominant acid site types. The 5Re sample displayed distinct behavior compared to the other samples. Initially, it showed strong Brönsted acidity upon adsorption, but by 250 °C, Brönsted sites were no longer detectable, leaving only Lewis acidic sites up to 350 °C. The Re-Py adsorption band at 1608 $cm^{-1}$ diminished, and at 400 °C, neither Brönsted nor Lewis acidic sites were present.

Reduction profiles for all catalysts are exposed in Fig. 3. It is prominent that $ZrO_2$ remains unreduced in the studied temperature range [6,20]. 5Cu catalyst displayed a primary peak at 209 °C with a shoulder at 232 °C, indicating that CuO reduction occurs in two stages: first, the formation of $Cu_2O$, followed by its conversion to $Cu^0$ [21]. Bimetallic catalysts 5Cu-0.5Re, 5Cu-1Re, and 5Cu-2Re exhibited two distinct peaks: the first around 155-165 °C and the second around 179–185 °C. The first peak is attributed to $Cu_2O$ formation, while the second peak corresponds to the conversion of $Cu_2O$ to $Cu^0$ and the enhanced reduction of Re oxide facilitated by $Cu^0$. Notably, both Cu and Re oxides in bimetallic systems reduced at lower temperatures than in the monometallic ones, suggesting close contact between those particles [3,22]. Martinez *et al.* [3] proposed $Cu^0$ promotes $ReO_x$ reduction through a hydrogen spillover mechanism, which can generate an autocatalytic cycle where $Re^0$ catalyzes the subsequent reduction of $Re^{x+}$. When Re loading increased to 5%, the main reduction peak shifted to higher temperatures, indicating a stronger interaction between Cu and Re [23]. Reduction profile of the 5Cu-5Re catalyst displayed three peaks at 183, 195, and 220 °C, attributed to the reduction of Cu and Re oxide particles in contact, as well as isolated Re oxide particles. Wang *et al.* [23] found that an excess of $ReO_x$ in Cu-$ReO_x/SiO_2$ catalysts led to $ReO_x$ agglomeration and reduced Cu-$ReO_x$ interaction, resulting in lower metallic dispersion. 5Re catalyst showed a single peak at a higher temperature (393 °C), attributed to the reduction of Re oxide. Without $Cu^0$ on the system, Re oxide reduction occurs at significantly higher temperatures.

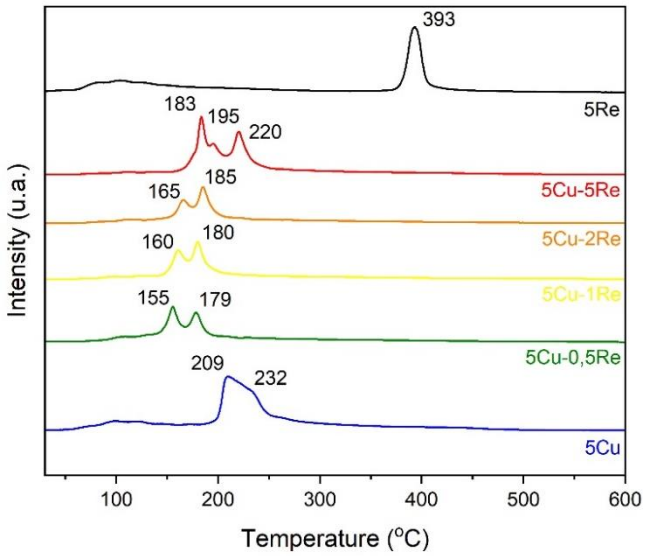



Figure 3: $H_2$-TPR profile of all samples.

$Cu^0$ dispersion ($D_{Cu}$) results attained from $N_2O$ chemisorption technique are summarized in chart 1. Notably, Re species do not chemisorb $N_2O$ at 50 °C [15]. Catalysts with low Re loadings, up to 1 wt.% presented Cu dispersion in similar ranges, 15-16%. However, increasing the Re loading to 2 and 5 wt.% caused a significant decrease in Cu dispersion, down to 6-2%. This fact can be attributed to the strong affinity between Cu and Re, which likely causes Re species to migrate onto or near the Cu particle surfaces, thereby covering them. This coverage reduces the $N_2O$ chemisorption capacity on Cu surfaces, leading to a noticeable decline in dispersion.

Electronic interactions of the reduced bimetallic catalysts $5Cu_2Re$ and $5Cu_5Re$ (reduced in pure $H_2$ at 400 °C for 1 h) were analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and compared with those of monometallic Cu and Re catalysts. The results are detailed in chart 2. All samples exhibited complete reduction of Cu, whereas Re reduction varied. The bimetallic catalysts showed higher amounts of reduced Re, with the order being: $5Cu_2Re$ (23.9%) > 5Cu5Re (17.8%) >> 5Re (2.1%). These XPS results align with TPR findings, indicating that Cu enhances the reducibility of Re. Additionally, the lower surface Cu/Re atomic ratio for 5Cu5Re suggests a higher amount of Re on the catalyst surface, which can cover Cu, consistent with the $N_2O$ chemisorption results.

Chart 2: Distribution of Re species on the catalyst surfaces derived from the decomposition of Re 4f core level spectra and the surface atomic ratios of the reduced catalysts. Binding energy of Cu and Re states: $Cu^0$ (932.6 ± 0.2 eV); $Re^0$ (40.5 ± 0.3 eV); $Re^{4+}$ (43.0 ± 0.6 eV); $Re^{+6}$ (45.4 ± 1.3 eV).

| Catalysts | Re Species fractions (%) | | | Cu/Re |
|---|---|---|---|---|
| | $Re^0$ | $Re^{4+}$ | $Re^{6+}$ | |
| 5Cu-2Re | 23.9 | 76.1 | - | 5.4 |
| 5Cu-5Re | 17.8 | 74.8 | 7.4 | 3.4 |
| 5Re | 2.1 | 97.9 | - | - |

### 3.2. Catalytic tests

Selectivity was strongly influenced by metal loading, as shown in Fig. 4. 5Cu catalyst showed lower selectivity for 2-MF (31 %) compared to the 5Re catalyst (68 %), and all bimetallic catalysts demonstrated higher selectivity compared to monometallic ones (82-98 %): increasing the Re content led to higher selectivity for 2-MF. Also, all catalysts exhibited low selectivity for THFA and 2-MTHF, categorized as others (less than 3 %).

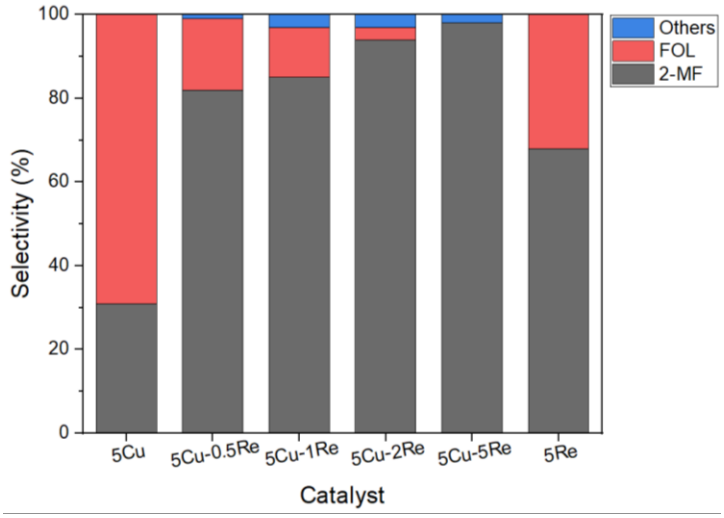



Figure 4: Influence of metal loading on products selectivity. Reaction conditions: T = 220 °C, $P(N_2)$ = 30 bar, time = 4 h, catalyst mass = 100 mg, [FAL] = 0.05 M.

2-MF can be synthesized from FAL through the HDO reaction, as illustrated in Fig. 5 [24]. The process begins with the selective hydrogenation of the carbonyl group in furfural, which is catalyzed by metallic sites, leading to the formation of furfuryl alcohol (FOL). This step is crucial, as it sets the stage for the subsequent transformation. Next, hydrogenolysis occurs on Lewis acid sites, converting FOL into 2-MF by cleaving the C–O bond. Depending on the reaction conditions and catalyst properties, additional hydrogenation of the furan ring can occur, producing by-products such as tetrahydrofurfuryl alcohol (THFA) and 2-methyltetrahydrofuran (2-MTHF). These by-products are indicative of a deeper hydrogenation process, which can be controlled or minimized by optimizing the catalytic environment and reaction parameters. Therefore, in order to get a satisfied 2-MF selectivity FAL conversion was kept at 100 %.

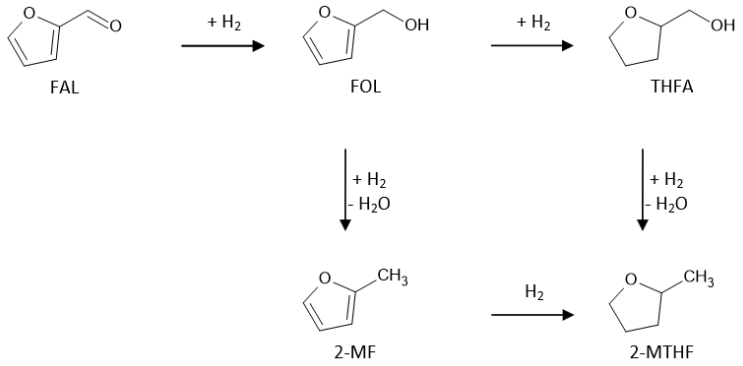



Figure 5: Hydrogenation and hydrogenolysis of FAL.

Previous DFT studies have shown that the nature of the metal strongly influences the adsorption of furanic compounds on a metal surface, occurring either via the furan ring, oxygenated functions, or through multiple bonds [25]. The interaction of FAL with Cu surfaces occurs primarily through the bonding of the aldehyde group to the surface. A tilted configuration is more stable than a perpendicular one due to steric and electronic factors: the strong repulsion between the furan ring and the Cu (111) surface results from partial overlap between the 3d band of Cu atoms and the antibonding orbitals of the furan ring. This repulsion makes flat adsorption of FAL on Cu surfaces unstable and unlikely. Consequently, the aldehyde group is more likely to react with adsorbed hydrogen atoms, and this adsorption mode limits further hydrogenation of the furan ring [26].

Since our results indicate selective hydrogenation of the carbonyl group across all catalysts, it can be inferred that even after the addition of Re, the preferred adsorption configuration remained tilted. This prevented the furan ring from interacting with adsorbed hydrogen, significantly enhancing selectivity for FOL and 2-MF.

Therefore, the product distribution was significantly affected by the Re loading. Even a small amount of Re (0.5%) led to up to 80% selectivity for 2-MF, highlighting the sensitivity of the catalytic performance to Re concentration. As an oxophilic metal, even a minor addition of Re can effectively promote HDO reactions, as previously reported in the literature with similar systems (Cu-Re/$Al_2O_3$ and Cu-Re/$SiO_2$) [23,27].

Interestingly, 5Cu-2Re and 5Cu-5Re catalysts achieved very similar high selectivity levels, reaching 95 % and 98 % for 2-MF, respectively. However, despite their comparable catalytic performance, the economic factor becomes a critical consideration when choosing between these two catalysts. Given the high cost of rhenium, the 5Cu-2Re catalyst, with its lower Re content, presents a more economically viable option without compromising the desired selectivity. This makes it a more attractive choice for industrial applications, where balancing performance with cost-efficiency is essential for scaling up processes.

Given its promising performance, the 5Cu-2Re catalyst was selected for further evaluation at various temperatures, with the results presented in Fig. 6 (A). Within the temperature range studied (180–220 °C), a clear trend emerged: as the temperature increased, the formation of 2-MF rose significantly, from 22 % at 180 °C to 95 % at 220 °C. This behavior aligns with established reaction mechanisms, as lower temperatures tend to favor hydrogenation reactions, while higher temperatures promote hydrodeoxygenation (HDO) reactions. The increase in 2-MF formation at elevated temperatures can be attributed to the enhanced cleavage of C-O bonds, which is more energetically favorable at higher temperatures [28,29].

In addition to temperature effects, the influence of $N_2$ pressure on the reaction was investigated by maintaining a constant temperature of 220 °C. The results, also displayed in Fig. 6 (B), showed that FAL conversion remained at 100 % across all pressures tested (10, 20, and 30 bar), with no significant variation in 2-MF selectivity, which ranged from 92 % to 95 %. This consistency in performance is explained by the nature of the system, which uses 2-PrOH as the hydrogen donor. Since the hydrogen source is not external $H_2$ gas, the variation in $N_2$ pressure was not expected to impact the conversion or selectivity, and the results confirmed this [28]. These further underscores the efficiency and robustness of the 5Cu-2Re catalyst under a range of conditions, making it a strong candidate for industrial applications where temperature and pressure fluctuations might occur.

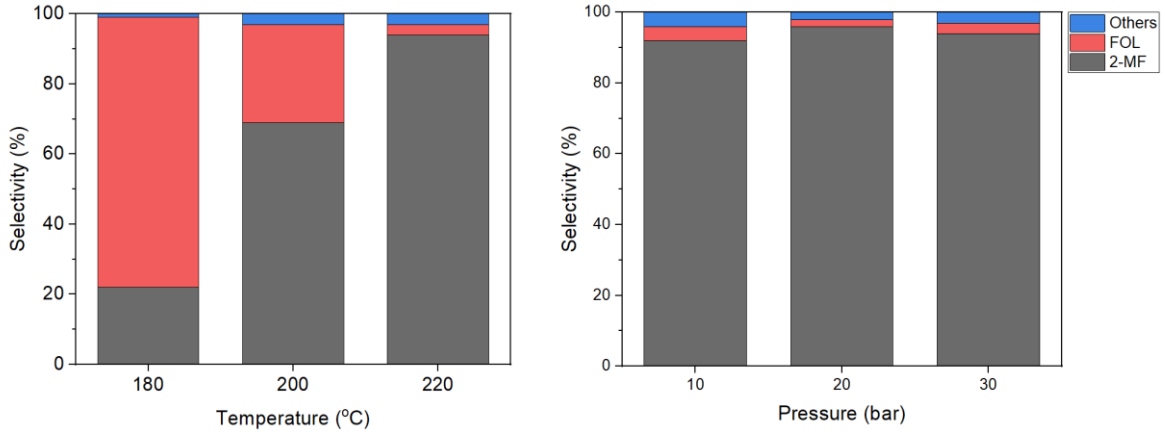



Figure 6: (A) Effect of temperature and (B) $N_2$-pressure on HDO of furfural using 5Cu-2Re catalyst.

## 4. CONCLUSIONS

$H_2$-TPR analysis revealed the reduction temperature for metals in bimetallic systems was lower than that for monometallic ones, highlighting a significant synergistic effect between Cu and Re. This interaction improved the catalytic properties of those systems. However, higher Re loadings tended to cover the Cu surfaces. The product distribution was notably affected by the Re loading. Specifically, a small addiction of Re (0.5 %) leads up to 80 % of selectivity to 2-MF. Due to the high cost of rhenium, the 5Cu-2Re catalyst, with its lower Re content, offers a more cost-effective alternative without sacrificing the desired selectivity. Consequently, it stands out as a more viable option for industrial purposes, where balancing optimal performance with economic efficiency is crucial for scaling up processes.

**ACKNOWLEDGMENTS.**

The authors would like to thank CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for the scholarships received.

**ABOUT THE AUTHORS**

Claudio Roberto Almeida de Abreu is a PhD student in the Chemical Engineering Program (COPPE) at the Federal University of Rio de Janeiro. Rodrigo de Paiva Floro Bonfim and Priscilla Magalhães de Souza are postdoctoral researchers in the same program. Fabio Souza Toniolo is a professor in the Chemical Engineering Program at COPPE, Federal University of Rio de Janeiro.

**REFERENCES**

1. DENG, Weiping. *et al.* "Catalytic conversion of lignocellulosic biomass into chemicals and fuels". *Green Energy and Environment*, 2023, vol 8, pp. 10–114.

2. VARILA, Tony. *et al.* "Conversion of furfural to 2-methylfuran over CuNi catalysts supported on biobased carbon foams". *Catalysis Today*, 2021, vol 367, pp. 16–27.

3. MARTÍNEZ, Natalia. *et al.* "Effect of Cu addition as a promoter on $Re/SiO_2$ catalysts in the hydrodeoxygenation of 2-methoxyphenol as a model bio oil compound". *Fuel*, 2016, vol 186, pp. 112–121.

4. TELES, Camila. *et al.* "Hydrodeoxygenation of Phenol over Zirconia-Supported Catalysts: The Effect of Metal Type on Reaction Mechanism and Catalyst Deactivation". *ChemCatChem*, 2017, vol 9, pp. 2850–2863.

5. RESENDE, Karen. *et al.* "Hydrodeoxygenation of phenol over zirconia supported Pd bimetallic catalysts. The effect of second metal on catalyst performance". *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol 232, pp. 213–231.

6. SHAO, Yuewen. *et al.* "Competition between acidic sites and hydrogenation sites in $Cu/ZrO_2$ catalysts with different crystal phases for conversion of biomass-derived organics". *Green Energy and Environment*, 2021, vol 6, pp. 557–566.

7. SHI, Zhisheng; TAN, Qingqing; Wu, Dongfang. "A novel Core–Shell structured $CuIn@SiO_2$ catalyst for $CO_2$ hydrogenation to methanol". *AIChE Journal*, 2019, vol 65, pp. 1047–1058.

8. POSPELOVA, Violetta. *et al.* "CuZn Catalysts Superior to Adkins Catalysts for Dimethyl Adipate Hydrogenolysis". *ChemCatChem*, 2019, vol 11, pp. 2169–2178.

9. CUI, Guoqing. *et al. "*Low-temperature hydrogenation of dimethyl oxalate to ethylene glycol via ternary synergistic catalysis of Cu and acid−base sites". *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, vol 248, pp. 394–404.

10. YANG, Haiyan. *et al. "*Core-shell structured $Cu@m\text{-}SiO_2$ and $Cu/ZnO@m\text{-}SiO_2$ catalysts for methanol synthesis from $CO_2$ hydrogenation". *Catalysis Communications*, 2016, ol 84, pp. 56–60.

11. LIU, Hailong. *et al.* "Efficient production of methanol and diols via the hydrogenation of cyclic carbonates using copper-silica nanocomposite catalysts". *Green Chemistry*, 2015, vol 17, pp. 4281–4290.

12. THOMMES, Matthias. *et al. "*Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report)". Pure and Applied Chemistry, 2015, vol 87, pp. 1051–1069.

13. Zhu, Zekun. *et al.* "Highly efficient catalytic transfer hydrogenation of furfural over defect-rich amphoteric $ZrO_2$ with abundant surface acid-base sites". *Dalton Transactions*, 2021, vol 50, pp. 2616–2626.

14. LIU, Jingge. *et al.* "Nano-$ZrO_2$ as hydrogenation phase in bi-functional catalyst for syngas aromatization". *Fuel*, 2020, vol 263.

15. DU, Zhongnan. *et al.* "Stable ethanol synthesis via dimethyl oxalate hydrogenation over the bifunctional rhenium-copper nanostructures: Influence of support". *Journal of Catalysis*, 2022, vol 407, pp. 241–252.

16. ZAKI, Mohamed. *et al.* "In situ FTIR spectra of pyridine adsorbed on $SiO_2$-$Al_2O_3$, $TiO_2$, $ZrO_2$ and $CeO_2$: general considerations for the identification of acid sites on surfaces of finely divided metal oxides". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2001, vol 190, pp. 261-274.

17. XIAODING, Xu; MOL, Johannes; BOELHOUWER, Cornelis. "Surface Acidity of some $Re_2O_7$-containing Metathesis Catalysts". *Journal of Chemical Society*, 1986, vol 82, pp. 2707-2718.

18. Vuurman, M. *et al. "*Structural determination of surface rhenium oxide on various oxide supports ($Al_2O_3$, $ZrO_2$, $TiO_2$, $SiO_2$). Journal of Molecular Catalysis, 1992, vol 76, pp. 263-285.

19. TUREK, Andrzej; WACHS, Israel. "Acidic properties of alumina-supported metal oxide catalysts: An infrared spectroscopy study". *Journal of Physical Chemistry*, 1992, vol 96, pp. 5000-507.

20. WITOON, Thongthai. *et al.* "$CO_2$ hydrogenation to methanol over Cu/$ZrO_2$ catalysts: Effects of zirconia phases". *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol 293, pp. 327–336.

21. MIZERA, Adrian. *et al.* "Cu supported on various oxides as a candidate catalyst for dry methane reforming in DIR-SOFCs systems". *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, vol 47, pp. 25647–25661.

22. ZHOU, Kuo. *et al.* "Enhanced Catalytic Transfer Hydrogenation of Biomass-Based Furfural into 2-Methylfuran over Multifunctional Cu-Re Bimetallic Catalysts" *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2020, vol 8, pp. 16624–16636.

23. WANG, Xiaofei. *et al.* "Synergistic effect for selective hydrodeoxygenation of anisole over Cu-$ReO_x$/$SiO_2$", *Catalysis Today*, 2021, vol 365, pp. 223–234.

24. ZHANG, Zhengliang. *et al.* "Single pot selective conversion of furfural into 2-methylfuran over a Co-$CoO_x$/AC bifunctional catalyst". Applied Surface Science, 2023, vol 612.

25. CHEN, Shuo. *et al.* "How Catalysts and Experimental Conditions Determine the Selective Hydroconversion of Furfural and 5-Hydroxymethylfurfural". *Chemical Reviews*, 2018, vol 118, pp. 11023–11117.

26. SITTHISA, Surapas; RESASCO, Daniel. "Hydrodeoxygenation of furfural over supported metal catalysts: A comparative study of Cu, Pd and Ni". *Catalysis Letters*, 2011, vol 141, pp. 784–791.

27. CHUSEANG, Jirawat. *et al.* "Selective hydrogenolysis of furfural into fuel-additive 2-methylfuran over a rhenium-promoted copper catalyst". *Sustainable Energy and Fuels*, 2021, vol 5, pp. 1379–1393.

28. LUO, Jingjie. *et al.* "Efficient Cu/$FeO_x$ catalyst with developed structure for catalytic transfer hydrogenation of furfural", *Journal of Catalysis*, 2022, vol 413, pp. 575–587.

29. KALONG, Munsuree. *et al.* "Hydrogen-free hydrogenation of furfural to furfuryl alcohol and 2-methylfuran over Ni and Co-promoted Cu/$\gamma$-$Al_2O_3$ catalysts". *Fuel Processing Technology*, 2021, vol 214.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OPTIMIZACIÓN Y DESARROLLO DE MODELO MATEMÁTICO PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE SOLDADURA POR FRICCIÓN AGITACIÓN DE LA ALEACIÓN 6061.

**Fernando Franco Arenas[1], Henry Alexander Romero Rodriguez[2], Laura Cecilia Zarate Mejia[3]**

[1] Profesor docente asociado, Universidad del Valle sede Meléndez edificio E47, segundo piso [2] Estudiante Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, [3] Estudiante Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle

[1]e-mail: fernando.franco@correounivalle.edu.co [2]e-mail: henry.romero@correounivalle.edu.co, [3]e-mail: laura.zarate@correounivalle.edu.co

**RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema control de los parámetros de calidad de uniones soldadas por el método de soldadura por fricción-agitación de la aleación de aluminio 6061. Para realizar esto se hará uso del centro de mecanizado CNC, al que se le adaptará una serie de sensores para la medición de las variables de operación (torque, fuerza axial, fuerza de avance y temperatura) los cuales están conectados a una tarjeta de adquisición de datos que se encargará de convertir estas señales análogas a una forma digital, las señales se utilizarán para la creación de un algoritmo de control que relacione las variables de salida con las variables de entrada (velocidad angular, velocidad de avance, penetración de la herramienta de trabajo y ángulo de inclinación) para lograr uniones soldadas de alta calidad.

**PALABRAS CLAVES: Soldadura por fricción agitación, 6061-T6, Corrosión, Propiedades mecánicas, Control, Instrumentación.**

**OPTIMIZATION AND DEVELOPMENT OF A MATHEMATIC CONTROL MODEL FOR THE PROCESS OF FRICTION STIR WELDING FOR THE 6061 ALLOY.**

**ABSTRACT**

The objective of this work is the design of a control system for the quality parameters of joints welded by the friction stir welding method of the 6061 aluminum alloy. To do this, a CNC machining center will be used, to which a series of sensors will be adapted to measure the operating variables (torque, axial force, feed force and temperature), which are connected to a data acquisition card that will convert these analog signals to digital form. The signals will be used to create a control algorithm that relates the output variables to the input variables (angular velocity, feed rate, penetration of the work tool and inclination angle) to achieve high quality welded joints.

**KEY WORDS: Friction stir welding, 6061-T6, Corrosion, Mechanical properties, Control, instrumentation.**

## 1. INTRODUCCIÓN

El avance de la ciencia y tecnología a nivel mundial ha impulsado la mejora y automatización de los procesos. Las necesidades de la sociedad de nuevos materiales o materiales con características físicas y mecánicas mejoradas y el crecimiento del nicho del mercado para tales materiales y aplicaciones impulsó a la creación de nuevos métodos y procesos para lograr tales fines, uno de estos procesos surgió a finales del siglo pasado en el Reino Unido.

Este proceso permitió la unión de materiales y piezas que hasta ese momento no se habían podido unir por métodos tradicionales de una forma limpia, efectiva, segura y evitando una gran parte de los defectos ocasionados por los métodos tradicionales. El método que logra este fin se llama soldadura por fricción y agitación.

La soldadura por fricción agitación es un método para unir dos o más piezas en estado sólido donde una herramienta rotatoria que consiste en una sonda sostenida por un codo que presiona una sonda que está rotando sobre el material, la fricción entre las piezas genera calor, que lleva al material a un estado plástico, donde el pin de la herramienta hace que los materiales se mezclen como si de una plastilina se tratase en la línea de junta mientras la sonda permanece intacta.

En este proyecto se pretende establecer un punto adecuado de operación de las variables del proceso de soldadura por fricción agitación, calculando y midiendo los valores adecuados de operación de las variables de torque, fuerza axial, fuerza de avance y temperatura para lograr un alto grado de calidad de las uniones soldadas por el proceso de soldadura por fricción agitación de la aleación de aluminio 6061-T6

## 1. OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es optimizar el proceso y desarrollo de algoritmo de control del proceso para obtener uniones soldadas sanas por el método de soldadura por fricción-agitación de la aleación 6061.

Los objetivos secundarios:

- Obtener el procedimiento óptimo de las uniones soldadas por el método de soldadura por fricción-agitación.
- Determinar el comportamiento mecánico de las uniones soldadas, en función de las variables del proceso.
- Determinar un modelo matemático para relacionar propiedades mecánicas con procedimiento del proceso para diseñar un sistema de control de los parámetros del proceso de soldadura por fricción-agitación.

## 2. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo se tienen cuatro frentes de trabajo, para el desarrollo de cada uno de ellos se hizo una investigación bibliográfica extensiva con el fin de ejecutar el proyecto con una sustentación técnica y tecnológica.

### Fabricación cordones de soldadura

Para la fabricación de los cordones de soldadura, se utilizó desde un principio el montaje desarrollado por [Paz Munares, 2019] en trabajos anteriores que consta de una placa de acero que es utilizada como base y dos listones de acero que sujetan por presión a las láminas de aluminio a soldar. En este montaje se hizo uso de un dinamómetro que se puede apreciar en la fig 1, al que se le acopla en un extremo la herramienta que suelda las láminas de aluminio. Este dinamómetro a pesar de que presenta mucho ruido en sus señales, pero permite una medida del torque bastante confiable, pero las señales de fuerza de avance y normal además de presentar distorsión no eran tan confiables puesto que estaban siendo captadas desde el mismo puente de wheatstone. Teniendo en cuenta esta situación se decidió utilizar el montaje de sujeción y el dinamómetro solo en su función de torquímetro.



Figura 1. Dinamómetro diseñado por Orlando Paz 2019.

Primero se realizaron unos cordones de soldadura de prueba con valores establecidos de entrada para conocer el proceso, el desempeño y operación de la máquina. Luego se hará la instrumentación con el fin de poder medir las variables del sistema y finalmente se observará el desempeño del centro de mecanizado, el dinamómetro junto al posible prototipo desarrollado.
Se determinó realizar los cordones de soldadura empleando las variaciones en las variables del proceso que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Valores determinados en el proceso.

| Velocidad de rotación(RPM) | Velocidad de soldadura (mm/min) |
|---|---|
| 800 | 20-126-200 |
| 1400 | 20-126-200 |
| 1900 | 20-126-200 |

La base para sujeción se modificó para que además pudiese servir como dinamómetro utilizando como referencia un diseño basado en un dinamómetro para medir fuerzas de corte en un torno CNC como se puede apreciar en la fig 2, basado en anillos octogonales diseñados de tal forma que al aplicarse las fuerzas sobre la pieza estos se deformen de modo elástico y esta pueda ser captada por galgas extensiométricas [Arley Burbano, 2021].

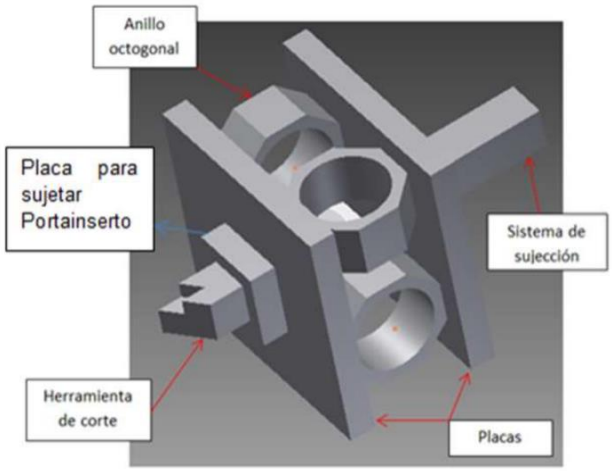



Figura 2. diseño de dinamómetro para medir fuerzas de corte en un torno CNC diseñado por Arley burbano 2019

Con estas modificaciones se obtuvo el montaje que se puede ver en la fig 3, en donde a la parte inferior de la placa de sujeción se le agregaron cuatro anillos octogonales para medir fuerza de avance y fuerza normal, el montaje ha demostrado en pruebas preliminares tener una buena estabilidad física ante las fuerzas a las que será sometida.

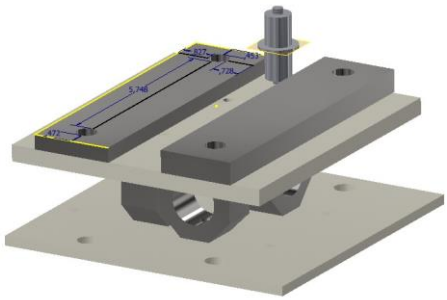


Figura 3. Montaje dispositivo de sujeción de placas y dinamómetro.

Al acoplar galgas extensiométricas a las caras superiores de los octógonos se pueden adquirir los datos de fuerza de avance aplicada durante el proceso de soldadura. Por otra parte al aplicar galgas extensiométricas en las caras verticales de los octógonos se puede percibir la fuerza normal y captar esta durante el proceso. Las galgas para ambas fuerzas están en configuración de puente de wheatstone completo. Para adquisición de datos se utilizó para cada puente un módulo HX711 ambos conectados a un arduino Uno como se puede apreciar en la fig 4, este se programa para adquirir estos datos y al iniciar cada medición calibrar. El arduino se conecta al computador comunicándose por el puerto COM. Al utilizar el complemento COM de excel es posible obtener los datos obtenidos en tiempo real, grabarlos a voluntad y de forma ordenada para ser utilizados con facilidad en otras partes del proyecto o futuros desarrollos de este.

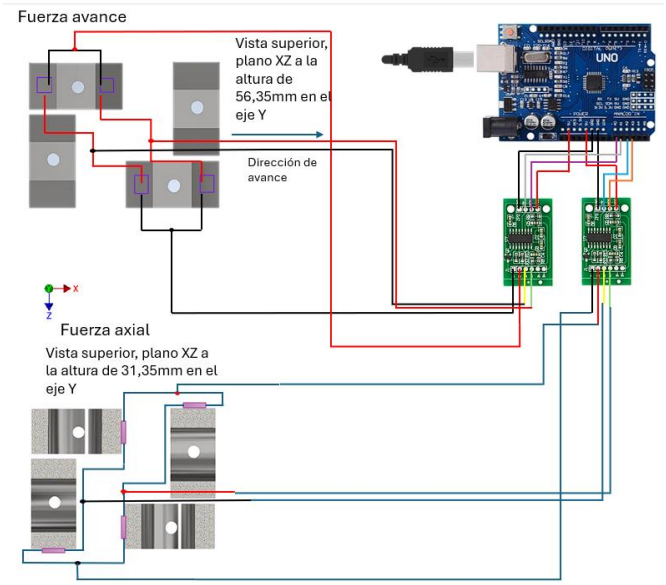



Figura 4. Esquema completo ubicación de galgas y conexión a módulos HX711 y arduino UNO.

Al tener el montaje electrónico y mecánico fabricado y posteriormente calibrado es posible proceder a fabricar los cordones finales de soldadura. La temperatura durante el proceso se registrará mediante un termómetro láser que se apuntará al cordón en proceso, los datos obtenidos serán registrados y analizados posteriormente.

**Comportamiento mecánico del material**

Considerando las propiedades más importantes del material para la aplicación naval, se eligieron las siguientes pruebas de resistencia mecánica y resistencia a la corrosión:

**Pruebas de tracción**: Se utiliza para determinar el límite elástico, límite de elasticidad, resistencia a la tracción, elongación y reducción de área de materiales metálicos a temperatura ambiente siguiendo la norma ASTM E8.

**Pruebas de Flexión**: Se utiliza para determinar la integridad y ductilidad de las soldaduras en materiales ferrosos y no ferrosos; se rige bajo la norma ASTM E190 y AWS B4.0.

Dureza vickers: Para determinar el valor de dureza de las muestras se utiliza un micro-durómetro bajo las Normativas: ASTM E384, ISO 6507 y JIS Z 2244.

**Pruebas de Resistencia a la corrosión**

**Prueba de inmersión**: Esta prueba mide particularmente la pérdida de masa y sigue la norma ASTM G31. Además, de determinación del potencial de picaduras, el potencial indica la tendencia del material a experimentar corrosión localizada y proporciona información sobre su resistencia a la corrosión.

**Prueba de corrosión acelerada**: Determinación de la velocidad de corrosión por medio del potenciostato galvanostato de acuerdo al estándar ASM 13A. Obteniendo las curvas de corriente potencial de los metales en solución.

**Desarrollo del modelo matemático para el algoritmo de control.**

Se procuran seguir los pasos brindados por JAIN et al, 2017 para el modelo, considerando aspectos tales como la complejidad, modelo geométrico a seguir, propiedades del material y ecuaciones consecutivas, interacciones de contactos, condiciones de borde, generación de malla y solución final. El modelo se debe validar con los resultados experimentales puesto que la sensibilidad del modelo se basa en suposiciones, propiedades del material y condiciones de borde.

Para modelar el proceso se decidió utilizar el análisis euleriano, teniendo presente que este modelo tiene como limitación principal que la etapa primaria de penetración de la herramienta en las piezas a soldar no se puede simular, por lo que el análisis y simulación se hará a partir de ahí para el resto del proceso.

## 3. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera mejorar sustancialmente los resultados obtenidos en las pruebas preliminares donde se vieron fallas graves en las uniones soldadas, que generaron tanto falta de penetración como una fisuras bastante pronunciadas, estas se pueden apreciar en la fig 5, parte B y C respectivamente. Estos defectos se ven fuertemente reflejados en las pruebas de flexión, fig 6 en esta se ve de forma clara la diferencia entre el material base y la unión soldada donde esta última tuvo una resistencia máxima marcadamente inferior.

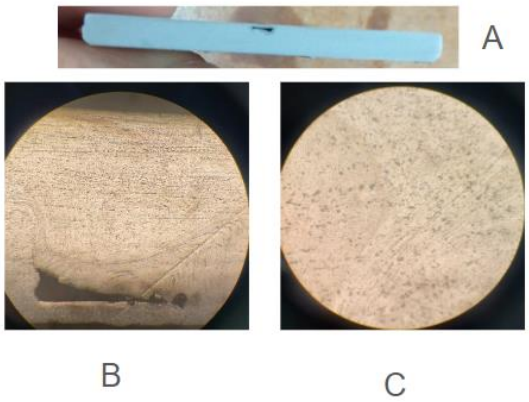



Figura 5. unión soldada A. corte transversal de la unión soldada, B. Metalografía de la unión, C. fisura en la unión.

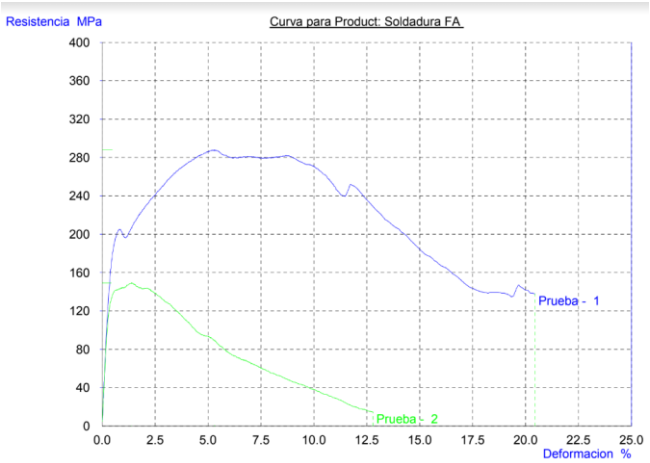



Figura 6. Gráfica de flexión de la aleación 6061-T6 prueba 1 y de la unión soldada prueba 2.

Ante las pruebas de corrosión se espera obtener resultados comparables a los que obtuvieron V. Fahimpou et al 2012 en la fig 7 donde la soldadura por fricción-agitación tiene una buena resistencia a la corrosión comparable con la del material base aunque en este estudio se muestra que este último tiene una mejor resistencia. Otros estudios tales como Xu, 2010 mostraron que las uniones soldadas por este método pueden tener la misma resistencia a la corrosión que el material base e incluso superior a este.

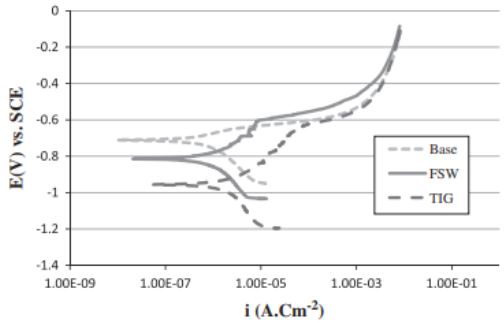



Figura 7. Curvas de polarización tafel para el material base, soldadura por fricción agitación y TIG [Fahimpou et al, 2012].

Las señales obtenidas con anterioridad del dinamómetro que mide torque, tienen mucho ruido, a tal punto de que hay zonas donde no se puede apreciar ningún valor de forma clara, diferente de aquel que el sistema capta cuando no se está aplicando ninguna carga como se puede ver en la figura 8A. Con un mejor filtrado y normalizado de la señal se espera obtener datos para analizar similares a los que se pueden apreciar en la fig 8.B donde se puede apreciar una señal mucho más limpia y clara, que facilita el análisis y procesamiento para posteriores usos de estos datos.

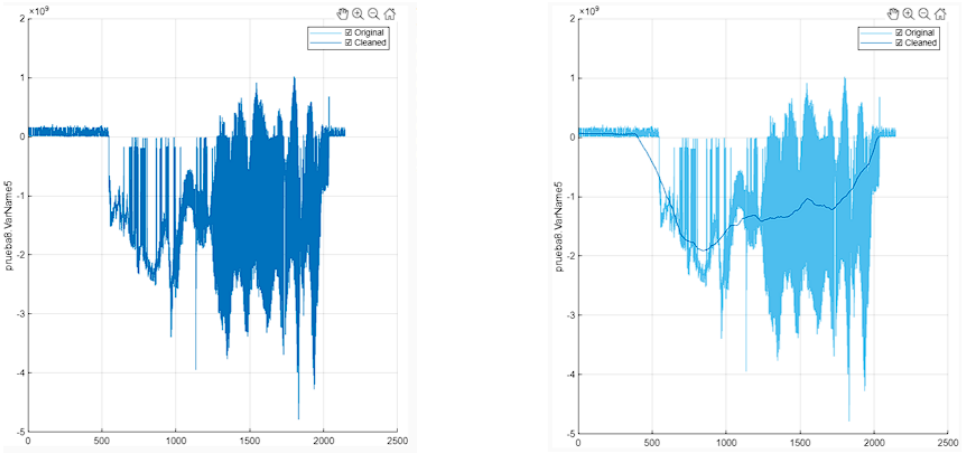



Figura 8. A. Señal obtenida con el equipo de medición de torque. B. Filtrado y normalizado de la señal obtenida.

Se espera obtener un modelo euleriano similar  al obtenido por Zhang, 2014, que obtuvieron resultados bastante cercanos a los obtenidos experimentalmente como se puede ver en la fig 9.

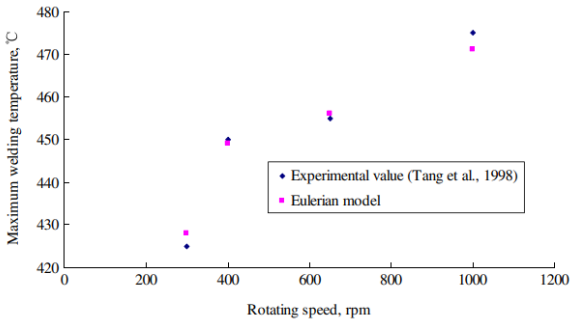



Figura 9 Comparación de la predicción de temperatura máxima con la obtenida de forma experimental [Zhang, 2014]

Al obtener un modelo funcional ya es posible modelar el algoritmo de control y poder informarle al operario si es necesario alterar alguna de las variables del proceso para mejorar la calidad de las uniones soldadas a obtener.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los laboratoristas del laboratorio de mecánica especialmente a Edinson Balanta Nuñez, Luis Ernesto Acosta; los de los laboratorios de la escuela de ingeniería de materiales y el codirector del proyecto Msc. Orlando Paz Munares que han sido de invaluable ayuda para el proyecto además de contar con la voluntad de enseñar y acompañar las diferentes fases de este.

**REFERENCIAS**

1. PAZ, Orlando. "Sistema para caracterizar en línea los parámetros de calidad de las uniones soldadas en el proceso de soldadura por fricción agitación de aleaciones de magnesio". Director: Jose Isidro Garcia Melo, Fernando Franco Arenas. Tesis de maestría en mecánica con énfasis en automática, Universidad del Valle, Ciudad de Cali, 2019
2. ARLEY, Burbano. "Diseño, construcción y calibración de un dinamómetro para medir fuerzas de corte en un torno CNC". Director: John Jairo Coronado Marín. Tesis de pregrado, Universidad del Valle, Ciudad de Cali, 2021.
3. ASTM. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM E3. ASTM International. West Conshohocken. USA. 2024.
4. ASTM. Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds. ASTM E190-21. ASTM International. West Conshohocken. USA. 2021
5. AWS. Standard Methods for Mechanical Testing of Welds An American National Standard. AWS B4.0. American Welding society. Doral. USA. 2016.
6. ASTM. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. ASTM E384-22. ASTM International. West Conshohocken. USA. 2022
7. JIS. Vickers hardness test. JIS Z 2244-1 : 2020. Japanese Industrial Standards Committee, Tokio Japon. 2020.
8. ASTM. Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. ASTM G31-21. ASTM International. West Conshohocken. USA. 2022
9. CRAMER, Stephen. CORVINO JR. Bernard ASM Handbook, Volume 13A: Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection (ASM Handbooks). Editorial: ASM International.2003.ISBN-13. 978-0871707055
10. JAIN, Rahul. PAL, Surjya. SINGH, Shiv. Computational Methods and Production Engineering. Aveiro, Portugal, Editorial Woodhead Publishings, 2017, pp. 125-169 DOI http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-85709-481-0.00005-7.
11. FAHIMPUR, V. SADRNEZHAAD, F. KARIMZADEH. "Corrosion behavior of aluminum 6061 alloy joined by friction stir welding and gas tungsten arc welding methods". Materials & Design, 2012, vol 39, pp. 329-333.
12. XU, Weifeng. LIU, Jinhe. "Laser surface melting of aluminium alloy 6013 for improving pitting corrosion fatigue resistance". *Surface and coatings technology*, 2006, vol. 200, no 16-17, p. 5077-5086.
13. ZHANG, Z; ZHANG, H W. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology; Heidelberg, 2014, Tomo 72, N.º 9-12, pp. 1647-1653.

**Sobre los autores**

Fernando Franco Arenas.
Ingeniero mecánico, Universidad del Valle. Doctorado en ingeniería – Énfasis en ingeniería de materiales, Universidad del valle. Profesor docente asociado. Áreas de interés: Metalurgia, Soldadura y Aleaciones ligeras. Área académica: materiales metálicos. Grupo de investigación: Laboratorio de caracterización del grupo GMC.

Henry Alexander Romero Rodriguez
Estudiante de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle. Tecnólogo en diseño e integración de automatismos mecatrónicos. Áreas de interés:Calidad de la Soldadura.

Laura Cecilia Zarate Mejia
Estudiante de Ingeniería de Materiales e Ingeniería Electrónica, Universidad del Valle. Áreas de interés: Automatización, Instrumentación, Procesos Industriales, Robótica, Soldadura y Control de Calidad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE LOS PRODUCTOS ZEOLÍTICOS NEREA®

**Julio Cesar Molina Amat[1], Yamilé de la Nuez Pantoja[1], Inocente Rodríguez Iznaga[1], Gerardo Rodríguez Fuentes[1]**

[1]Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas Naturales (NatZEng®), Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), Universidad de La Habana (UH), La Habana, Cuba
[1]e-mail: jmolinaamat@gmail.com

## RESUMEN

Se presenta un análisis sobre la producción nacional, comercialización, particularidades y uso de los productos NEREA®, materiales zeolíticos nanoestructurados que contienen los macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos. Constituyen una plataforma de liberación controlada de nutrientes, donde las plantas toman solamente lo que necesita para desarrollarse. Son materiales eco-amigables, no generan residuos en su producción y utilización, permiten ahorrar hasta el 90% de los nutrientes, normalmente utilizados en los cultivos, sin afectar los rendimientos agrícolas. Los productos NEREA® Sustrato, NEREA® Fertilizante y NEREA® Plus están registrados para el cultivo sin suelo o mezclado con otros sustratos, como fertilizante edáfico y foliar, respectivamente. Actualmente el país cuenta con 3 plantas instaladas y 2 en construcción en distintas provincias, amparado con contratos de licencia y transferencia de la tecnología de producción entre el sector industrial y la Universidad de La Habana. Como una distinción, estas plantas productoras registran de forma independiente sus productos NEREA® que elaboran con denominación de origen atendiendo al mineral zeolítico, agua, microclima e instalación tecnológica. A pesar de las notables limitaciones en muchas de las plantas instaladas, debido a la carencia de insumos de fertilizantes, sacos, transportación de la materia prima zeolítica, energía eléctrica, combustible tecnológico, etc., la producción se ha visto afectada pero no interrumpida. Ello ha permitido que desde inicios de la producción se hayan producido alrededor de 3608 t de productos NEREA®, apoyando en gran medida la agricultura cubana, de forma disruptiva y generando nuevos paradigmas.

**PALABRAS CLAVES:** producción industrial, sustrato, fertilizante edáfico, fertilizante foliar, productos zeolíticos NEREA®.

## INDUSTRIAL PRODUCTION OF NEREA® ZEOLITIC PRODUCTS

## ABSTRACT

An analysis is presented on the national production, marketing, particularities and use of NEREA® products, nanostructured zeolitic materials that contain the macro and micronutrients necessary for the optimal development of crops. They constitute a platform for the controlled release of nutrients, where plants take only what they need to develop. They are eco-friendly materials, do not generate waste in their production and use, and allow saving up to 90% of the nutrients normally used in crops, without affecting agricultural yields. The products NEREA® Substrate, NEREA® Fertilizer and NEREA® Plus are registered for soilless cultivation or mixed with other substrates, as soil and foliar fertilizer, respectively. Currently, the country has 3 plants installed and 2 under construction in different provinces, supported by licensing contracts and transfer of production technology between the industrial sector and the University of Havana. As a distinction, these production plants independently register their NEREA® products that they make with a designation of origin based on the zeolitic mineral, water, microclimate and technological installation. Despite the notable limitations in many of the installed plants, due to the lack of inputs of fertilizers, bags, transportation of the zeolitic raw material, electric energy, technological fuel, etc., production has been affected but not interrupted. This has allowed around 3,608 t of NEREA® products to be produced since the beginning of production, greatly supporting Cuban agriculture in a disruptive way and generating new paradigms.

**KEY WORDS:** industrial production, substrate, edaphic fertilizer, foliar fertilizer, NEREA® zeolitic products.

## 1. INTRODUCCIÓN

En noviembre de 2019 dio inicio la producción industrial de los productos zeolíticos NEREA®, con la puesta en marcha de la Planta Experimental NEREA® (PEN) ubicada en la UEB Geominera Holguín. Una planta piloto para la obtención y manufactura de los productos zeolíticos NEREA® Sustrato, NEREA® Fertilizante y NEREA® Plus. Estos productos están registrados en el Registro Central de Fertilizantes del Ministerio de la Agricultura (MINAG) para el cultivo sin suelo o mezclado con otros sustratos, como fertilizante edáfico (al suelo) y foliar (dispersado en agua), respectivamente. Actualmente están siendo usados en la agricultura nacional con buenos resultados y aceptación en la producción de alimentos agrícolas y otros cultivos. Es válido destacar que existen resultados positivos que avalan el uso combinado entre sí de estos productos, lo que abre nuevas perspectivas en su aplicación [1,2].

Los productos NEREA® son materiales zeolíticos nanoestructurados que contienen los macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos. Su contenido de nutrientes (N, P, K, etc.) es muy inferior a lo establecido por la Agronomía para el crecimiento de las plantas. Constituyen una plataforma de liberación controlada de nutrientes, de forma tal que la planta toma lo necesario para desarrollarse. Esta cualidad limita las pérdidas por lixiviación de nutrientes y consecuentemente la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, y controla la proliferación de plagas en el suelo que puedan vivir a expensas de los nutrientes residuales. Los productos NEREA® son eco-amigables, no generan residuos en su producción y utilización, permiten ahorrar hasta el 90% de los nutrientes normalmente utilizados en los cultivos, sin afectar los rendimientos agrícolas.

La tecnología de producción NEREA®, se desarrolla en el Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas Naturales (NatZEng®) del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (UH) desde 1985. Durante más de 30 años se perfeccionó, mejoró y optimizó una tecnología agroecológica, que incorpora al mineral zeolítico - un mineral que forma parte de los suelos más productivos del planeta - los nutrientes que no contiene y que requieren las plantas, en cantidades y proporciones óptimas, mediante procesos de intercambio iónico y adsorción, que no contamina el ecosistema durante su producción y empleo. Los productos NEREA® no son mezclas físicas de los fertilizantes y el mineral zeolítico, son obtenidos por aplicación de una tecnología limpia que incluso genera una importante reducción de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Según un estudio realizado por International Zeolite Corp [3] empleando los estándares de la agricultura de Canadá, y los resultados de la validación del NEREA® fertilizante en el cultivo de la papa en Cuba conducido por el MINAG, en 2018 [4], se evitó la emisión de 575,68 kg $CO_2e$ por hectárea por ciclo de cultivo. Un aporte significativo a la reducción de la Huella de Carbono y del Cambio Climático. La Tecnología de producción NEREA® es un secreto industrial desde 1988. Una marca registrada en Cuba (CU-0096/2014), registrada en Canadá (Appl. No. 2160313) y solicitada en Estados Unidos (Serial No. 97494241). “Procedimiento para la obtención de sustratos y fertilizantes zeolíticos de liberación controlada y métodos de tratamiento de las plantas” es la patente concedida en Cuba (CU 2021-0017 [5]) y solicitada en Canadá (H8327186CA [6]). Estos productos han sido validados y registrados en Cuba y México, y en otros países también han sido evaluados positivamente. Este trabajo presenta un análisis de la producción industrial nacional de estos productos y su comercialización, así como de sus particularidades y uso.

## 2. PRODUCTOS ZEOLÍTICOS NEREA®

### NEREA® Sustrato

Los sustratos zeopónicos NEREA® se diseñaron originalmente para utilizar el mineral zeolítico de diferentes yacimientos cubanos de zeolitas naturales. Puede utilizarse solo o mezclado (5 al 95%) con materia orgánica, compost y otros sustratos. Se utiliza en semilleros, viveros, cultivos in vitro, trasplantes

de árboles frutales, cultivos de interior, jardines, macetas, instalaciones hidropónicas y organopónicas. Su contenido de nutrientes está ajustado para no producir daños a las semillas, con contenidos variables en N, P y K de 0.2–0.5%, 0.3–0.6% y 1.5–1.7%, respectivamente. Ninguna disolución nutritiva es necesaria cuando se utiliza este producto, las plantas se riegan sólo con agua. La evaluación técnico-económica realizada durante 20 años por especialistas del Instituto de Suelos y el Grupo Geominsal evidenció las ventajas de los sustratos NEREA®. En la producción de semillas certificadas de papa, el Instituto de Biotecnología de las Plantas de la Universidad Central de Las Villas ha certificado que el "mejor sustrato es NEREA®". "La Universidad de Granma ha desarrollado una tecnología propia para la producción acelerada de semillas de tubérculos, denominada Brotaplus, que gracias a NEREA® Sustrato ha multiplicado su impacto, en Granma y otras nueve provincias, para potenciar la producción de ñame, malanga y papa, y fortalecer los programas agroalimentarios de autoabastecimiento municipal y local".

Desde 2021, se validan en Canadá por instituciones científicas independientes de referencia Vineland Research and Innovation Centre, y Agriculture & Environmental Technologis Innovation Centre (AETIC) of Niagara College. Ambas instituciones validaron el producto NEREA® sustrato para el cultivo de hortalizas y flores *indoor* (invernaderos, casas de cultivo protegidos y domésticos) que representan un mercado muy grande en Canadá y EE.UU. La validación efectuada por el centro Vineland en el cultivo de lechuga y albahaca arrojó los mejores resultados en la alternativa con un 25% de NEREA® sustrato mezclado con un sustrato hidropónico comercial utilizando sólo agua para su riego (Fig. 1). En el caso de la validación realizada por el centro AETIC-Niagara College en el cultivo de lechuga y albahaca y utilizando sólo agua para su riego, se obtuvieron los mejores resultados en la alternativa con un 25% de NEREA® sustrato mezclado con un sustrato hidropónico comercial (Fig. 2). Los rendimientos de lechuga y albahaca crecieron un 33% y 50% respectivamente, y las ganancias por ciclo de cultivo de los agricultores se incrementaron respectivamente en 150 y 200 dólares canadienses (CAD).

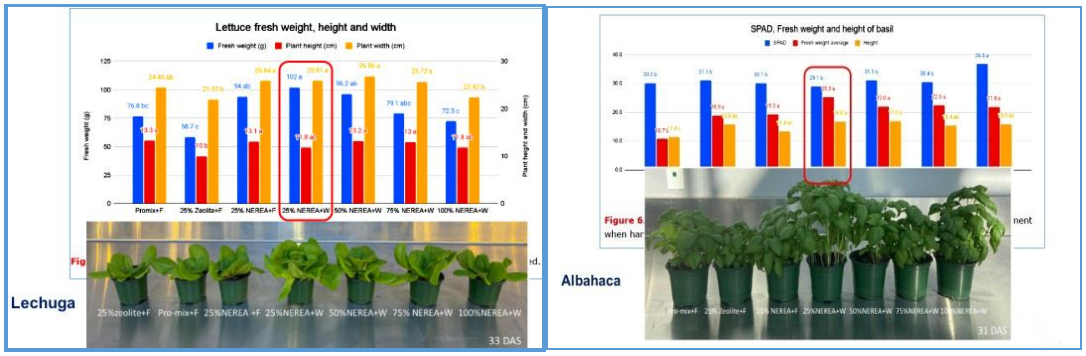



Figura 1: Validación por el centro Vineland en el cultivo de lechuga y albahaca.

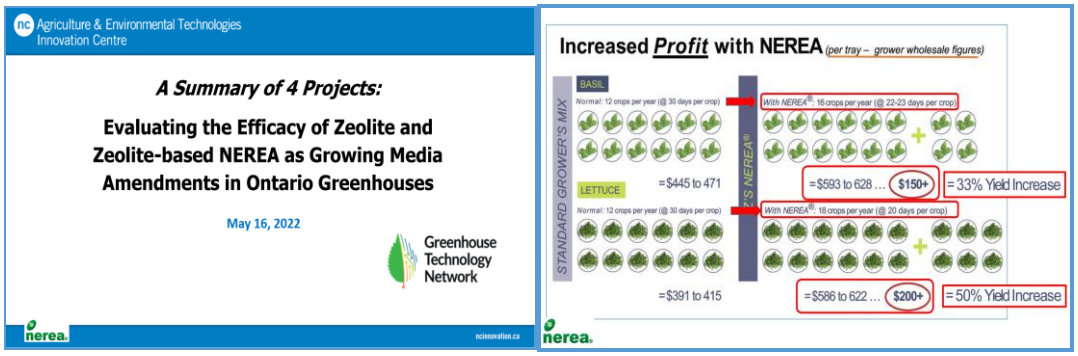



Figura 2: Validación por el centro AETIC-Niagara College en los cultivos de lechuga y albahaca.

**NEREA® Fertilizante**

El Fertilizante edáfico NEREA® inició su desarrollo durante el Período Especial (1990-2000), basado en que en los suelos más productivos de Cuba se encuentran las 105 manifestaciones y yacimientos de zeolita. Este producto puede ser utilizado en todo tipo de cultivos y suelos, actúa como mejorador físico-químico de suelos independientemente de su pH. Contiene todos los nutrientes necesarios para las plantas, que no se pierden en el suelo por lixiviación o volatilización como ocurre con los fertilizantes convencionales. Sus contenidos en N, P y K son variables, con montos de 0.5–2.1%, 0.6–2.2% y 1.7–3.3%, respectivamente. Al estar en contacto con la zona activa de las raíces, las plantas toman los nutrientes según sus necesidades, actuando como un fertilizante de liberación controlada; siendo la dosis de aplicación entre 1-2 t/ha. Pueden utilizarse directamente en la fertilización de suelos, instalaciones industriales de cultivo de plantas en suelos, también en macetas y canteros para plantas ornamentales. Los nutrientes contenidos en este producto sólo son consumidos por las plantas y no son liberados de su estructura por la acción del agua. A partir de validaciones dirigidas por la Dirección de Ciencia y Técnica, la Dirección de Suelos y Fertilizantes y la Dirección General de la Agricultura perteneciente al MINAG y realizadas por el Instituto de Investigaciones de Granos (IIG) se pudo demostrar la pertenencia de estos productos a la Ley SSAN. Estos estudios en el cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* [2,7] demostraron que el empleo de los productos NEREA® Fertilizante y NEREA® Plus aportan rendimientos comparables a los logrados con los testigos de producción fertilizados con NPK, pero el uso combinado produce rendimientos superiores y ahorros significativos de NPK.

Se han planteado diferentes hipótesis para explicar los efectos beneficiosos observados en las plantas cuando se aplica NEREA® sustrato y NEREA® fertilizante, destacando entre los principales mecanismos propuestos su efecto en la dinámica de la absorción de agua por las plantas y semillas, basada en la capacidad de retención de agua y nutrientes del producto, y la aparición de cambios en la arquitectura de la raíz de las plantas en contacto con las partículas de NEREA® que favorecen la toma de nutrientes, así como la relación positiva con la microbiota del ecosistema de las plantas (Fig. 3). Estudios de fisiología vegetal demuestran esta hipótesis.

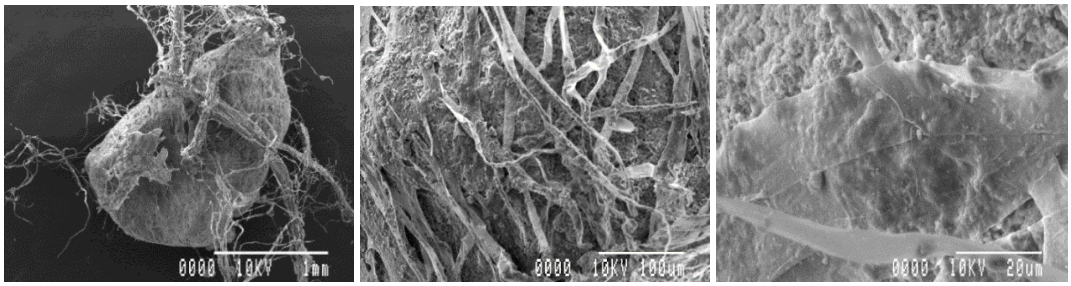



Figura 3: Micrografía de Microscopia Electrónica de Barrido de una partícula de NEREA® sustrato en contacto con las raíces y pelos absorbentes de rúcula. (cortesía de Lariot et al., IMRE-UH).

**NEREA® Plus**

NEREA® Plus es un fertilizante foliar diseñado originalmente como complemento del NEREA® Fertilizante y NEREA® Sustrato. Sus partículas contienen todos los nutrientes que necesitan las plantas, con contenidos variables en N, P y K de 1–7%, 1.1–2.2% y 2.3–3.3%, respectivamente; presentan una granulometría < 74 µm, lo que les permite dispersarse en agua para su aplicación por aspersión. El contacto de las partículas con las partes aéreas de las plantas permite que los nutrientes sean absorbidos principalmente por las estomas de las hojas, reportándose, además, la participación de los ectodesmos y cutícula. Las aplicaciones de este producto deben hacerse con el mismo rigor técnico que otros productos foliares o fitosanitarios; preferentemente en horas tempranas de la mañana cuando las plantas tienen las estomas más abiertas y la velocidad del aire es menor. La dosis general es de 2 a 8 kg/ha y se puede aplicar de dos a diez veces según el crecimiento del cultivo. Durante la aplicación debe asegurarse que el

producto cubra todo el follaje de las plantas y no se requiere del empleo de otro fertilizante foliar. Estudios realizados han demostrado que este producto también actúa como un protector de las plantas frente a plagas de insectos, y las infecciones de hongos, bacterias y virus.

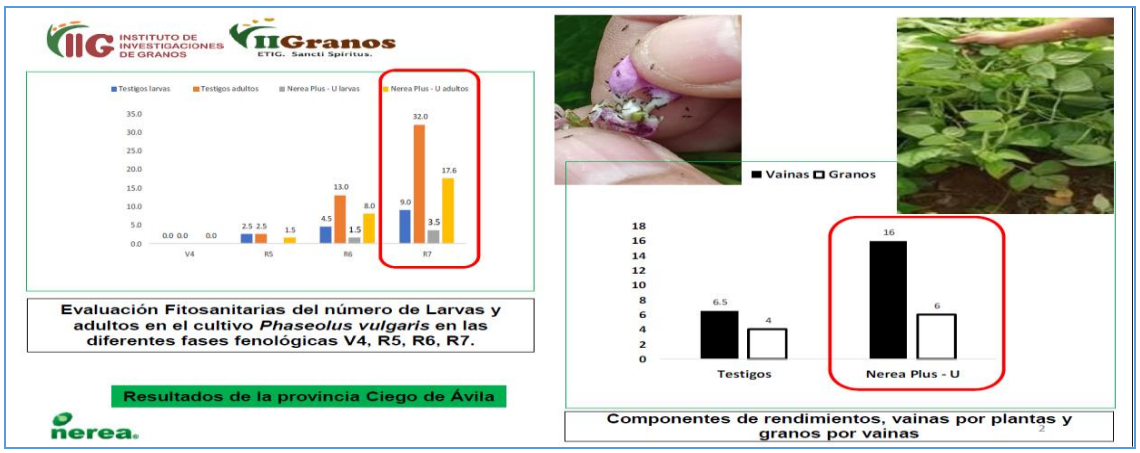



Figura 4: Resultados del estudio de validación del fertilizante foliar NEREA® Plus en el cultivo del frijol común en la provincia de Ciego de Ávila en 30 ha, realizado por la Estación "Sur del Jíbaro" del IIG.

La Estación "Sur del Jíbaro" del IIG evaluó la utilización exclusiva del NEREA® Plus (Fig. 4), en el cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* variedades CUL 156, CUFIG-48 y Buenaventura, en Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila durante el período de 2020-2021, a escala de producción en 30 ha por provincia, para un total de 90 ha. NEREA® Plus se aplicó como fertilizante foliar único en dosis de 4 kg/ha en los diferentes estados de crecimiento de la planta (4 estados). Todas las áreas estuvieron infestadas de Thrips (*Megalurothrips usitatus*). Los resultados mostraron que el número de larvas y adultos de Thrips fueron significativamente menores en las plantas fertilizadas con NEREA® Plus, lo que produjo la notable diferencia en el rendimiento; el número promedio de vainas por planta fue 16 y 6 el número promedio de granos por vaina, las plantas testigos produjeron 6,5 vainas que contenían 4 granos como promedio. El rendimiento promedio fue de 1 630,0 kg/ha, 2,5 veces superior a los 650,0 kg/ha del testigo. La utilización exclusiva del NEREA® Plus foliar, permitió el ahorro del 93% de nutrientes y el efecto adicional de preservación de las plantas frente al ataque de insectos. [8,9]

## 3. DISEÑO INDUSTRIAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

La transferencia de la tecnología de producción NEREA® para la producción industrial de los productos zeolíticos NEREA® contiene 10 etapas (Fig. 5). El flujo de producción (Fig. 6) está basado en las operaciones unitarias que permitan la modificación de la materia prima zeolítica seleccionada por sus propiedades físicas y químicas (composición de fases minerales y química), procesada hasta alcanzar los parámetros de calidad establecidos (tamaño clase de partículas y humedad), el curado del producto intermedio hasta lograr la incorporación de los nutrientes a la nanoestructura cristalina de las partículas, controlada por los valores de pH y conductividad eléctrica (sales solubles totales).

Actualmente el país cuenta con 3 plantas instaladas y 2 en construcción distribuidas a lo largo de la Isla de la siguiente manera: la PEN Holguín adjunta a la UEB Geominera Holguín, la PEN Najasa (en construcción) en la provincia de Camagüey, la PEN Tasajeras de la UEB Zeolita Tasajeras en la provincia de Villa Clara, la Planta Industrial de Fertilizantes EQUIFA de la provincia Cienfuegos y la PEN UAM (en construcción) perteneciente a la Unión Agropecuaria Militar (UAM) en la provincia de La Habana. Dichas plantas se han diseñado mediante contratos de licencia y transferencia de la tecnología de producción NEREA® con la Universidad de La Habana. Todas estas plantas registran sus productos

NEREA® que elaboran con denominación de origen atendiendo al mineral zeolítico, agua, microclima e instalación tecnológica.




Figura 5: Etapas de la transferencia de la tecnología de producción NEREA® a las empresas cubanas y extranjeras.

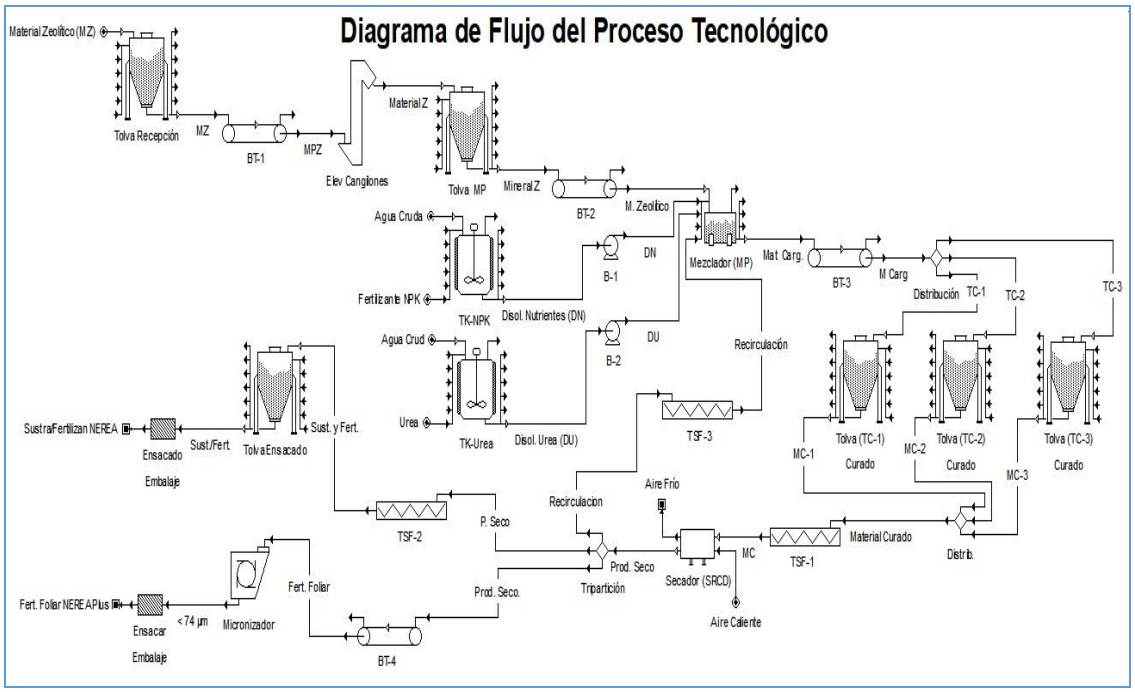


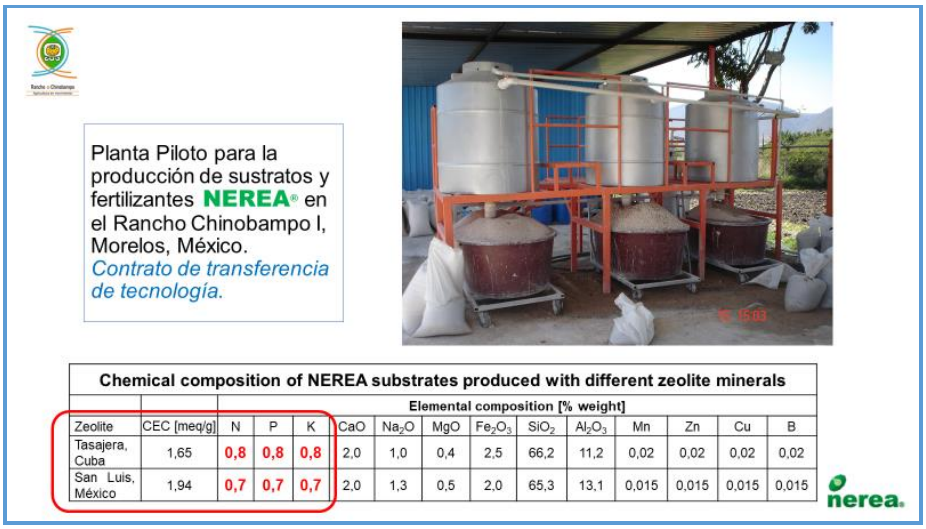

Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de producción de los productos zeolíticos NEREA®.

Una vez asimilado y estabilizado correctamente por el personal de las plantas productoras la tecnología de producción NEREA®, se ha procedido a la segunda etapa para elevar la capacidad de producción implementando la adecuación tecnológica denominada ***ensacado directo*** de los productos NEREA®. La adecuación comprende que el proceso de "curado" del semiproducto ocurra en el envase final, en condiciones (temperatura y humedad) de almacenaje optimizados para cada planta. El proceso se controla mediante la determinación del peso, humedad, pH y conductividad eléctrica del producto. Entonces, la

capacidad de producción de cada planta está determinada por su capacidad de almacenaje. Salvando las diferencias, el proceso de ***ensacado directo*** de los productos NEREA® es similar a los de otros productos como vino, ron y tabaco.

**Denominación de origen y trazabilidad**

En el año 2006 se licenció y transfirió la tecnología NEREA® a la empresa mexicana Grupo Bampoahi S.A. de C.V. para la producción de sustrato y fertilizante NEREA®, su validación, registro y comercialización. Se utilizó como materia prima zeolítica del yacimiento de San Luis Potosí. La calidad del fertilizante/sustrato NEREA® fue similar a los producidos en Cuba con la materia prima zeolítica de los yacimientos de Tasajeras y San Andrés (Fig. 7).




**Chemical composition of NEREA substrates produced with different zeolite minerals**

| | | Elemental composition [% weight] | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zeolite | CEC [meq/g] | N | P | K | CaO | $Na_2O$ | MgO | $Fe_2O_3$ | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | Mn | Zn | Cu | B |
| Tasajera, Cuba | 1,65 | **0,8** | **0,8** | **0,8** | 2,0 | 1,0 | 0,4 | 2,5 | 66,2 | 11,2 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| San Luis, México | 1,94 | **0,7** | **0,7** | **0,7** | 2,0 | 1,3 | 0,5 | 2,0 | 65,3 | 13,1 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |

Figura 7: Comparación entre las composiciones químicas de los sustratos NEREA® producidos con diferentes minerales zeolíticos.

Sin embargo, para la generalización y expansión de los productos NEREA® a otras regiones, determina el uso de zeolitas naturales provenientes de diferentes yacimientos nacionales e internacionales, por lo que es fundamental conocer si esto pudiera afectar la calidad del producto final, ya que la composición mineral y química de los minerales zeolíticos son totalmente diferentes para cada yacimiento. Para responder a esta incógnita se realizó un estudio aplicando criterios estadísticos a la espectroscopia FTIR obtenida de cinco minerales zeolíticos naturales diferentes utilizados para la producción de los NEREA® sustratos obtenidos con dichas materias primas zeolíticas [10]. Las zeolitas naturales utilizadas en este trabajo provienen de seis yacimientos. Sus propiedades físicas y químicas aparecen en la Tabla 1. Se reporta el mineral del yacimiento San Luis Potosí de México solo como comparación. Además, el resto de las condiciones implicadas en el estudio se describen en [10]. Una vez analizadas e identificadas las bandas de vibración, se compararon con un Patrón de Referencia correspondiente al yacimiento de San Andrés, para lo cual se calcularon sus Intervalos de Confianza. A continuación, se realizó un análisis de varianza simple (ANOVA) y una Prueba de Rangos Múltiples entre las zeolitas naturales utilizadas y los Sustratos NEREA® obtenidos para determinar las diferencias existentes que pudieran afectar la calidad del producto final. La comparación respecto a los Espectros de Referencia y sus Intervalos de Confianza arrojó resultados similares. En el ANOVA y el Test de Rangos Múltiples realizados no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con un nivel de confianza del 95%.

La calidad de los sustratos NEREA® obtenidos se probó *in vivo* con plantas en un invernadero con las pequeñas muestras de producto NEREA® obtenidas en el laboratorio. Las pruebas utilizaron 100% de sustratos NEREA® y agua fresca para riego. El control (T) fue el sustrato NEREA® producido con

mineral zeolítico de San Andrés. Las plantas y el ensayo fueron: semillas de rúcula sembradas y plántulas de lechuga con raíces lavadas trasplantadas. Las pruebas *in vivo* demostraron que las tres muestras de sustrato NEREA® producidas con los minerales de zeolita de EE. UU. Crecieron de forma correcta.

Tabla 1: Propiedades físicas y químicas de los minerales zeolíticos estudiados. Datos reportados por los suministradores de los minerales.

| **Mineral, país** | **Acrónimo** | **Contenido zeolitas** (% en peso) | **CIC** (meq/100 g) | **pH** | **Contenido óxido elemento** (% en peso) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | PPI |
| San Andrés, Cuba | Znat-SA | 83-90 | 134 | 7,2 | 65,29 | 11,50 | 2,64 | 0,4 | 3,0 | 2,45 | 1,28 | 10,51 |
| Tasajeras, Cuba | Znat-T | 80-85 | 165-210 | 7,6 | 63,05 | 11,54 | 2,5 | 0,86 | 3,96 | 0,7 | 2,25 | 14,65 |
| San Luís, México | ZN-SL | >80 | 102-194 | 6,92 | 65,25 | 13,10 | 0,75 | 0,1 | 1,25 | 0,70 | 3,47 | 14.72 |
| Ida-Ore, USA | Znat-Ida Ore | 80-98 | 147-250 | - | 71,5 | 11,3 | 2,05 | 0,17 | 1,22 | 1,24 | 4,55 | - |
| Bear River, USA | Znat-BR | 85-95 | 190-220 | 8,64 | 67,40 | 10,60 | 1,70 | 0,45 | 2,23 | 0,59 | 4,19 | 11,40 |
| KMI, USA | Znat-KMI | >97 | 160-200 | 3- 10 | 66,7 | 11,48 | 0,9 | 0,27 | 1,33 | 1,80 | 3,42 | - |

Nota: CIC Capacidad de Intercambio Iónico, PPI Pérdidas por Ignición.

A partir de los resultados obtenidos en este [10], fue posible confirmar que, a pesar del uso de zeolitas naturales de diferentes yacimientos y países, estas pueden ser utilizadas para la producción de sustratos NEREA® siempre que cumplan con los requisitos de calidad establecidos por la tecnología NEREA®. Además, también se aclara que la calidad del producto final no se ve afectada por las diferentes fases zeolíticas presentes en el mineral ni por el proceso de producción de los productos NEREA®. Este estudio [13], confirmó los resultados anteriores obtenidos utilizando la materia prima de zeolita del yacimiento de San Luis Potosí de México en 2006-2010. La reproducibilidad en la obtención de los productos NEREA® empleando materias primas zeolíticas procedentes de distintos yacimientos y países, se explica por el rigor en su selección y cumplimiento de las propiedades físicas y químicas, y de los procesos de modificación y curado [11]. Esto confirma que cada producto NEREA® presenta una trazabilidad y, al igual que el vino, el café y el queso, los productos NEREA® tienen denominación de origen.

**PEN Holguín**

La PEN Holguín (Fig. 8) constituye la única planta piloto de su tipo con la capacidad de producir los 3 productos NEREA®. El diseño inicial para la producción industrial de estos productos se concibió como una planta totalmente automatizada y en un modo de producción continuo, cuya capacidad productiva alcanzaba las 5 t/h, con un costo de inversión de aproximadamente 3 millones de dólares. A pesar de ello el país atravesaba una difícil situación económica y política por lo que no fue posible la construcción e instalación de dicha planta. Por lo tanto, se procedió a desarrollar un nuevo diseño totalmente diferente, buscando minimizar costos de inversión y productivos, así como obtener un diseño estándar que pudiese ser utilizado en distintas instalaciones tecnológicas adaptándola a dichas condiciones. De esta manera surge el diseño de la Planta Experimental NEREA®, un tipo de planta piloto con una capacidad de producción de 20 t/d para el caso de la PEN Holguín. Instalación que emplea la radiación solar para el proceso de curado-secado, y un consumo bajo de energía eléctrica y combustible para el proceso tecnológico.

El proceso de producción comienza cuando el mineral zeolítico del yacimiento de San Andrés, con clase de tamaño de partículas de +1-4 mm se modifica con una disolución acuosa de un fertilizante NPK

hidrosoluble fórmula completa. Esto se realiza en un mezclador de cuerpo móvil (tipo concretera) con capacidad de 0,5 t, que admite la rotación del sistema de reacción (material y disolución) y modifica homogéneamente el material. El mineral modificado en el mezclador se descarga sobre un piso de cemento, dentro de un túnel, donde se dispone en forma de cama con una altura de 10 cm y se surca cada cierto tiempo para facilitar el curado y secado del material, y así obtener finalmente los productos NEREA® Sustrato y NEREA® Fertilizante. En el proceso de curado ocurre la incorporación de las especies de fósforo, nitrógeno y potasio del fertilizante NPK en el soporte zeolítico, a través de procesos químico-físicos como el intercambio iónico y adsorción. En los túneles diseñados para este propósito, se alcanzan temperaturas a lo largo del día entre 27 – 48°C, suficiente para que ocurran de forma paralela los procesos de curado y secado de los productos. La producción del NEREA® Plus incluye una modificación adicional con urea, un subsecuente curado-secado y micronización, para obtener un producto con clase de tamaño de partículas < 74 µm.




Figura 8: Plantas instaladas en el país para la producción y comercialización de los productos zeolíticos NEREA®.

En esta PEN, se realizan todos los ensayos piloto de los nuevos desarrollos y adecuaciones tecnológicas de la tecnología NEREA®. En febrero de 2020, se inició el estudio piloto del ***ensacado directo***, que transcurrió hasta noviembre de 2023, lo que permitió optimizar el proceso. Los resultados permitieron diseñar el estudio de concepto del proceso de ***ensacado directo*** para la planta EQUIFA.

**PEN Tasajeras**

El diseño propuesto para la PEN Tasajeras (Fig. 8) contó con las mismas ventajas que la planta anterior, con la notable diferencia de que sólo producían los productos NEREA® Sustrato y NEREA® Fertilizante. Por lo que su diseño fue más sencillo y cuenta con una capacidad productiva de 2,4 t/d, e inició sus operaciones en agosto de 2022. Su descripción del proceso es similar a la descrita anteriormente. En julio de 2024, se inició el ensayo de concepto del proceso de ***ensacado directo***.

**Planta Industrial de Fertilizantes EQUIFA**

La Planta Industrial de Fertilizantes EQUIFA (Fig. 8) es una instalación ya establecida que cuenta con su propio equipamiento tecnológico, por lo que en este caso se adaptó la tecnología de producción NEREA® a la planta ya existente. Para ello fue necesario realizar algunas modificaciones al equipamiento tecnológico de la planta para facilitar el proceso productivo. Dichas modificaciones consistieron en:

alteraciones al mezclador de alta capacidad de la planta para facilitar la adición y aspersión de la disolución de nutrientes durante la modificación del mineral zeolítico, además se realizó una interrupción desmontable del flujo productivo de la planta a la salida de tolva donde es suministrado el mineral modificado. Estas alteraciones a la planta permitieron su puesta en marcha en operaciones en octubre de 2022, convirtiéndola en la primera planta industrial de su tipo para la producción de los productos NEREA® Sustrato y NEREA® Fertilizante con una capacidad productiva de 100 t/semana. En diciembre de 2023, se inició el ensayo de concepto del proceso de ***ensacado directo.*** Los resultados positivos permitieron el escalado industrial de la adecuación en enero 2024, y desde ese momento la producción industrial del producto NEREA® fertilizante/sustrato 2%, se realiza continuamente con una capacidad productiva de 100 t/d.

## 4. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS NEREA®

A pesar de las notables limitaciones en muchas de las plantas instaladas, debido a la carencia de insumos de fertilizantes, sacos, transportación de la materia prima zeolítica, energía eléctrica y combustible tecnológico, la producción se ha visto afectada pero no interrumpida. Su comercialización en todo el país ha sido a través de Gelma-MINAG, con buena aceptación por los agricultores, quienes después de la aprobación de las 63 medidas para impulsar la agricultura, adquieren directamente los productos NEREA® fertilizante/sustrato y NEREA® Plus en la PEN Holguín; NEREA® fertilizante/sustrato en la PEN Tasajeras y en EQUIFA. La localización geográfica de las plantas productoras de los productos NEREA® permiten una mejor distribución de los productos en el centro y oriente del país, quedando pendiente su futura producción en plantas que puedan abastecer la parte occidental del país.

Hasta el momento la PEN Holguín además de ser la única planta que produce los 3 productos NEREA®, es también la única que lleva produciendo de forma ininterrumpida durante 5 años. Esto ha propiciado demostrar el carácter factible de la tecnología de producción NEREA®, puesto que en algunos momentos fue tildado como una "tecnología artesanal", a pesar de que la inversión realizada en la planta fue totalmente liquidada durante los dos primeros años de producción. En la Tabla 2 se puede apreciar la producción y comercialización que ha llevado a cabo la PEN Holguín de los productos NEREA®. Además, es notable mencionar que la UEB Geominera Holguín donde se encuentra adjunta dicha planta cuenta con una tienda para la venta minorista de diferentes productos, donde se destacan los productos NEREA®. Como se aprecia en la tabla, la producción se ha mantenido de forma continua, para un total de 1904 t de productos NEREA® valorados en 7 millones de CUP aproximadamente durante los 5 años de producción.

Tabla 2: Producción y comercialización de los productos NEREA® a nivel nacional.

| | PEN Holguín | | | PEN Tasajeras | EQUIFA | Total nacional |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Año | NEREA® fert/sust (t) | NEREA® Plus (t) | Total (t) | NEREA® fert/sust (t) | NEREA® fert/sust (t) | |
| 2019 | 13 | - | 13 | - | - | 13 |
| 2020 | 313 | 20 | 333 | - | - | 333 |
| 2021 | 461 | 30 | 491 | - | - | 491 |
| 2022 | 231 | 25 | 256 | - | - | 256 |
| 2023 | 485 | 20 | 510 | 80 | 200 | 790 |
| (julio) 2024 | 301 | - | 301 | 255 | 1 169 | 1 725 |
| Total desde 2019 | 1 804 | 95 | 1 904 | 335 | 1 369 | 3 608 |

Las producciones en las otras dos plantas, han crecido en la medida que asimilaron la tecnología como se observa en la Tabla 2. En el caso de la PEN Tasajeras han logrado producir hasta el momento 335 t valorados en 2 millones de CUP aproximadamente durante los 2 años de producción, esto representa un 18,6% de los productos comercializados por la PEN Holguín. La Planta Industrial de Fertilizantes EQUIFA es un caso particular en la producción y comercialización de los productos NEREA®, al ser una planta industrial de alta capacidad han logrado la manufactura en sólo 2 años de producción de 1 369 t de productos valorados en 8,5 millones de CUP aproximadamente. Esto representa un 75,88% de los productos comercializados por la PEN Holguín, es por ello que se aboga por mantener e incrementar la producción en esta planta para tratar de garantizar la alta demanda de fertilizantes en el país.

## 5. CONCLUSIONES

La tecnología de producción NEREA® se considera disruptiva porque logra la nutrición óptima de las plantas en un entorno agroecológico y agro-amigable, conteniendo todos los nutrientes en cantidades reducidas, generando rendimientos agrícolas semejantes o superiores a la fertilización química convencional, sin modificar las actividades agronómicas de los cultivos, sin daños a los suelos, su biota y a las aguas subterráneas, reduciendo la emisión de Gases de Efecto Invernadero por ciclo de cultivo y consecuentemente al cambio climático.

La dirección del gobierno cubano, luego de valorar los reportes positivos de la utilización de los productos NEREA® por los agricultores y empresas agrícolas, ha indicado la ejecución de la Tarea producción de NEREA en coordinación con las direcciones de los ministerios que participan en la producción y utilización, y la asistencia técnica de los creadores y desarrolladores de la tecnología de la Universidad de La Habana. El proceso se realiza en las condiciones económicas actuales, con lo que se dispone para su producción industrial, sin inversiones, con la adquisición de los insumos y recursos indispensables para producir; logrando, aún así, volúmenes importantes de productos NEREA® para la producción agrícola nacional y extender su validación en el exterior con un enfoque comercial perspectivo.

El Equipo NEREA®-IMRE, acompañado por la Fundación-UH, desarrolla de manera proactiva la innovación tecnológica continua de la tecnología de producción NEREA®, para llevarla a los escenarios cubanos y extranjeros. Evidencia de ellos han sido los importantes vínculos establecidos con empresas cubanas de alto nivel como es el caso de Tabacuba S.A., o empresas extranjeras como la canadiense International Zeolite Corp. Los resultados obtenidos y en ejecución confirman la certeza de la estrategia concertada.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer al MC. Ing. Armando Caisés Ávalos, director de la PEN-UEB Geominera Holguín, por su consagración al desarrollo y producción de los productos NEREA®. Al MC. Ing. Víctor Antonio Díaz Casa director técnico de EQUIFA por su dedicación al escalado y producción industrial del producto NEREA® fertilizante/sustrato. A los mineros y metalúrgicos de las plantas procesadoras de los minerales zeolíticos de las empresas Geominera Oriente y Geominera Centro, que suministran el producto Fertisol con la calidad establecida para la producción industrial de los productos NEREA® en las PEN Holguín, PEN Tasajeras y EQUIFA.

**REFERENCIAS**

1. SABORIT REYES, R. et al. “Efecto del foliar Nerea Plus-U, sobre los rendimientos del cultivo del arroz”. Revista Infociencia. 2021, vol 25, núm. 3, pp. 36-48. ISSN: 1029-5186.
2. HERNÁNDEZ GÓMEZ, A. “Evaluación de la incidencia del fertilizante Nerea Plus-U, en la producción del frijol”. Revista Infociencia. 2023, vol 27, núm. 3, pp. 12-22. ISSN: 1029-5186.
3. INTERNACIONAL ZEOLITE CORP. “Greenhouse Gas Impact: Analysis & Estimation of NEREA on $CO_2E$ Reduction”. Reporte emitido, 2022, pp. 1-4.

4. RIVERO GONZÁLEZ, L.A., RIVERO ROBAINA, E.L., RODRÍGUEZ IZNAGA, I. and RODRÍGUEZ FUENTES, G. "Informe sobre prueba de campo del fertilizante zeolítico NEREA IV® en el cultivo de la papa". Informe al Ministerio de la Agricultura de Cuba, Abril 2018.
5. UNIVERSIDAD DE LA HABANA. "Procedimiento para la obtención de Sustratos y Fertilizantes Zeolíticos de Liberación Controlada y Métodos de Tratamiento de las plantas". RODRÍGUEZ FUENTES, G. et al. 17 de noviembre de 2023. CU-2021-0017 A7. Patente de Invención. OCPI, Cuba.
6.UNIVERSIDAD DE LA HABANA. "Procedure for Obtaining Substrates and Controlled Release Zeolite Fertilizers and Plant Treatment Methods". RODRÍGUEZ FUENTES, G.; RIVERO GONZÁLEZ, L.A. et al. 05/11/2021. CA3138031 A1. Certificate of Invention Request before CIPO, Canadian.
7. LAFFITA SUÁREZ, M., MARTÍNEZ VALDÉS, M.E., MESA ACOSTA, A., RODRÍGUEZ IZNAGA, I. y RODRÍGUEZ FUENTES, G. "Efecto del uso combinado de los productos zeolíticos NEREA® y EcoMic® en la fertilización de frijol común". Instituto de Investigaciones de Granos, Ministerio de la Agricultura de Cuba, 2023.
8. RIVERO GONZÁLEZ, L.A., RIVERO ROBAINA, E.L., RODRÍGUEZ IZNAGA, I. y RODRÍGUEZ FUENTES, G. "Informe sobre la evaluación del producto zeolítico fertilizante foliar NEREA® PLUS-U en el manejo del Thrips Megalurothrips usitatus de la flor del frijol. Informe al Ministerio de la Agricultura de Cuba, 2020.
9. MÉNDEZ PARRA, W., HERNÁNDEZ GÓMEZ, A. y BOUZA MAGDALENO, Y. "Informe sobre resultados del estudio del Fertilizante foliar Nerea Plus en el cultivo del frijol común". Estación territorial de Investigaciones de Granos "Sur del Jíbaro", Instituto de Investigaciones de Granos, Ministerio de la Agricultura de Cuba, 2021.
10. MOLINA AMAT, J.C. et al., Application of statistical criteria to FTIR spectroscopy obtained from the NEREA® Substrate. Proceeding Symposium of Nanoscience and Nanomaterials 2024, Ensenada, Mexico.
11. De la NUEZ, E.Y., et al. "Natural Clinoptilolite Materials Enriched in Nitrogen and Phosphorous for Agricultural Purposes: A Comprehensive Study on Their Development". Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials https://doi.org/10.1007/s10904-023-02991-4, 2024

**sobre los autores**

Julio Cesar Molina Amat: Ingeniero Químico, Aspirante a Investigador en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (UH). Temática que investiga: Diseño, desarrollo, adaptabilidad práctica y análisis del proceso productivo de los productos zeolíticos NEREA® sustrato y fertilizantes para uso agrícola. Membresía en organizaciones profesionales: SCQ.

Esperanza Yamile de la Nuez Pantoja: Ingeniera Química, MSc en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Temática que investiga: Diseño, desarrollo y caracterización de nuevos materiales a partir de zeolitas naturales cubanas y sustancias nitrogenadas para su aplicación en la agricultura como fertilizantes de liberación controlada de nutrientes. Membresía en organizaciones profesionales: SCQ.

Inocente Rodríguez Iznaga: Doctor en Ciencias Químicas, Investigador Titular en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (UH). Miembro del Consejo Científico del IMRE, de la SCF y la SCQ. Con más de 60 trabajos de investigación publicados y patentes de invención con transferencia al sector industrial. Árbitro de revistas especializadas de impacto y Reportado por la revista Sustainability en el año 2021 entre los 15 autores más productivos a nivel mundial en el campo de intercambio iónico en zeolitas.

Gerardo Rodríguez Fuentes: Licenciado en Física, Doctor en Ciencias Físicas y Doctor en Ciencias por la Universidad de La Habana. Investigador Titular y Coordinador del Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas Naturales (NatZEng®) del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE). Categoría Científica Especial Investigador de Mérito. Miembro Titular de la Academia de Ciencias de Cuba (2018-2029). Miembro del Consejo Científico y Comité Académico del IMRE. Miembro de la Comisión de Zeolitas Naturales de la Asociación Internacional de Zeolitas (IZA). Autor de 144 artículos científicos publicados, 180 trabajos presentados en eventos científicos, 27 invitaciones a eventos científicos internacionales, 11 libros, monografías y manuales publicados, 4 patentes, etc.

# PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA ELABORACIÓN DE CREMA CON ACEITE DE ARGÁN

**MSc. Fernando González Rodríguez[1], Ing. Jenny Coto Oruña[2], Dr. C. Anabel Frías Chirino[1], Dr. C. Gil Cruz Lemus[1]**

[1]Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114 e/ Ciclo vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba,
[2]Empresa Suchel Camacho S.A, Vía Blanca y Vía Monumental, Berroa, La Habana, Cuba.
fglez@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La empresa SUCHEL CAMACHO S.A. se dedica a la fabricación de productos cosméticos. Uno de estos productos es la "Crema Ultra Nutritiva con Aceite de Argán". En esta producción existe un elevado consumo, de vapor saturado, siendo esto un problema que afecta las ganancias de la empresa. Es por esto que el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de realizar variaciones en las variables de operación: temperatura y tiempo de agitación de esta crema sin que se alteren los parámetros de calidad establecidos, logrando una disminución en el costo de producción. Se realizó un diseño de experimentos y con la ayuda del programa STATGRAPHICS CENTURIÓN XV.II se analizaron los resultados. Como variable dependiente se tomó la viscosidad dinámica, obteniéndose que la disminución en los valores de las variables de operación a 70 °C y 10 minutos para temperatura y tiempo de agitación respectivamente resultaron los mejores. Al producto elaborado bajo estas condiciones se le determinaron características organolépticas, microbiológicas y de estabilidad, cumpliendo con las normativas establecidas para cada una de ellas. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas se obtuvieron valores promedios de densidad y viscosidad dinámica encontrándose estas dentro de las especificaciones técnicas. Los resultados del análisis económico estimado indican que por la disminución del vapor consumido se produce un ahorro de 1 334 $ al año lo que incide sustancialmente en el balance económico de la empresa.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño de experimentos, análisis económico, análisis físico-químicos, análisis sensorial, variables de operación.

# PROPOSED FOR IMPROVING THE EFFICIENCY ELABORATION IN THE OIL ARGAN CREAM

SUCHEL CAMACHO S. A. is dedicated to the manufacture of cosmetic products, among which "Crema Ultra Nutritiva con Aceite de Argán", for their elaboration consumes high level of steam. This work is carried out with the purpose of analyzing the possibility of reducing steam consumption. The objective of this research was to analyze the effect of making variations in the operation variables: temperature and time of agitation without altering the parameters of quality established and achieving a decrease in the consumption of steam. A design of experiments was made and with the help of the program STATGRAPHICS CENTURION XV. II it was analyzed, where the viscosity was the dependent variable, obtaining the decrease in the values of the operation variables at 70 °C and 10 minutes for temperature and time of stir respectively were the best. The product prepared under these conditions was determined organoleptic, microbiological and stability characteristics in compliance with the regulations established for each of them. As for the physicochemical properties, average density values and viscosity were obtained; these are within the technical specifications. The results of the estimated economic analysis indicated that due to the decrease in steam consumed, it is equivalent to 1 334 $ per year. Therefore, modifications to the established standard production procedure are considered feasible.

**KEY WORDS:** Design of experiments, economic analysis, physical-chemicals analysis, sensorial analysis, operation variables.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los cosméticos, son productos que aplicados sobre la piel que pueden ser utilizados para limpiar, embellecer, modificar la apariencia, mantener propiedades y/o disimular o aumentar el atractivo con un especial énfasis en el rostro (en el caso del maquillaje), todo ello sin alterar la función de la piel y sin provocar efectos atribuibles a su absorción sistémica.

El mercado internacional de la perfumería y la cosmética es muy competitivo y está dominado por las grandes trasnacionales. En Cuba está presente la compañía SUCHEL CAMACHO S.A. con capital extranjero que desde 1 990 fabrica y comercializa en el mercado cubano e internacional productos de perfumería, aseo personal, cosmética y mini dosis para el servicio hotelero (amenities) y se ha convertido en la compañía líder del sector en Cuba y los productos fabricados en ella están certificados por la Norma Internacional ISO 9001:2008 así como con la certificación de Buenas Prácticas de Producción (BPP) de Cosméticos otorgada por las autoridades regulatorias del país, lo que garantiza su calidad.

Un aspecto de vital importancia en la actualidad, para la certificación de las BPP es el ahorro y consumo racional de los portadores energéticos, esto debe materializarse mediante la aplicación de medidas y soluciones concretas que sean factibles y efectivas al mismo tiempo.

Dentro de la línea natural de cosméticos que se produce en esta empresa está la "Crema Ultra Nutritiva con Aceite de Argán", de aquí en adelante crema de argán.

Durante su fabricación demanda un gran consumo de vapor, por lo que se hace necesario reducir los gastos de combustible y mejorar su proceso productivo**.** Esto constituye el problema fundamental de esta producción, por lo que se plantea la necesidad de lograr una disminución en el costo de producción del producto realizando cambios en diferentes variables de operación sin que se produzcan afectaciones en las características requeridas en el producto geminado y si un menor consumo de energía, específicamente térmica.

Hoy en día, el mercado de los cosméticos se caracteriza por su marcado carácter innovador, con tratamientos particulares para tipos específicos de piel, fórmulas únicas, búsqueda de nuevos ingredientes y alta tecnología aplicada a los cosméticos. [1-2]

Se definen como cosméticos: "aquellos productos que se aplican externamente al cuerpo con fines de embellecimiento, modificando su aspecto físico o conservando las condiciones fisicoquímicas de la piel y sus anexos". Por lo general, son mezclas de compuestos químicos, algunos sintéticos y otros derivados de fuentes naturales. En la fabricación de estos productos, se emplean materiales orgánicos e inorgánicos; pero solo ciertas sustancias pueden tener las propiedades deseadas para un cosmético determinado, por lo que la variedad de ingredientes posibles suele ser limitada. [3-5]

El uso correcto de los cosméticos se desglosa en dos: cuidados de la piel que tiene como objeto el mantenimiento de una piel suave, tersa, limpia previniendo efectos secundarios debidos a causas externas, tales como exposición excesiva al frío, calor, sol, viento, entre otras, y decoración para producir una apariencia agradable, minimizando los defectos faciales de color o contorno [6-7].

Esta crema y de forma general todas las cremas son emulsiones. Una emulsión es un sistema bifásico que se prepara combinando dos líquidos no miscibles, uno de los cuales está uniformemente disperso en el otro, y consiste en glóbulos que poseen diámetros iguales o mayores que los diámetros de las partículas coloidales más grandes. El líquido que se dispersa en pequeñas gotitas se conoce con el nombre de fase dispersa, interna o discontinua. El otro líquido es el medio de dispersión, la fase externa o continua. [8-9]

Específicamente las cremas se definen, como preparados semisólidos, medicinales o inertes similares a los ungüentos, pero, de menor consistencia, destinadas al uso externo cuya base es, por lo general, emulsionada y en ocasiones del tipo hidrosoluble, por tanto, se caracterizan por ser menos consistentes que los ungüentos. Las bases empleadas ya sea del tipo de emulsión o del tipo hidrosoluble, son fácilmente absorbibles, y comparadas con las pomadas su extensibilidad es mayor. Además, pueden ser aplicadas en lesiones húmedas de la piel debido a que el vehículo O/W tiende a absorber cualquier descarga serosa. Estas bases forman una película semipermeable en el sito de aplicación seguido a la evaporación del agua. Las cremas de base del tipo emulsión W/O, sin embargo, tiende a formar un lecho hidrofóbico sobre la piel y no dejan evaporar la humedad. [10-11]

El elemento característico de esta crema es el aceite de argán, obtenido a partir de la semilla de *Argania spinosa*, una oleíferaque contiene un aceite con las características organolépticas y composición química que se muestra en la tabla 1. El aceite de Argán es de color ámbar claro, poco denso con respecto al agua, tiene un perfil de ácidos grasos insaturados de alrededor de un 80% con respecto al total de ácidos grasos, así como ácidos grasos esenciales (palmítico y esteárico) y fitoesteroles. [11]

Tabla 1. Composición de la *Argania spinosa*

| Características organolépticas y composición química | Especificaciones |
|---|---|
| Olor | Inodoro |
| Apariencia | Líquido claro |
| Color | ámbar |
| Densidad relativa a 20 º C , g/cm$^3$ | 0,905 – 0,92 |
| Ácido palmítico (C16:0) % vol | 10-16 |
| Ácido palmitoléico (C16:1) (***ω***7) % vol | ≤ 0,5 |
| Ácido esteárico (C18:0) % vol | 3,5-6,5 |
| Ácido oléico (C18:1) (***ω***9) % vol | 43-50 |
| Ácido linoléico (C18:2 ) (***ω***6) % vol | 30-36 |
| Ácido linolénico (C18:3)(***ω***3) % vol | ≤ 0,5 |

Las cremas deben caracterizarse, por presentar buena tolerancia en la piel, para que no cause irritación o sensibilización. Facilidad para transferir rápidamente a la piel las sustancias activas. Por lo que es necesario realizarle pruebas de calidad tanto a las materias primas como al producto terminado. [13]
Se trata principalmente de controles fisicoquímicos y microbiológicos de las materias primas y del producto terminado. Estas pruebas son parte del control de calidad, y tienen como objetivo la verificación y la conformidad de los materiales o productos frente a las especificaciones establecidas por el fabricante.
La ejecución de estas pruebas depende del cuidado en el momento de la manipulación de la muestra, y las condiciones de análisis definidas y realizadas por personal entrenado, con un método estandarizado (PNO) y equipos certificados.

**Ensayos organolépticos**

Son aquellos que proporcionan parámetros que permiten evaluar inmediatamente el estado en que se encuentra la muestra a través de análisis comparativos. Se realiza con el objetivo de verificar alteraciones como: separación de fases, precipitación, turbidez, cambios de color (oxidación), olor, apariencia libre de grumos, entre otras. [14]
Para evaluar la eficacia sensorial se debe utilizar una muestra de referencia o patrón, recientemente elaborada, o una muestra del producto almacenada a temperatura adecuada, eliminando en lo posible el factor humano, y contar con un estándar de propiedades equiparables al deseo del consumidor, de esta forma se evitan modificaciones en las propiedades organolépticas. Dentro de las características sensoriales se encuentran:

- Aspecto: Se observan visualmente las características de las muestras, verificando si ocurrieron modificaciones macroscópicas con relación a la muestra establecida.
- Color: Se compara visualmente el color de la muestra con el color del patrón establecido. Las fuentes de luz pueden ser: luz blanca o natural.
- Olor: Se aprecia el olor de la muestra con respecto al olor del patrón establecido a través del olfato.
- Sensación táctil: Se aplica el producto en la zona a estudiar (rostro, cuello, manos) similar al propósito del consumidor con la referencia de una muestra patrón.

**Ensayos fisicoquímicos: pH, viscosidad y densidad**

Para la caracterización fisicoquímica de la crema se realizan ensayos técnicos, pH, viscosidad y densidad, con el objetivo de determinar una o más características de un producto, de acuerdo con un procedimiento en específico. [15]

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del proceso tecnológico

En la figura 1 se presenta el diagrama de bloques del proceso de elaboración de la crema de argán.

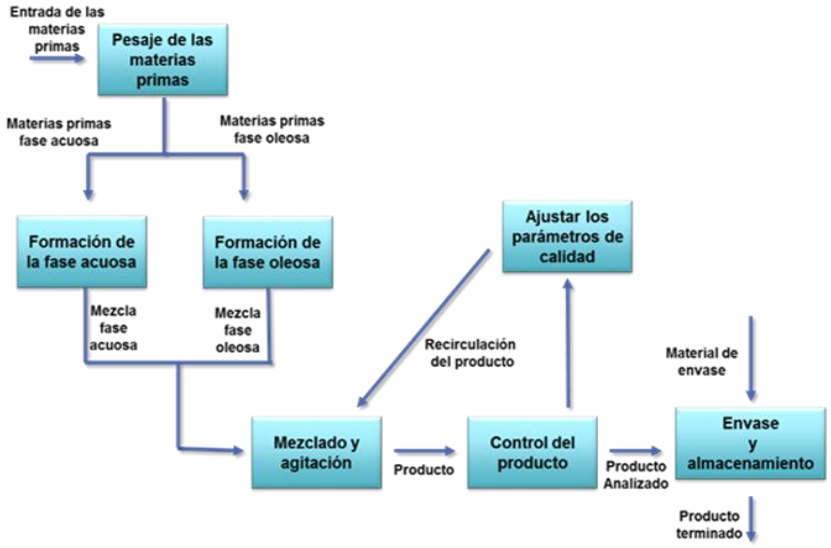



Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la crema de argán.

La metodología y materiales utilizados en la formulación de cosméticos empleada en la empresa SUCHEL CAMACHO S.A. es el denominado programa normativo operacional, PNO, que es un documento oficial y confidencial de dicha empresa, donde se abarca cada una de las técnicas, procederes y formulaciones para cada producto cosmético.

La producción de la crema se inicia con el pesaje de las materias primas en el almacén y luego se trasladan al área de fabricación, donde se procede a elaborar las fases oleosas y acuosas. Después se abre la válvula de vapor de la paila auxiliar y se añaden las materias primas grasas de acuerdo con la fórmula empleada, luego se calientan y agitan hasta fundir completamente y alcanzar una temperatura de 75 °C, conformándose la parte oleosa de la crema.

Mientras se calienta la fase oleosa se suministra vapor al equipo de fabricación y se bombea agua, una vez terminado, se comienza a agitar con paletas en velocidad baja y un homogeneizador, seguidamente se añaden las materias primas que conforman la fase acuosa al equipo de fabricación, según el PNO correspondiente y se calientan hasta alcanzar 75 °C.

Cuando se alcancen los 75 °C en ambas fases se cierran las válvulas de vapor en los equipos, se añade la fase oleosa sobre la acuosa en el tanque de agitación que constituye el equipo de fabricación y se conecta el agitador de paletas a velocidad alta establecida con homogeneizador; y se mantiene el régimen de agitación durante 20 minutos.

A continuación, se comienza a circular agua a temperatura ambiente durante 5 minutos y seguidamente agua fría, durante la agitación con paletas. Después se verifica que se alcance una temperatura entre 45 °C y 50 °C y se añade la fragancia manteniéndose la agitación durante 5 minutos hasta alcanzar la temperatura de 40 °C. Luego se añade el agente para preservar el producto y los bioactivos según la fórmula con que se esté trabajando. Se mantiene la agitación y el enfriamiento con agua fría hasta que alcance una temperatura de 25 °C a 30 °C.

Al concluir el proceso de fabricación de la crema líquida, el analista encargado toma varias muestras debidamente identificadas, y las traslada al laboratorio para el control del producto en proceso, mediante la comprobación de características que aparecen en el documento “Especificación de Calidad del Producto”.

Una vez aprobado el producto, el analista toma una muestra testigo y se procede a la descarga de la crema en tanques limpios. Durante la descarga se toma una muestra para ensayo microbiológico, y si el producto no resulta aprobado el jefe de división elabora el registro correspondiente a producto no conforme.

**La instalación experimental**

La instalación experimental se encuentra en el Laboratorio de Control de Calidad, aquí se realizaron los ensayos experimentales, variando la temperatura y tiempo de agitación para su homogenización. Se empleó el equipamiento que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Equipos utilizados en la fabricación de la crema

| **Equipos** | **Marca** |
|---|---|
| Plancha de calentamiento | J.P.Selecta S.A |
| Viscosímetro | Brookfield RTV |
| Balanza técnica | Sartorius |
| Centrífuga | Hettichzentrifugen |
| Agitador de paletas | RW 20 IKA-WERK |
| pH-metro | Crison GLP-22 |
| Homogenizador- dispersador | RW 20 IKA-WERK |
| Termómetro de mercurio | Terinber |
| Refrigerador | Haier |

Se utilizaron las materias primas que se describen a continuación, todas evaluadas según las especificaciones de calidad de cada materia prima y las Normas Cubanas vigentes y además certificadas para su uso en la preparación de cosméticos.

- Agua desmineralizada: Se emplea como disolvente de todas las materias primas. Es sometida a un proceso de desmineralización en la instalación, donde se extraen sus impurezas, se eliminan las sales y una gran variedad de microorganismos, siendo certificada por el laboratorio central.
- Alcohol cetílico: Por sus propiedades emoliente, absorbente de agua y emulsionante, se emplea en lociones y cremas. Les confiere estabilidad, textura y aumenta su consistencia. Impide la desecación al retardar la evaporación del agua de la superficie cutánea y a su vez la lubrica y la suaviza proporcionándole una textura aterciopelada. También se usa en la preparación de emulsiones agua en aceite por sus propiedades absorbentes de agua y emulsionantes débiles. Este compuesto químico juega un papel importante, ya que actúa como espesante dentro de la elaboración de la crema. Además, se disuelve o se dispersa fácilmente en el agua para producir un aumento elevado de la viscosidad. Presenta un color blanco, 0,2 % de humedad como máximo y su punto de fusión se encuentra entre los 46 °C - 53 °C.
- Ácido esteárico: Es un ácido graso saturado de 18 átomos de carbono, su fórmula química es $CH_3$-$(CH_2)_{16}$-COOH. A temperatura ambiente es un sólido parecido a la cera. Algunas de sus sales, principalmente de sodio y potasio, tienen propiedades tensioactivas. Es muy usado en la fabricación de velas, jabones y cosméticos. Se destaca como agente estabilizante en la formación del producto ya que constituye la base de la crema.
- Palmitato de isopropilo: Se encuentra en estado líquido y presenta un olor característico, es insoluble en agua, solo se disuelve en ceras, en aceites minerales y vegetales. Se destaca dentro del proceso de elaboración de la crema ya que aporta suavidad y protección a la piel.
- Butilhidroxitolueno (BHT): Sólido en forma de cristales. Es un compuesto químico que retarda la rancidez de grasas, aceites vegetales y animales, así como de los productos que lo contienen. Se utiliza también en la fabricación de vitaminas oleosas como la A y E, en grasas, en aceites industriales, en parafinas y aceites esenciales, polietileno, alimentos envasados y cosméticos. El BHT, no confiere sabor ni olor a los productos a los que se agrega y si se usa en las concentraciones recomendadas (0,01 % a 0,02 % en peso de grasas y aceites) no es tóxico. Resiste el calor y las altas temperaturas. Este compuesto presenta usos industriales ya que se agrega a los cosméticos a base de grasa tales como lápices labiales y cremas hidratantes.
- Glicerina: El 1, 2, 3 propanotriol, glicerol o glicerina ($C_3H_8O_3$) se presenta en forma de líquido espeso. Dentro de sus principales usos se destaca la elaboración de cosméticos como las cremas para la piel y es muy valorada como componentes de cremas de manos. Es utilizada por su elevada viscosidad, carece de toxicidad, en la elaboración de la crema tiene la función de humectante, presentando una densidad relativa de 1,2628 g/$m^3$ a 20 °C.
- Hidróxido de potasio: Es un compuesto químico inorgánico de fórmula KOH, tanto él como el hidróxido de sodio (NaOH), son bases fuertes de uso común. Tiene muchos usos tanto industriales como

comerciales. Presenta una concentración de un 90 %. Constituye junto al ácido esteárico la base de la formación de la crema ya que a través de ellos se forma el jabón estabilizador de la emulsión. [16]

- Hydroxyacetofenona: antioxidante, inhibe las reacciones favorecidas por el oxígeno, evitando así la oxidación y la rancidez.
- Fragancias: Líquidos transparentes, que le aportan un elevado aroma a la +piel, con olores característicos de diferentes notas. Estas sustancias a elevadas temperaturas se volatilizan.
- Aceite de argán: Es el biactivo empleado en esta formulación.

En la Tabla 3 se presenta la composición en % volumétrico y la masa correspondiente de la crema de argán.

Tabla 3. Composición de la crema de argán.

| **Materia prima** | **%** | **masa (g)** |
|---|---|---|
| Agua desmineralizada | 81,44 | 325,76 |
| Glicerina | 6,0 | 24,0 |
| Acido esteárico | 4,5 | 18,0 |
| Palmitato de isopropilo | 4,5 | 18,0 |
| Alcohol cetílico | 2,0 | 8,0 |
| Fragancia | 0,8 | 3,2 |
| Hidróxido de potasio | 0,45 | 1,8 |
| Hidroxiacetofenona. | 0,1 | 0,4 |
| BHT | 0,01 | 0,04 |

**Diseño experimental y análisis estadístico**

Se propuso un diseño experimental multinivel factorial $3^k$, donde k=2, teniendo en cuenta dos factores a tres niveles. Los factores considerados fueron el tiempo de agitación y la temperatura. Se evaluaron los valores de 10 minutos, 15 minutos y 20 minutos para el tiempo de agitación, que actualmente es de 20 minutos, y de 70 ºC, 72,5 ºC y 75 ºC para la temperatura, siendo el utilizado en la actualidad de 75 ºC. Además, se realizaron tres réplicas en el punto central (15 minutos y 72,5 ºC). En todos los casos la variable dependiente sería la viscosidad.

**Determinación del índice de consumo de vapor por kg de mezcla**

El término índice de consumo se refiere a la cantidad de materias primas e insumos (o volúmenes de combustible o cantidad de energía) necesarios para la elaboración de una unidad de masa o volumen de producto terminado, también se puede expresar como el costo debido al consumo de materiales, de combustible o energía eléctrica con relación al valor de la producción, se calcula por la ecuación 1:

$$I_c = \frac{m_v}{m_m} \quad (1)$$

Donde:
$m_v$: masa de vapor [kg]
$m_m$: masa de la mezcla [kg]

**Determinación de la masa de combustible**

A partir del calor total evolucionado se determinó la masa de combustible para ambas alternativas mediante la ecuación 2:

$$m_c = \frac{Q_t}{VCI * \eta} \quad (2)$$

Donde:
$m_c$: masa del combustible [kg]
$Q_t$: calor total [kg]
VCI: valor calórico inferior del combustible [J/kg]
$\eta$: eficiencia de la caldera [%]

**Determinación del efecto económico**

Para el cálculo del efecto económico se empleó la ecuación 3:

$$costo = \frac{m_c}{\rho_c} * P_c \quad (3)$$

Donde:
$m_{c:}$ masa del combustible [kg]
$\rho_{c:}$ densidad del combustible [kg/m$^3$]
$P_{c:}$ precio del combustible [\$/m$^3$]

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis organolépticos**

Los resultados en cuanto a olor, color y apariencia cumplieron con los parámetros y especificaciones establecidos con la muestra patrón. Estas observaciones demostraron que disminuir la temperatura de 75 °C a 72,5 °C y 70 °C, así como el tiempo de agitación de 20 minutos a 15 minutos y 10 minutos, no influyeron en estos indicadores y por tanto se continuó con el resto de los análisis de calidad como producto cosmético.

**Análisis fisicoquímicos**

Los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado, para verificar la confiabilidad y reproducibilidad de los métodos empleados. Como se aprecia en la tabla 4 los valores de densidad, pH y viscosidad, coinciden con las especificaciones de la muestra patrón y corresponden con los reportados tanto en la literatura como normados (NC 1065:2016 ME/54, NC 836:2011ME/60 y NC 699:2009 ME/59)

Tabla 4. Determinaciones de los valores fisicoquímicos

| Indicadores | Temperaturas (°C) | | |
|---|---|---|---|
| | 70 | 72,5 | 75 |
| Densidad a 25 °C g/cm$^3$ | 0,99-1,00 | 0,99-1,00 | 0,99-1,00 |
| pH | 6,52-6,56 | 6,53-6,55 | 6,50-7,50 |
| Viscosidad dinámica a 25 °C ($Pa.\ s$) (sp-3,2 min$^{-1}$) | 4,58-4,7 | 4,25-4,69 | 2,0-6,0 |

**Análisis microbiológico**

En los resultados obtenidos que se muestran en la tabla 5 se aprecian que las colonias bacterianas, así como el conteo total de hongos y levaduras se encuentran por debajo del máximo permisible por la NC 68:2015 de Perfumerías y Cosméticos por la que se rige la Empresa SUCHEL CAMACHO S.A, asegurando así los parámetros de calidad en cuanto cantidad adecuada de agente antimicrobiano en la elaboración del producto similar a los normados. Estos resultados se dan en la Tabla 5.
Tabla 5. Análisis microbiológico

| **Indicadores** | **Temperaturas (°C)** | | |
|---|---|---|---|
| | 70 | 72,5 | 75 |
| UFC de microorganismos aeróbicos, mesófilos en 0,1 g o cm$^3$ | C | C | < 100 |
| Enterobactericae en 0,1 g o cm$^3$ | No | No | No |
| Pseudomonas aeruginosas en 0,1 g o cm$^3$ | No | No | No |
| Staphylococcus aureus en 0,1 g o cm$^3$ | No | No | No |
| Clostridium species en 0,1 g o cm$^3$ | No | No | No |
| Hongos y levaduras en 0,1 g o cm$^3$ | No | No | No |

**Análisis de la viscosidad**

La variable dependiente que se evaluó en el proceso experimental fue la viscosidad, ya que las modificaciones planteadas lo que más pudieran afectar es precisamente este indicador. Esta propiedad

reológica en las cremas influye en el envasado, almacenamiento y en la aplicación de las mismas en la piel. En la tabla 6 se detallan los valores de la viscosidad para las combinaciones de los experimentos realizados.

Tabla 6. Valores de viscosidad para las corridas del diseño de experimentos

| Corridas | Factores | | Variable dependiente |
|---|---|---|---|
| | Temperatura (°C) | Tiempo (minutos) | Viscosidad ($Pa.\ s$) |
| 1 | 75,0 | 20 | 3,90 |
| 2 | 75,0 | 15 | 4,26 |
| 3 | 75,0 | 10 | 4,50 |
| 4 | 72,5 | 20 | 4,25 |
| 5 | 72,5 | 15 | 4,47 |
| 6 | 72,5 | 10 | 4,69 |
| 7 | 70,0 | 20 | 4,58 |
| 8 | 70,0 | 15 | 4,68 |
| 9 | 70,0 | 10 | 4,70 |
| 10 | 72,5 | 15 | 4,46 |
| 11 | 72,5 | 15 | 4,48 |
| 12 | 72,5 | 15 | 4,49 |

**Resultados de la modelación**

El modelo obtenido es:

$$\mu = 1{,}99708 + 0{,}043 * T + 0{,}5735 * t - 0{,}0085 * T * t \qquad (4)$$

Donde:
μ: Viscosidad [$Pa.\ s$]
T: Temperatura [°C]
t: Tiempo de agitación [minutos]

Dentro de las características del modelo obtenido se tienen:

- Coeficiente de determinación $R^2$. El valor de 92,68 % como coeficiente de determinación representa que el modelo presenta un buen ajuste para el indicador viscosidad, ya que esta próximo al 100 %.
- Significación estadística de los coeficientes del modelo. La significación estadística de los coeficientes del modelo está dada por el diagrama de Pareto. Tanto la temperatura, el tiempo de agitación y la interacción entre ellos inciden significativamente en la variable dependiente de manera negativa, al ser inversamente proporcional a su comportamiento, pero a su vez los valores de viscosidad obtenidos no se encuentran fuera de los rangos de especificidad técnica para el producto que se está evaluando.
- Análisis de varianza o ANOVA**.** El análisis de varianza (ANOVA) para la variable se separa para cada uno de los efectos o factores independiente, ya que muestra la significación estadística de cada efecto por separado comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso la variabilidad de los datos se explica por el modelo, y no está causado por los errores, por lo que se puede afirmar que este modelo posee un buen ajuste. Los resultados obtenidos se comportan similar a los encontrados por otros autores
- Análisis de los residuos. A partir del análisis de varianza para la variable dependiente viscosidad, se obtiene el valor del coeficiente de Durbin-Watson. Este estadígrafo permite comprobar si existe independencia de los errores pues este es uno de los requerimientos para la aplicación del método de los mínimos cuadrados. De esta manera se puede afirmar que no existe correlación alguna en los errores o lo que es equivalente, hay independencia entre los mismos.
- El programa brinda para las condiciones estudiadas, el mejor valor tomado como criterio de maximizar la variable de respuesta.

En este caso, la viscosidad alcanza su valor máximo para los valores bajos de temperatura y tiempo de agitación en las condiciones de estudio. Se debe destacar que en el diseño que se realizó al variar la temperatura a 70 °C y disminuir el tiempo de agitación a 10 minutos, coinciden con los encontrados en la literatura donde se formulan diferentes cremas a temperatura 70 °C. Se reporta además una formulación usando 60 °C para una crema de espirulina cubana y otra usando 65 °C para una crema hidratante con

ingredientes orgánicos a base de sábila. Los valores de viscosidad obtenidos en este diseño además de cumplir con las especificaciones de la empresa SUCHEL CAMACHO S.A con valores dentro del rango de 2,0 a 6,0 *Pa.s* también cumplen con los parámetros reportados en la literatura con un amplio rango.

**Prueba de estabilidad**

La estabilidad del producto se evaluó por observación macroscópica cualitativamente. Los resultados de la estabilidad de los productos en todos los casos resultaron conformes, al no mostrar separación de las fases oleosa y acuosa, ya que la centrifugación de las cremas demostró que las emulsiones no se modifican, estos resultados garantizan que el principio activo no se separará del excipiente base por el tiempo establecido, comprobándose la misma a las 72 horas, una semana, dos semanas, un mes, tres meses y seis meses..

**Análisis de consumos**

En la tabla 7 se muestran los resultados de las masas de vapor y combustible y los índices de consumo para ambas alternativas, las condiciones actuales y las propuestas y los datos necesarios para sus cálculos.

Tabla 13 Análisis de consumos

| **Indicadores** | **Base(A)** | **Propuesta(B)** |
|---|---|---|
| Masa de la mezcla ($m_m$((kg))) | 2 500 | |
| Capacidad calorífica del producto (Cp (J/kg °C)) | 3 476,14 | |
| ($\Delta$H(J/kg)) | 2 716 490 | |
| Valor calórico inferior del combustible diésel (VCI (J/kg)) | 45 100 197 | |
| Eficiencia de la caldera ($\eta$ (%)) | 0,7 | |
| Densidad del combustible ($\rho$(kg/m$^3$)) | 832 | |
| Precio del combustible (\$/m$^3$) | 700 | |
| Calor total (Qt (J)) | 434 517 500 | 391 065 750 |
| Temperatura final (Tf(°C)) | 75 | 70 |
| Masa de vapor (kg) | 160 | 144 |
| Masa de combustible (kg) | 14 | 12 |
| Índice de consumo (kg de vapor/kg de mezcla) | 0,06 | 0,05 |
| Temperatura inicial (Ti(°C)) | 25 | |

La cantidad de calor necesaria para la elaboración de 2 500 kg de Crema de argán aplicándose la condición A es igual a 434 517 500J, lo que representa una masa de vapor a consumir de 160 kg, equivalente a un consumo de combustible de 14 kg de diésel, mientras que para la condición B (modificando las variables de operación) se requiere un consumo de calor de 391 065 750J, que representa una masa de vapor de 144 kg para un consumo de combustible de 12 kg de diésel. Observándose que en la segunda opción es menor el consumo de vapor y es suficiente para que ocurra el proceso de calentamiento de las materias primas en el equipo de fabricación por lo que disminuye el consumo de vapor en 16 kg de vapor por templa.

**Análisis económico**

Asumiendo que se elaboran 4 templas al día y se trabajan 24 días al mes se obtiene un ahorro de 111,17 $ al mes, equivale a 1 334 $ al año por concepto de disminución del vapor generado. Es importante destacar que este ahorro solo es para esta crema líquida, pero si se realizara un estudio sobre todos los productos que consumen vapor, sería posible un ahorro para la empresa muy favorable.

Además del componente vapor, entre otros aspectos, que repercuten en la eficiencia económica de la producción de la crema de argán está la variable tiempo que al disminuirlo según la propuesta de este trabajo de 20 minutos a 10 minutos por templa participan otros factores, entre los que se encuentran el tiempo de funcionamiento del motor, la iluminación del local, también influye el salario del personal involucrado en el proceso, ya que sería menor tiempo que van a dedicar en esta tarea, así como el tiempo de ocupación del producto en el reactor por lo que puede estar disponible para la fabricación de otra templa ya sea de crema u otro producto.

Estas consideraciones se deben tener en cuenta, calculando y analizando el ahorro económico de estos aspectos a escala industrial. Su análisis será similar al que se realizó en este trabajo.

**Impacto ambiental y social**

Si se garantiza que en el proceso ocurra el menor consumo de vapor y menor consumo energético, es menor la cantidad de combustible para generar el vapor de la etapa de calentamiento, por tanto, ahorro de combustible y menores emisiones de gases a la atmosfera; y se utilizará una menor cantidad de agua, que implica un ahorro en el proceso.
Este trabajo contribuirá a que sea más efectiva la estrategia de la entidad productiva para la disminución del consumo de portadores energéticos y por otro lado a que se consuma por el cliente un producto que cumpla con las especificaciones de calidad requerida con menores efectos nocivos al medio ambiente.

## 4 CONCLUSIONES

1) Se obtuvo la crema de argán a escala de laboratorio, disminuyendo la temperatura y el tiempo de agitación, la cual cumplió satisfactoriamente con la calidad requerida para su uso como cosmético.
2) La viscosidad se consideró el parámetro crítico en las modificaciones planteadas, encontrándose en todos los experimentos dentro de los límites establecidos (2,0 $Pa.\ s$ - 6,0 $Pa.\ s$).
3) Se obtuvieron los mejores valores de las variables operacionales temperatura y tiempo de agitación, 70 °C y 10 minutos respectivamente empleando el programa STATGRAPHICS CENTURION XV. II.
4) La crema de argán mostró indicadores de calidad que cumplieron con los parámetros y especificaciones establecidos, similares a la fabricada por la empresa. La misma resultó estable en el tiempo.
5) El aporte económico estimado por concepto de reducción en el consumo de vapor en un año de producción de la crema de argán será de 18 426 kg de vapor lo que equivale a 1 334 $ al año.

## REFERENCIAS


1. NAVARRO C. “El Libro de la Cosmética Natural”. Ned Editorial. p. 8-14. 2021
2. Eaglstein WH. What Are Cosmetics and Cosmeceuticals? Eaglstein WH, editor. The FDA for Doctors. Cham: Springer International Publishing. p.29-31. 2014
3. GARCÍA E, BADÍA MA. “Perfumería y Cosmética,Natural 2da. Edición”. Ediciones Paraninfo SA. p.23-41. 2023
4. DE GROOT AC, WHITE IR. “Cosmetics and Skin Care Products” Rycroft RJG, Menné T, Frosch PJ, Lepoittevin J-P, editors. p.61-85. 2018.
5. GARCÍA BC. “Nueva Crema depilatoria a partir de aceite de Moringa Oleífera”. Trabajo de Diploma. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"; La Habana, Cuba, 2019.
6. PÉREZ P, NIETO OM. “Diseño de una crema regeneradora con quitina para después del bronceado”. Revista Cubana de Farmacia. Pp.238-251. 2013
7. TELLO M. “Formulación de una crema hidratante elaborada con ingredientes orgánicos a base de sábila”. Tesis de grado. Universidad Internacional Sek, Quito. 2013.
8. HONG IK, KIM SI, PARK BR, CHOI J, LEE SB. “Evaluation of Emulsion Stability for Cosmetic Facial Cream” Applied Chemistry for Engineering. 27(5):527-31. 2016
9. GORTAIRE SL. “Diseño de un proceso industrial para la elaboración de crema hidratante a partir de Aloe Vera (Aloe barbadensis) para la Empresa Química Indules”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Colección Bioquímica. 2017.
10. BOLAÑOS MI. “Estudio experimental para la obtención del 12 hidroxi-estearato de etilo a partir de la cera castor y del alcohol etílico y su utilización en la formulación de crema cosmética”. Semisud. Biblioteca Virtual. Universidad de Guayaquil. 2018
11. SHARADHA M, GOWDA D. “Development and Evaluation of Medicated Cosmetic Cream to Produce Triple Effect on Skin for the Treatment of Uneven Skin Tone”. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 221-32. 2020
12. NASH JF, GETTINGS SD, DIEMBECK W, CHUDOWSKI M, KRAUS AL. “A Toxicological Review of Topical Exposure to White Mineral Oils”. Food and Chemical Toxicology International Journal published for the British Industrial Biological Research Association. 4(2):213-25. 1996
13. LÓPEZ L. “Diseño de Requisitos de Buenas Prácticas de Fabricación en la Producción y Control de la Calidad de Cosméticos para el Laboratorio de Cosméticos de Santa Clara”. Jornada Científica Universidad Central de Las Villas; 2014.
14. JUÁREZ MF. “Estudio De La Estabilidad de Dos Emulsiones Aceite en Agua Utilizadas en la Industria Cosmética Variando las Proporciones del Agente Emulsionante”. Repositorio del Sistema Universitario. Universidad de San Carlos de Guatemala; 2019.

15. VITERI GF. “Elaboracion y Control de Calidad de una Crema Facial para el Acné a Base del Extracto Alcoholico de Tomillo (Thymus Vulgaris)”. Biblioteca Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Colección Bioquímica. 2015.
16. SARMIENTO SJ. “Evaluación del cumplimiento de los parámetros organolépticos, Fisicoquímicos y Microbiológicos en Cremas y Geles Elaborados a Base de Baba de Caracol, Expendidos en Casas o Centros Naturistas de la Ciudad del Cusco”. Universidad San Antonio Abad del Cusco. Repositorio Institucional. 2014.

**Sobre los autores**

**Fernando González Rodríguez.** Graduado de Ingeniería Química (CUJAE). Máster en Ciencias en Análisis y Control de Procesos. Profesor Auxiliar de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Investigación y desarrollo en ingeniería de procesos, control de procesos, calidad higiénico sanitaria y seguridad industrial.

**Jenny Coto Oruña.** Graduada de Ingeniería Química. Tecnóloga.

**Anabel Frías Chirino:** Graduada de Ingeniería Química (1997). Doctora en Ciencia Técnicas (2011). Profesora Auxiliar de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Desarrolla su trabajo de investigación en el campo de la ingeniería de alimentos.

**Gil Cruz Lemus:** Graduado de Ingeniería Química (CUJAE). Doctor en Ciencia Técnicas (CUJAE). Profesora Auxiliar de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado. Profesor Auxiliar. Doctor en Ciencias Técnicas. Desarrolla su trabajo de investigación en el campo del control automático de procesos tecnológicos, sistemas expertos e inteligencia artificial.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE EFECTO DOMINÓ POR INCENDIO MEDIANTE UN ENFOQUE FUZZY- BAYESIANO EN UN ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

**Yanelys Cuba Arana[1], Ramón Quiza Sardiñas[1], Jesús Delfín Luis Orozco[2]**

[1]Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible, CEFAS, Universidad de Matanzas Cuba,
[2] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Matanzas Cuba
[1]e-mail:yanelys.cuba99@gmail.com

**RESUMEN**

El análisis predictivo probabilístico de riesgos es uno de los más usados internacionalmente debido a la información confiable que brinda para la optimización de la seguridad industrial. Sin embargo, las técnicas de análisis de riesgos clásicas necesitan ser actualizadas considerando la mejor representación de los accidentes que pueden ocurrir. Una de las industrias que representa en sí misma un alto grado de peligrosidad debido a la volatilidad e inflamabilidad de los materiales que procesa es la petrolera. Por esta razón esta investigación está enfocada en pronosticar la probabilidad de accidentes de incendio considerando la evolución en el tiempo, el sinergismo entre ellos y la probabilidad conjunta del efecto dominó por incendios en un área de almacenamiento de hidrocarburos. Para ello se desarrolla una metodología de seis etapas fundamentales en las que se incorpora el uso de la Inteligencia Artificial para la obtención de los resultados. Se obtuvo que el potencial de peligro de desarrollar un efecto dominó es elevado acorde a la literatura especializada.

**PALABRAS CLAVES:** incendio, efecto dominó, inteligencia artificial.

**ABSTRACT**

Probabilistic predictive risk analysis is one of the most widely techniques used worldwide due to the reliable information it provides for of the industrial safety optimization. However, classical risk analysis techniques need to be updated considering the best representation of accidents that may occur. For this reason this research is focused on forecasting the probability of fire accidents considering the evolution over time, the synergy and the joint probability of the domino effect by fires in a hydrocarbon storage area. For this purpose, a six-step methodology is developed in which the use of Artificial Intelligence is integrated to obtain more reliable results. It was obtained that the hazardous potential for developing a domino effect is high according to the specialized literature.
**KEY WORDS:** fire, domino effect, artificial intelligence.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico experimentado por los países industrializados en las últimas décadas, ha llevado consigo al incremento de instalaciones industriales. La producción, manipulación y transporte de determinadas sustancias peligrosas han implicado asimismo la aparición de nuevos riesgos, que pueden originar accidentes graves en las plantas de proceso con un fuerte impacto sobre las instalaciones, la población y el entorno [1]-[2].

En la industria química estos accidentes ocurren cada vez con más frecuencia debido al aumento de los inventarios cada vez mayores que se manejan en todo el mundo, a pesar del desarrollo obtenido en la ciencia y la tecnología de la seguridad industrial [3-5]. Los accidentes generados por el efecto dominó son los más destructivos y de mayor impacto y representan una afectación global a mayor escala, ya que, en estos casos, la magnitud de las consecuencias de los accidentes secundarios es mucho mayor que la del accidente primario [6]-[7]-[8].

Según las necesidades actuales en el análisis predictivo probabilístico de riesgos resulta indispensable la actualización de las técnicas de análisis de riesgo clásicas y la integración con otras más sofisticadas, que

permitan determinar la probabilidad de ocurrencia de los accidentes y su posibilidad de concluir en un efecto dominó a partir del desarrollo de un evento primario para así obtener resultados más confiables y por consiguiente mejorar los métodos de evaluación de riesgos en el desarrollo de estrategias para prevenir accidentes y en el diseño de medidas de mitigación [9]-[10].

En los últimos años se han combinado técnicas como la aplicación de las redes bayesianas de probabilidades, con el fin de emitir un criterio más acertado de seguridad industrial en función de evitar la ocurrencia de estos accidentes, y en especial, que no ocurra el efecto dominó. Las redes Bayesianas dinámicas constituyen una extensión de la misma que permiten modelar sistemas dinámicamente, cuando los factores cambian con el tiempo [11] y la lógica *Fuzzy* proporciona una herramienta para la obtención de conocimientos y la evaluación probabilística de la seguridad bajo incertidumbre en los sistemas de proceso [12].

Dentro del amplio campo industrial, la industria petrolera juega un papel fundamental en el desarrollo a nivel mundial. En Cuba existen refinerías, empresas de perforación de petróleo y empresas comercializadoras de combustibles que se encargan del procesamiento del petróleo crudo con distintos fines. Estas industrias representan en sí mismas un alto riesgo de incendio y explosión por el nivel elevado de inflamabilidad y volatilidad de las sustancias que manejan. En estos sitios se almacenan diferentes combustibles como son la nafta, gasolina de aviación, diésel, fuel oil y turbocombustible; siendo esta área de interés a estudiar por las grandes capacidades de almacenamiento en los tanques y por los incidentes de incendio, derrames y fallos eléctricos ocurridos en la misma.

Por tal motivo el objetivo de este trabajo es pronosticar la probabilidad de accidentes de incendio considerando la evolución en el tiempo, el sinergismo entre ellos y la probabilidad conjunta del efecto dominó por incendios en un área de almacenamiento de hidrocarburos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se describe la metodología que será empleada para el cumplimiento del objetivo de esta investigación. Primero, se muestra la secuencia lógica de análisis, resultado del análisis bibliográfico previamente realizado. Segundo, la descripción tecnológica del área estudiada: área de almacenamiento de hidrocarburos. Finalmente, se detallan cada una de las etapas dentro del algoritmo propuesto en el marco de esta investigación; así como, los programas necesarios para el desarrollo del mismo. En la figura 1 se muestra la secuencia de análisis propuesta para esta investigación.

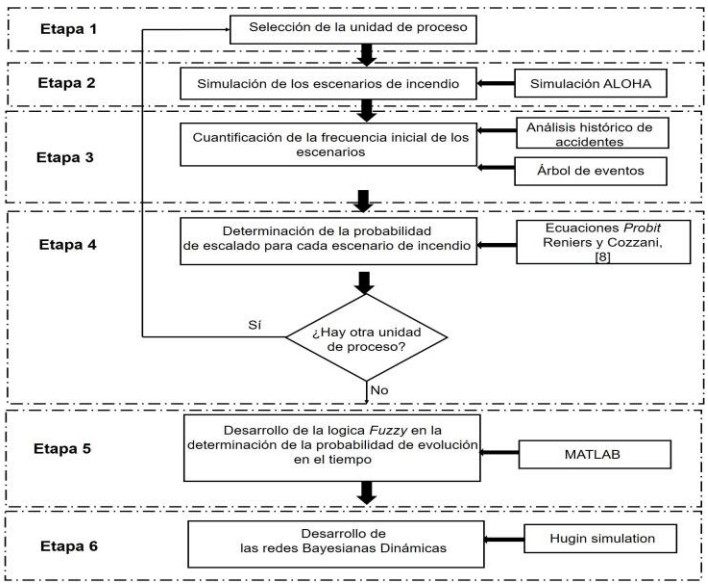



Figura 1: Metodología propuesta en esta investigación.

**2.1 Etapa 1: Selección de la unidad de proceso.**

Esta primera etapa dentro de la secuencia se refiere a la selección de una unidad de proceso dentro del área, para su posterior análisis. Para poder hacer una correcta selección de la misma, es necesario realizar una caracterización tecnológica dentro del área. En este caso el área objeto de estudio es un área de almacenamiento de hidrocarburos.

**2.2 Etapa 2: Simulación de todos los escenarios de incendio para cuantificar los vectores de escalado.**

Para la simulación de los escenarios de accidentes se emplea el *software* ALOHA, reconocido por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) como el simulador más adecuado para expresar el comportamiento de accidentes tóxicos, de incendio y explosión, con uso ampliamente recomendado para la evaluación de consecuencias en el proceso de análisis de riesgos y que cuenta con un gran prestigio a nivel internacional [13]. Para su empleo se debe definir primeramente los escenarios a desarrollar considerando parte del análisis bibliográfico, la descripción del proceso que se realiza en la industria, así como las características y propiedades de las sustancias involucradas que son combustibles líquidos con alto grado de inflamabilidad y volatilidad.

Este *software* establece nivel de preocupación (LOC). Según [14]-[15] para la radiación los valores utilizados de LOC son:

- Rojo: 10 kW/m$^2$: Potencialmente letal en el intervalo de 60 segundos.
- Naranja: 5 kW/m$^2$: Quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 segundos
- Amarillo: 2 kW/m$^2$: Dolor en 60 segundos.

**2.3 Etapa 3: Cuantificación de la frecuencia inicial de los escenarios**

La cuantificación de la frecuencia inicial de los accidentes y la obtención de la probabilidad de ignición teniendo en cuenta la combinación de las técnicas árbol de eventos y análisis histórico de accidentes permiten la obtención de resultados adaptados al área objeto de estudio, puntos fundamentales para la confección de las redes Bayesianas. Para cuantificar la frecuencia inicial de los accidentes se aplica una combinación de las técnicas de análisis de riesgos siguientes: Análisis históricos de accidentes, particularizado al área de estudio en específico tomando un período de diez años para el registro; la determinación de la probabilidad de ignición según [16] y el árbol de eventos propuesto por [17].

**2.4 Etapa 4: Determinación de la probabilidad de escalado para cada escenario de incendio**

Para lograr determinar la evolución de la cadena de eventos dentro del efecto dominó es necesario conocer los valores de escalado que no son más que valores mínimos de efectos a partir de los cuales se puede causar daño al equipo objetivo o simplemente producir el escalado de los accidentes [18]-[20]-[13].En la tabla 1 se muestran las ecuaciones que se utilizan para el cálculo.

Tabla 1: Modelos de probabilidad para cuantificar la probabilidad de escalado

| **Vector de escalado** | **Valor umbral** | **Tipo de modelo de probabilidad** | **Modelo de probabilidad** | **Ecuación** |
|---|---|---|---|---|
| Radiación | I>15 kW/m$^2$ | Modelo Probit basado en *ttf* y modelos para *ttf vs. radiación*. | $Y = 9.25 - 1.847 \cdot \ln(ttf/60)$ | 1 |
| | | | $\ln(ttf) = -1.13 \cdot \ln(I) - 2.67 \cdot 10^{-5} V + 9.9$ | 2 |
| *ttf* es tiempo de falla en segundos, *V* es el volumen del tanque en m$^3$, *I* es la radiación en kW/m$^2$ | | | | |

Para el cálculo de las *Probit* se necesita conocer si el equipo analizado es atmosférico o presurizado y cuál es el posible escenario de accidente a producirse. Además, para el caso de incendios se debe calcular el tiempo de falla que depende del volumen del recipiente y las radiaciones recibidas, mientras que para las explosiones solo se requiere el valor de la sobrepresión. Una vez obtenido los valores *Probit* mediante el programa Matlab se obtiene las probabilidades de escalado de los accidentes primarios con escenario de incendio.

**2.5 Etapa 5: Desarrollo de lógica *Fuzzy* en la determinación de la probabilidad de evolución en el tiempo.**

Se aplica la lógica *Fuzzy* en la determinación de la probabilidad de evolución en el tiempo para el posterior desarrollo de las redes Bayesianas dinámicas.

Los juicios de los expertos en forma de expresiones lingüísticas deben primero transformarse en números difusos y luego agregarlos en un número difuso llamado posibilidad difusa (FP).
Los factores de ponderación de los expertos se calculan de acuerdo con lo mostrado por [11]. Según [21] si un experto se considera mejor que otros, se le asigna un mayor peso. Los pesos de los expertos se obtienen estimando las puntuaciones de peso y factores de ponderación de los mismos. Al final las probabilidades difusas obtenidas se asignan como probabilidades de fallas de los eventos y barrera de seguridad en el modelo desarrollado. Por lo tanto, la lógica *Fuzzy* proporciona una herramienta para la obtención de conocimientos y la evaluación probabilística de la seguridad bajo incertidumbre en los sistemas de proceso.

**2.6 Etapa 6: Desarrollo de las Redes Bayesianas Dinámicas**

Una vez aplicada la lógica *Fuzzy* se realiza la simulación en el software *Hugin* de una red Bayesiana dinámica con el objetivo de pronosticar la probabilidad de accidentes de incendio considerando la evolución en el tiempo, el sinergismo entre ellos y la probabilidad conjunta del efecto dominó por incendios.
Las redes Bayesianas ordinarias se pueden extender a redes Bayesianas dinámicas (DBN), que en comparación con las ordinarias éstas facilitan el modelado explícito de la evolución temporal de variables aleatorias en una línea de tiempo discretizada, también se puede utilizar para identificar las unidades más críticas que contribuyen a los escenarios de dominó[22]-]23].
Cuando se modelan las DBN solo se tienen en cuenta dos intervalos de tiempo, esto implica que la distribución de la probabilidad conjunta de un grupo de variables aleatorias en el tiempo $t + \Delta t$ se pueda expandir a $P(U^{t+\Delta t})$ como se muestra en la ecuación 3

$$P(U^{t+\Delta t}) = P\left(X_1^{t+\Delta t}, X_2^{t+\Delta t}, \dots, X_n^{t+\Delta t}\right) = \Pi_{i=1}^{n} P(X_i^{t+\Delta t} | X_i^t, pa(X_i^t), pa\left(X_i^{t+\Delta t}\right)) \quad (3)$$

Leyenda:
$X_1^{t+\Delta t}$ y $X_i^t$: Copias de Xi en dos porciones de tiempo consecutivas con un intervalo de tiempo de Δt.
$pa\left(X_i^{t+\Delta t}\right)$: Padres de Xi en el intervalo de tiempo t+ Δt.
$pa(X_i^t)$: Padres de Xi en el intervalo de tiempo t.

La red Bayesiana dinámica al replicar una red Bayesiana ordinaria en tres segmentos de tiempo consecutivo presenta dos tipos de arcos: arcos intra-corte que son los arcos dirigidos que conectan los nodos en los mismos cortes de tiempo y los arcos temporales o entre cortes que son los arcos que unen los nodos en cortes de tiempo consecutivos [23] .

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

**3.1 Análisis de los resultados del *software* ALOHA**

Las simulaciones realizadas en el *softwar*e ALOHA, se realizan con el objetivo de obtener los diferentes valores de vectores de escalado: intensidad de la radiación para escenarios de incendios. Además, se determina el alcance que tiene el accidente a través del radio de acción.
Para un mejor análisis y comprensión se dividió el área de estudio en tres, teniendo en cuenta la cercanía entre los equipos. En la figura 2 se muestra los tanques que conforman la división de dicha área.




Figura 2: Áreas de la T-320

El análisis se realiza en las tres áreas en que fue dividida el área objeto de estudio, haciendo énfasis en los tanques 17,18 y 30 de las áreas 1, 2 y 3 respectivamente debido a la posición centralizada de los mismos dentro del área, sus sustancias almacenadas de alta volatilidad e inflamabilidad, así como presentar la mayor probabilidad promedio con respecto al resto de los tanques y su gran potencial para detonar

accidentes.

### 3.2 Estimación del alcance del escenario charco de fuego

Cuando se produce un escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo y se produce la ignición del líquido derramado, se produce, entonces, un charco de fuego. En este epígrafe se muestran los resultados de este escenario para los tanques primarios potenciales, correspondientes a las corridas que simulan el escenario de charco de fuego en los mismos. En las figuras 3a y 3b se muestra el alcance que tienen las radiaciones de charco de fuego con respecto al tanque 17 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.

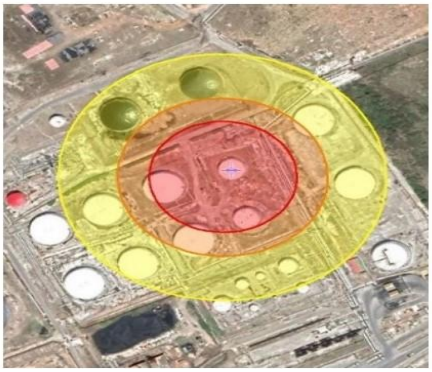


Figura 3a: Alcance del escenario charco de fuego en el TK17

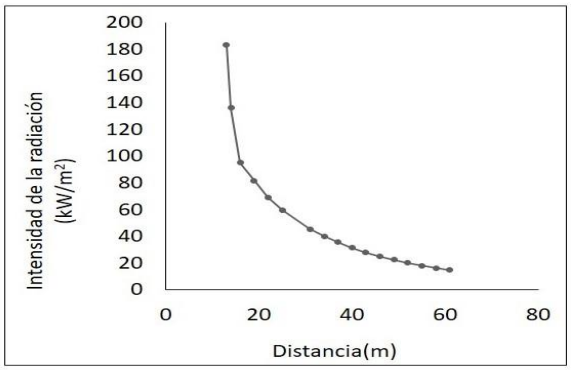



Figura 3b: Distancia vs Intensidad de la radiación en el TK 17

En la figura 3a se muestra el alcance que tiene el escenario charco de fuego en el tanque 17. Se observa como sus efectos pueden alcanzar hasta 73 m desde la fuente de explosión con una intensidad de la radiación superior de 10 kW/m$^2$ provocando la muerte en un intervalo de 60 segundos, hasta 100 m con radiaciones superiores a 5 kW/m$^2$ produciendo quemaduras de segundo grado, mientras que hasta 151 m las radiaciones alcanzadas son superiores a 2 kW/m$^2$ ocasionando dolor en menos de un minuto. Se aprecia además que dentro del radio de acción de este escenario existen varias unidades de procesos que son afectadas, tales resultados son similares a los obtenidos por [24] lo que evidencia que a partir de esta unidad de proceso el charco de fuego posee una elevada potencialidad de escalado y de producir efecto dominó sobre las unidades cercanas unido además a que este tanque almacena nafta, sustancia de elevada volatilidad e inflamabilidad.

En las figura 3b se observa como los valores de intensidad de la radiación disminuyen a medida que aumenta la distancia. Los niveles de radiación para este escenario independientemente de la fuente son elevados, destacándose que la curva no parte de cero ya que esta distancia corresponde al radio del charco del fuego, obteniéndose asi que la máxima radiación alcanzada a partir de dicho radio para el tanques 17 es de 183 kW/m$^2$. Además las llamas pueden alcanzar una distancia de 41 m, longitud influenciada por la presencia del viento pues [25]-[26] plantean que la velocidad de este sí es un parámetro que incide directamente en el ángulo de inclinación de la llama y este último a su vez, varía el diámetro del charco y la longitud de la misma.

### 3.2 Estimación del alcance del escenario BLEVE más bola de fuego

El escenario BLEVE más bola de fuego es un fenómeno complejo que involucra al mismo tiempo características de explosión y de incendio, originado fundamentalmente a partir de la ocurrencia de un accidente primario por lo que es considerado como posterior o secundario [27]. En las figuras 4a y 4b se muestra el alcance que tienen las radiaciones de charco de fuego con respecto al tanque 17 y los valores de intensidad de la radiación en función de las distancias.

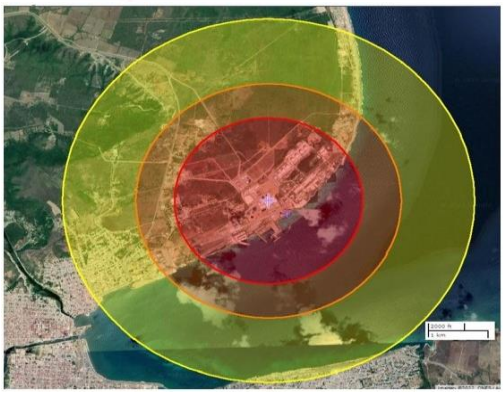


Figura 4a: Alcance del escenario BLEVE más bola de fuego en el TK17

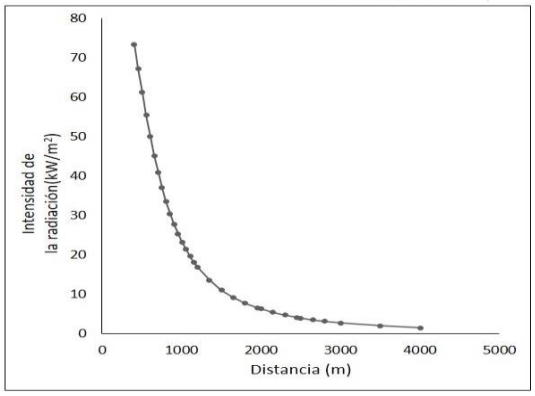



Figura 4b: Distancia vs Intensidad de la radiación en el TK17

En la figura 4a se evidencia el gran impacto de este escenario capaz de cubrir toda el área de la empresa y alcanzar poblados aledaños afectando no sólo al personal de la planta sino también a los pobladores de zonas cercanas. La zona roja, cuyas radiaciones son superiores a 10 kW/m$^2$, se alcanza en los tanques 17 para una distancia de 1,6 km, siendo según [28] potencialmente letales en un intervalo de 60 segundos para todas las personas que se encuentren en este radio. Para una distancia de 2,2 km se obtiene en el tanque 17 la zona naranja, provocando quemaduras de segundo grado en un intervalo de 60 segundos. Además, se obtienen radiaciones superiores a 2 kW/m$^2$ para una distancia de 3,5 km, causando un dolor en las personas en un intervalo de 60 segundos.

En la figura 4b se aprecia como los valores de intensidad de la radiación disminuyen a medida que aumenta la distancia. Además se obtienen las máximas radiaciones generadas a partir de la ocurrencia de una bola de fuego (producto de un BLEVE) para el tanque 17 teniendo un valor de 73,3 kW/m$^2$, resultados similares a los obtenidos por [29].

La duración de este escenario oscila entre los 30 a 45 segundos, no obstante a pesar de su poca duración provoca daños considerables ya que su alcance logra traspasar todo el aréa y zonas aledañas y las dimensiones de las bolas de fuego formadas pueden ser extraordinariamente grandes constituyendo así un accidente mayor según [30]-[31], de ahí que resulte imprescindible el perfeccionamiento de las medidas de prevención para reducir así a niveles tolerables sus consecuencias.

**3.2 Cuantificación de la probabilidad de escalado de los accidentes.**

Estos valores se introducen en ALOHA, con otro conjunto de datos, con el objetivo de determinar el valor del vector de escalado radiación para cada escenario que se pueda manifestar en cada unidad de proceso en función de la distancia. Con estos valores de los vectores de escalado se determina la probabilidad de escalado de cada tanque respecto a las unidades de procesos.

En el área 1 la radiación térmica más elevada es producida por el tanque 17 sobre el tanque 16 con un valor de intensidad de la radiación de 18 kW/m$^2$ y por el tanque 22 sobre el 23 con un valor de 18,4 kW/m$^2$. En el área 2 los mayores valores corresponden al tanque 20 con respecto al tanque 21 con radiaciones de 37,9 kW/m$^2$ pues a pesar de que el tanque 20 presenta la menor capacidad de almacenamiento de todas las unidades de proceso, son dichos tanques los más cercanos en toda la planta distanciados a tan solo 18 metros. Le sigue en esa misma área el tanque 18 con respecto al 20 con un valor de intensidad de la radiación de 33,2 kW/m$^2$. En el área 3 se tiene que el mayor nivel de intensidad de radiación emitido es del tanque 30 para el tanque 38 con un valor de 26,1 kW/m$^2$ distanciados a tan solo 78 m.

Luego de analizar los valores de los vectores de escalado así como los resultados de probabilidad y las distancias a las que se alcanzan los umbrales establecidos, se seleccionan las unidades tanque 17, 18 y 30 como los posibles equipos a desarrollar accidentes primarios en las tres áreas analizadas, pues son los más susceptibles a provocar el escalado a partir de la ocurrencia de un charco de fuego de producir efecto dominó. Dichos tanques se toman como representación de cada una de las áreas mostradas en la figura 2.

A partir de la aplicación del analisis histórico de accidentes y del árbol de eventos evidencian que la nafta es una de las sustancias con mayores probabilidades de provocar un charco de fuego y explosión de nube de vapor con valores de 0,0150 y 0,0135 respectivamente debido a su elevada volatilidad e inflamabilidad, y que en caso de que ocurra un derrame de nafta es más probable que se incendie y

provoque un charco de fuego que una nube de vapor. Dichos valores son altos de acuerdo a lo reportado por [29]-[12].

### 3.3 Resultados de la lógica *Fuzzy* para cuantificar la probabilidad de evolución en el tiempo en la red Bayesiana dinámica por incendio.

Antes de confeccionar DBN es indispensable la cuantificación de la probabilidad de evolución en el tiempo debido a incendios. Para ello se utiliza el criterio de expertos en función de tres factores fundamentales: la relación entre el tiempo de falla y el tiempo del accidente (TTF- TACC), la probabilidad de escalado por radiación térmica (PERAD) y los efectos de mitigación (MIT).

En las figuras 5a y 5b se muestran las superficies de respuesta para determinar la probabilidad de evolución en el tiempo (PDT).

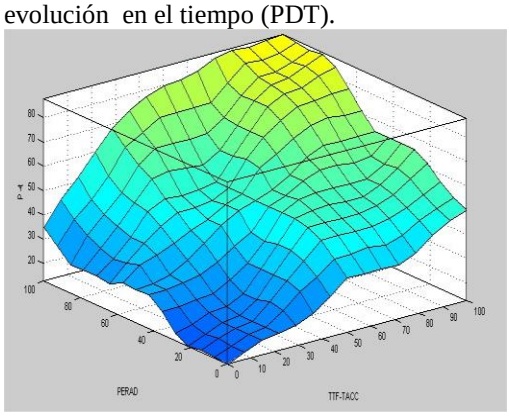



Figura 5a: Relación entre el tiempo de accidente y el tiempo de falla vs la probabilidad de escalado

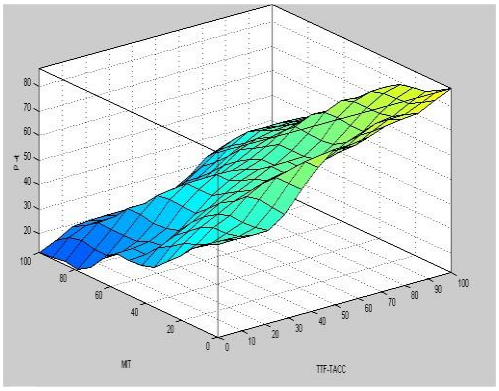



Figura 5b: Relación entre el tiempo de accidente y el tiempo de falla vs acciones de mitigación

Estas figuras evidencian el carácter directo del TTF- TACC y el PERAD con respecto al PDT, lo cual indica que si aumenta el tiempo de accidente y el tiempo de falla o la probabilidad de escalado se obtiene una mayor probabilidad de evolución en el tiempo, caso contrario ocurre si aumentan las acciones de mitigación. Los resultados respecto a los valores de probabilidad de evolución en el tiempo obtenidos se muestran en la tabla 2

Tabla 2: Resultados relacionados a la probabilidad de evolución en el tiempo en el área analizada

| U/P primaria | U/P afectada | TACC/TTF | TTF-TACC | PERAD | MIT | PDT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TK17-1 | TK16 | 5,52 | 100,00 | 43,64 | 50 | 65,00 |
| TK16-1 | A2 | 2,18 | 100,00 | 3,07 | 50 | 51,00 |
| A3-1(TK30) | A1 | 3,90 | 100,00 | 21,19 | 50 | 61,90 |
| A1-1(TK13) | A2 | 1,65 | 88,10 | 0,87 | 50 | 45,50 |
| A2-2(TK18) | A1(TK13) | 0,87 | 33,50 | 0,02 | 50 | 23,20 |
| A2(TK20) | A2-1 | 6,92 | 100,00 | 60,26 | 50 | 74,00 |

En la tabla 2 se muestra que el mayor valor de probabilidad de evolución en el tiempo es de un 74,00% y corresponde para la evolución de los posibles incendios en el área 2 donde se sitúan los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación. Esto se debe a que existen valores de probabilidad de escalado por radiación térmica superiores respecto a otras áreas por su cercanía a las mismas. En segundo lugar se encuentra la probabilidad de evolución en el tiempo para el tanque 17. Esta unidad de proceso es clave para el inicio de la cadena de eventos debido a los altos valores de radiación que puede llegar a generar una vez que ocurra un charco de fuego en la misma. Por esa razón y debido a su posición centralizada en el área se toma como unidad primaria en la evolución del efecto dominó por incendios. En cuanto a los

valores del factor TTF-TACC, para la mayoría de los casos se obtiene el máximo valor probabilístico posible lo cual implica que con las medidas de seguridad que se tienen en estos momentos no es posible detener la evolución del efecto dominó ya que los tiempos de falla son significativamente menores que los tiempos del accidente. Para todas las unidades se toma un valor medio de seguridad industrial de ahí que el factor de mitigación sea de un 50%.

**3.3 Resultados de la red Bayesiana dinámica desarrollada por incendio.**

Las redes Bayesianas dinámicas permiten modelar sistemas dinámicamente y cuantificar la probabilidad de accidentes teniendo en cuenta la posible evolución en el tiempo y el sinergismo entre los posibles escenarios [32]-[33]-[34]-[10]. En esta investigación se realiza para pronosticar la probabilidad de accidentes de incendio y la probabilidad conjunta de este escenario.

En la figura 6 se muestra la arquitectura de la red Bayesiana dinámica a partir de un accidente primario de charco de fuego en el tanque 17.

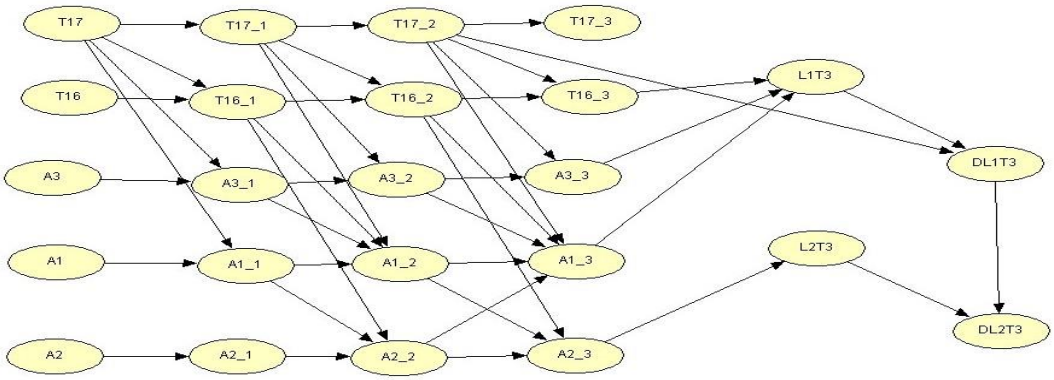



Figura 6: Arquitectura de la red Bayesiana dinámica desarrollada a partir de un accidente primario de charco de fuego en el tanque 17

Como se muestra en la figura 6 se desarrolla la arquitectura considerando tres intervalos de tiempo fundamentales, por esa razón cada unidad de proceso tiene su réplica para t1, t2 y t3. Además fue necesario agrupar los tanques en áreas por su cercanía: el área 1(A1) contiene los tanques de almacenamiento de diésel y turbocombustible (TK24, TK25, TK26, TK23, TK22, TK13) y se toma como representativo de esta área el tanque 26 (por su cercanía con el TK17), el área 2 (A2) que contiene los tanques que almacenan gasolina de aviación (TK20, TK21, TK18, TK74, TK19) siendo el representativo el tanque 18 por su mayor volumen y su cercanía al resto de las áreas, mientras que el área 3 (A3) contiene tanques que almacena fuel oil y diésel (TK30, TK38, TK1, TK4) siendo el tanque 1 el representativo. Se toma como suceso iniciador un charco de fuego en el tanque 17, como evento secundario se toma el charco de fuego en el tanque 16, el área 1 y área 3 (con sus unidades representativas) y como suceso terciario se toma el charco de fuego en el área 2 cuya unidad representativa es el tanque 18.

En las figuras 7a y 7b se muestran los valores de probabilidad previa para la ocurrencia de incendios correspondientes a la simulación de la red bayesianas dinámicas. Para el desarrollo de esta red fue necesario desarrollar previamente cinco redes: tres ordinarias (para la interacción de los eventos entre una misma área) y dos dinámicas (para la evolución en los tiempos t1, t2).

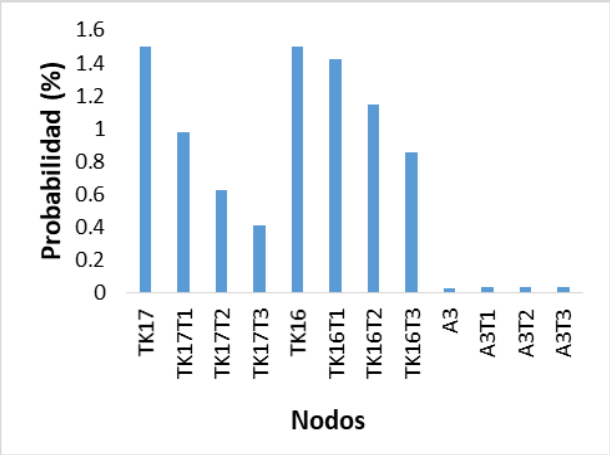



Figura 7a: Probabilidades de accidente para cada uno de los nodos del TK 17, TK 16 y A3

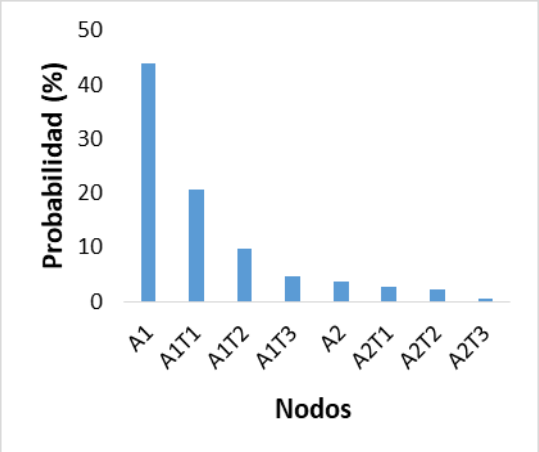



Figura 7b: Probabilidades de accidente para cada uno de los nodos del A1 y A2

Los mayores valores de probabilidad corresponden a las áreas A1 y A2 con valores cercanos al 45 y 4% respectivamente. Estos valores son elevados acorde a lo planteado en la literatura especializada por [12] y [24]. Esto se debe a que sobre estas áreas se ejerce mayor influencia del sinergismo producto a la radiación térmica generada en estos charcos de fuego. Luego, para los tanques 17 y 16 se obtienen valores similares con un tope de 1,50%, valores reportados como medios; mientras que para el área A3 valores bajos de 0,04% debido a que esta área se encuentra a mayor distancia del resto de las áreas y por ende, recibe menos efecto sinérgico producto a la radiación térmica. En la generalidad de los casos, a medida que transcurre el tiempo disminuye la probabilidad de accidente de charco de fuego debido a las acciones de mitigación posibles que se pueden desarrollar en ese lapso.
En la figura 8 se muestran los valores de probabilidad de los nodos auxiliares DLi, necesarios para la cuantificación de la probabilidad de efecto dominó de los diferentes niveles.

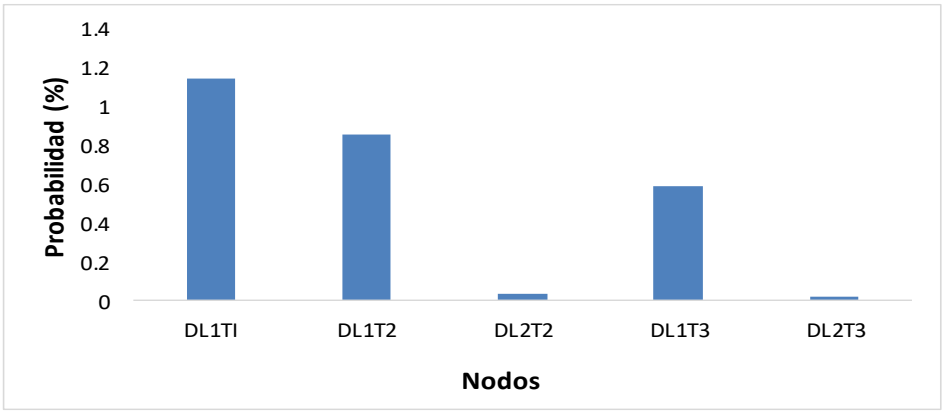



Figura 8: Probabilidades de accidente para los nodos auxiliares DLi

Para t1 solo existe efecto dominó al primer nivel de escalado (DL1t1) con un valor de 1,15%, valor medio acorde a los expertos [12]. Para t2 y t3 el efecto dominó se extiende hasta el segundo nivel de escalado, aunque para este nivel la probabilidad es mucho menor que para el primero. La probabilidad conjunta es de 0,90 y 0,61% para t2 y t3 respectivamente. Se muestra de forma consistente una disminución de la probabilidad de efecto dominó en el tiempo debido a las acciones de mitigación que se puedan desarrollar.

En la figura 9 se muestra la probabilidad del efecto dominó a diferentes niveles de ocurrir un accidente en cada una de las unidades de procesos analizadas.

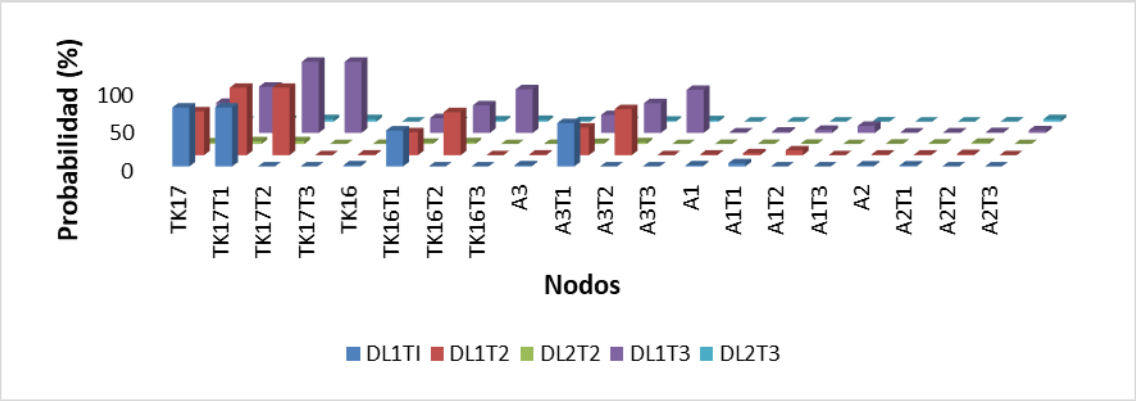



Figura 9: Probabilidades del efecto dominó al ocurrir un accidente para cada una de las unidades de proceso del área analizada

Para el caso de las unidades conformadas por los tanques 17, 16 y el área A3 se obtienen valores altos de probabilidad de efecto dominó según los reportados por la literatura especializada [12]-[29]. El valor de probabilidad conjunta para la ocurrencia de un charco de fuego en el tanque 17 es de 76,74% que representa un potencial elevado de efecto dominó por radiación térmica.

## 4. CONCLUSIONES

La combinación acertada de técnicas de inteligencia artificial como las redes Bayesianas dinámicas y la lógica Fuzzy, así como su integración con técnicas de análisis de riesgo clásicas permitió determinar que el potencial del efecto dominó es elevado.De todos los escenarios provocados por un derrame inicial de la sustancia, el BLEVE más bola de fuego es el que presenta mayor radio de afectación, alcanzando sus radiaciones hasta 3.5 km del origen del accidente. A partir de la combinación del análisis histórico de accidentes con el árbol de eventos se obtuvo que la nafta es una de las sustancias con mayores frecuencias iniciales probabilísticas de provocar un charco de fuego y explosión de nube de vapor con valores de 0,0150 y 0,0135 respectivamente debido a su elevada volatilidad e inflamabilidad. El desarrollo de la lógica *Fuzzy* evidencia que el mayor valor de probabilidad de evolución en el tiempo es de un 74,00% y corresponde para la evolución de los posibles incendios en el área 2 donde se sitúan los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación.El desarrollo de las redes Bayesianas dinámicas evidencian que el tanque 17 es la unidad más propensa a detonar la cadena de eventos dominó de todas las unidades de proceso con una probabilidad conjunta de 76,74 % para el escenario de incendio. La metodología propuesta fue incorporada al índice *Fire and Explosion Economic Losses Index* (FEEL-Index) que permite cuantificar las pérdidas económicas de accidentes producto a incendio y explosión y su efecto dominó[34].

Yanelys Cuba Arana agradece a los directivos del área de almacenamiento de hidrocarburos que facilitaron los datos para la metodología propuesta.

## 5. REFERENCIAS

[1] Casal, Joaquín; Montiel, Helena; Planas, Eulalia; Vílchez, Juan. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. 2da ed. Barcelona: Ediciones UPC. 2002. 362 p
[2] Wu, Z., Hou, L., Wu, S., Wu, X., & Liu, F. The time-to-failure assessment of large crude oil storage tank exposed to pool fire. Fire Safety Journal, 2020, pp 117.
[3] Xu, Y., Reniers, G., Yang, M., Yuan, S., & Chen, C. Uncertainties and their treatment in the quantitative risk assessment of domino effects: Classification and review. Process Safety and Environmental Protection, 2023, pp 971- 985.
[4] Rostamabadi, A., Jahangiri, M., Zarei, E., Kamalinia, M., y Alimohammadlou, M. A novel Fuzzy Bayesian Network approach for safety analysis of process systems; an application of HFACS and SHIPP methodology. Journal of Cleaner Production. 2019

[5] Tauseef, S., Abbasi, T., Pompapathi, V., y Abbasi, S. Case studies of 28 major accidents of fires/explosions in storage tank farms in the backdrop of available codes/standards/models for safely configuring such tank farms. Process Safety and Environment Protection. 2018

[6] Zarei, E., Gholamizadeh, K., Khan, F., & Khakzad, N. A dynamic domino effect risk analysis model for rail transport of hazardous material. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2022, pp74.

[7] Swuste, P., Van Nunen, K., Reniers, G., y Khakzad, N. Domino effects in chemical factories and clusters: an historical perspective and discussion. Process Safety and Environment Protection. 2019

[8] Reniers, Genserik; Cozzani, Valerio. Domino Effects in the Process Industries.Modeling, Prevention and Managing. Elsevier. 372 p. 2013

[9] Yazdi, M., Nedjati, A., Zarei, E., Adumene, S., Abbassi, R., & Khan, F Chapter Thirteen - Domino effect risk management: Decision making methods. Methods in Chemical Process Safety. 2021, Vol. 5, pp. 421-460.

[10 Kouk, H ; Siti, Z ; Ezutah, U. Integrating fuzzy expert system and scoring system for safety performance evaluation of offshore oil and gas platforms in Malaysia. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 56 p 32-45. 2018.

[11] Molina, J.L., Pulido-Velázquez, D., García-Aróstegui, J.L., y Pulido-Velázquez, M. Dynamic Bayesian networks as a decision support tool for assessing climate change impacts on highly stressed groundwater systems. Journal of Hydrology, 2013, 479, 113-129.

[12] Zarel, E ; Khakzad, N ; Cozzani, V ; Reniers, G. Safety analysis of process systems using Fuzzy Bayesian Network (FBN). Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 57 p 7-16. 2019.

[13] Orozco, J.L., Van Caneghem, J., Hens, L., González, L., Lugo R., Díaz, S. y Pedroso, I. Assessment of an ammonia incident in the industrial area of Matanzas. Journal of Cleaner Production. 2019.

[14] Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D. y Michael Reynolds, R. ALOHA (Areal Locations of Hazardousatmospheres) 5.4.4. Seattle, Washington. Departamente of Commerce national Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2013

[15] Meteogalicia. ALOHA v 5.4.1.2. y MARPLOT v 4.1.2. Manual de Usuario. Versión 1. Actividad 4. Tarea 4.2.1. The Atlantic Regions' Coastal Pollution Response. ARCOPOL. 2011

[16] Changlong, Zhu; Juncheng, Jiang; Xiongjun, Yuan. Study on ignition probability of flammable materials after leakage accidents. Procedia Engineering. Volume 45. Pages 435-441. 2012.

[17] BEVI. Reference Manual BEVI Risk Assessments. Versión 3.2. Netherlands. 2009

[18] Kadri, F., y Chatelet, E. Domino Effect Analysis and Assessment of Industrial Sites: A Review of Methodologies and Software Tools. International Journal of Computers and Distributed Systems, 2 (3), 2014. 1-10. hal-01026495

[19] Kamil, M.Z., Taleb-Berrouane, M., Khan, F., y Ahmed, S. Dynamic Domino Effect Risk Assessment Using Petri-nets. Process Safety and Environmental Protection. 2019.

[20] Zhang, L., Landucci, G., Reniers, G., Khakzad, N. y Zhou, J. DAMS: A Model to Assess Domino Effects by Using Agent-Based Modeling and Simulation. Risk Analysis. 2017.

[21] Lavasani, S.M.M., Wang, J., Yang, Z. y Finlay, J. Application of MADM in a fuzzy environment for selecting the best barrier for offshore wells. Expert Systems with Applications, 2012. 39, 2466–2478.

[22] Khakzad, N. A Tutorial on Fire Domino Effect Modeling Using Bayesian Networks. Modelling, 2021. 2, 240-258.

[23] Khakzad, N., Reniers, G., Abbassi, R., y Khan, F. Vulnerability analysis of process plants subject to domino effects. Reliability Engineering and System Safety. 2016

[24]Dueñas, J.A., Orozco, J.L, Furka, D., Furka, S., Boza; Arana, Y. C., Febles, D., González, A., y Barrera, M.C. A new Fuzzy- Bayesian approach for the determination of failure probability due to thermal radiation in domino effect accidents. Engineering Failure Analysis, 2021, 120.

[25] Wells, G. Major Hazards and their management. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.2003.

[26] Fabbri, L Binda, M Bruinen de Bruin, Y. Accident Damage Analysis Module (ADAM) – Technical Guidance, EUR 28732 EN, 2017, ISBN 978-92-79-71879-3, 2017.

[27] Gyenes, Z., Wood, M. y Struckl, M. Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks. JRC Technical Reports, 1- 116, 2017.

[28]ALOHA.EPA Software.2016 Recuperado de: www.epa.govcameoloha-software.

[29] Dueñas, J.A., Orozco, J.L, Febles, D., Furka, D., Furka, S., y García, A. Using integrated Bayesian-Petri Net method for individual impact assessment of domino effect accidents. Journal of Cleaner Production.2021

[30] HSE.Annual Science Review. Helping Great Britain work we. 2018. Disponible en: http://www.hse.gov.uk/horizons/.
[31] Nwabueze, Dili. Liquid hydrocarbon storage tank fires- How prepared is your facility? Chemical Engineering Transactions. Vol.48, p301-306. 2016. Disponible en: www.aidic.it/cet.
[32] Zeng, T., Chen, G., Yang, Y., Chen, P., y Reniers, G. Developing an advanced dynamic risk analysis method for fire-related domino effects. Process Safety and Environmental Protection.2019
[33] Hu, J., Zhang, L., Tian, W., y Zhou, S. DBN based failure prognosis method considering the response of protective layers for the complex industrial systems. Engineering Failure Analysis.2017
[34] Santana, J. A. D., Arana, Y. C., Gómez, O. G., Furka, D., Furka, S., Orozco, J. L., . . . Febles, J. S. Fire and Explosion Economic Losses (FEEL) Index: A new approach for quantifying economic damages due to accidents in hydrocarbon storage sites. Process Safety and Environmental Protection. 2022.

**Sobre los autores**

**Yanelys Cuba Arana**
Graduada de Ingeniería Química en 2021 por la Universidad de Matanzas. Máster en Ingeniería Asistida por Computadora en 2024. Profesora e investigadora del Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS) en la Universidad de Matanzas. Los trabajos investigativos desarrollados están en el campo de la Inteligencia Artificial aplicada a los procesos industriales, específicamente, a la gestión de riesgos y seguridad industrial teniendo en cuenta las afectaciones sobre las personas, el medio ambiente, la economía y la sociedad. Además, el uso de herramientas de avanzada como la lógica Fuzzy, redes bayesianas y redes Petri para la cuantificación de la frecuencia del efecto dominó de accidentes de incendio, explosión y nubes tóxicas.

**Ramón Quiza Sardiñas**
Ingeniero Mecánico, en 1999, y de Doctor en Ciencias Técnicas (en la especialidad de Construcción de Maquinarias), en 2005, ambos por la Universidad de Matanzas. Desde 2010 es Profesor Titular y, actualmente, dirige el Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), en la Universidad de Matanzas. Sus intereses de investigación se centran en la fabricación inteligente, la sostenibilidad y la inteligencia artificial aplicada. Es miembro de la Academia de Ciencias de Cuba, del Consejo Técnico Asesor del Ministerio de Educación Superior, de la Unión de Informáticos de Cuba, de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación y de la Sociedad Económica de Amigos del País. Pertenece, además, al comité editorial de dos revistas científicas internacionales.

**Jesus Delfín Luis Orozco**
Ingeniero Químico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Los trabajos investigativos desarrollados están en el campo de la Inteligencia Artificial aplicada a los procesos industriales, específicamente, a la gestión de riesgos y seguridad industrial teniendo en cuenta las afectaciones sobre las personas, el medio ambiente, la economía y la sociedad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPACTO DE LA FUENTE DE INÓCULO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO

**Beatriz Guerra Alvarez[1], Jorge W Ferrera O´Donnell[1], Ania Cabrera Díaz[2], Stefan Köhler[3], Ileana Pereda Reyes[4], Luis Guerra Díaz[1]**

[1]Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114 No.11901 e/Rotonda y Ciclovía Marianao, La Habana, Cuba, [3]IASP, Berlin, Alemania. e-mail: [1]beatrizg@quimica.cujae.edu.cu, jwfodonnell@gmail.com, [2]ania@mecanica.cujae.edu.cu, [3]stefan.d.koehler@iasp.hu-berlin.de, iperedareyes@gmail.com, [1]jorgelga@quimica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La utilización de biorrecursos renovables para la producción de productos industriales es una de las mejores estrategias alternativas para el desarrollo sostenible. Entre los precursores de polímeros biodegradables se encuentra el ácido láctico, el cual se puede obtener por síntesis química o por fermentación, siendo esta última opción la más empleada. El ácido láctico tiene gran demanda en la industria de alimentos, medicamentos, cosméticos y textiles. En el presente estudio se llevó a cabo un proceso de fermentación oscura para la obtención de ácido láctico a partir de un inóculo anaerobio pretratado y un cultivo puro *Pediococcus pentosaceus* y glucosa como sustrato. Se estudió el efecto de diferentes valores de pH (5,5 y 6,5) y de la concentración inicial del sustrato empleado (15 y 20 g/L). La fermentación se realiza en modo discontinuo en un volumen de 100 mL por un periodo de 48 horas bajo las condiciones de 37 ºC y 150 $min^{-1}$. La máxima concentración (10,5 g/L) se obtuvo con pH 6,5 y concentración del sustrato de 15 g/L con el microorganismo empleado y para el lodo anaerobio los resultados fueron de (4,33 g/L) con 15 g/L del sustrato a pH 6,5.

**PALABRAS CLAVES:** ácido láctico, fermentación oscura, inóculos metanogénicos, pretratamientos, pediococcus.

## IMPACT OF INOCULUM SOURCE ON LACTIC ACID PRODUCTION

**ABSTRACT**

The use of renewable bioresources for the production of industrial products is one of the best alternative strategies for sustainable development. Among the precursors of biodegradable polymers is lactic acid, which can be obtained by chemical synthesis or fermentation, the latter option being the most widely used. Lactic acid is in great demand in the food, medicine, cosmetics and textile industries. In the present study, a dark fermentation process was carried out to obtain lactic acid from a pretreated anaerobic inoculum and a pure Pediococcus pentosaceus culture and glucose as substrate. The effect of different pH values (5.5 and 6.5) and the initial concentration of the substrate used (15 and 20 g/L) was studied. The fermentation was carried out in batch mode in a volume of 100 mL for a period of 48 hours under the conditions of 37 ºC and 150 min-1. The maximum concentration (10.5 g/L) was obtained at pH 6.5 and substrate concentration of 15 g/L with the microorganism used and for the anaerobic sludge the results were (4.33 g/L) with 15 g/L of substrate at pH 6.5.

**KEY WORDS:** lactic acid, dark fermentation, methanogenic inoculums, pretreatments, pediococcus.

## 1. INTRODUCCIÓN

La humanidad se caracteriza por producir muchos desechos en todas las áreas, el manejo de estos desechos se hace cada vez más difícil de controlar por los niveles tan altos de consumo existente, es por este motivo que siempre se buscan opciones para minimizar los riesgos de contaminación por los desperdicios acumulados.

El desarrollo de la sociedad no puede verse separado de la industria química, el mismo constituye un sector de producción y desarrollo importante, sin embargo, es una fuente de generación de desechos, ocasionando un impacto negativo en el medio ambiente. Para disminuir este efecto es necesario desarrollar procesos químicos sustentables que minimicen los desechos con menor consumo de energía. El uso de energía renovable, para la producción por vía fermentativa, de compuestos orgánicos que pueden ser usados como monómeros para la síntesis de polímeros biodegradables, se ha convertido en una labor de investigación debido al progresivo agotamiento de los combustibles fósiles en el planeta y a las ventajas para el medio ambiente que este tipo de polímero ofrece en términos de biodegradabilidad. De modo particular los polímeros producidos a partir de ácido láctico D (-) han mostrado aceptables propiedades físico-mecánicas, comparables a la de los plásticos producidos a partir de reservas fósiles de energía y elevadas tasas de biodegradabilidad. Por estas razones, el ácido láctico D (-) constituye uno de los sillares producido por vía fermentativa, que mayores posibilidades brinda al desarrollo y la producción de los plásticos biodegradables [1]. Un polímero completamente biodegradable es un material que es convertido a dióxido de carbono, agua, minerales y biomasa por los microorganismos sin impacto ambiental o ecotoxicidad, razón por la cual se le añade tanta importancia en el uso del mismo.

El proceso de obtención de este ácido a partir de residuales orgánicos permite complementar la economía circular y sostenibilidad. Esta alternativa tiene alta versatilidad para producir compuestos de valor agregado desde fuentes con gran disponibilidad y bajo costo, con un impacto medioambiental positivo.

El ácido láctico, ácido 2-hidroxipropanoico, es un ácido orgánico natural abundante y muy versátil [2]. Su importancia radica en la variedad de aplicaciones que presenta para distintas industrias tales como la alimentaria, química, textil, farmacéutica y del plástico [3,4]. La demanda global de ácido láctico ha incrementado en los últimos años [5] y los esfuerzos de la investigación actual están extensivamente orientados hacia el desarrollo de materiales basados en ácido poliláctico como una alternativa viable y sustentable ante los plásticos sintéticos derivados del petróleo [6].

Se han realizado diferentes estudios sobre la obtención de este compuesto que ofrece tantas bondades en los productos biodegradables, siendo así la fermentación uno de los mecanismos más aplicados en los estudios para llegar a este compuesto. Utilizando diferentes microorganismos se han obtenido resultados satisfactorios desde concentraciones de 5 g/L hasta superar los 60 g/L dependiendo de los microorganismos y sustratos empleados, por lo cual se considera que es importante mantener esta tendencia en el estudio de este proceso.

El ácido láctico puede producirse por varios microorganismos clasificados en bacterias, hongos, levadura, cianobacterias y algas [7] y por cultivos mixtos que se obtienen fundamentalmente de lodos activados y lodos anaerobios. Esto últimos cultivos están conformados por agrupaciones de diversos microorganismos [8] y pueden mantener combinaciones útiles de rutas metabólicas con la utilización de materiales complejos en la fermentación, mejorando el proceso de estabilidad, disminuyendo la necesidad de suplementos de nutrientes y las condiciones estériles [2,9].

Pocos estudios reportan que han llevado a cabo la fermentación para producir ácido láctico con cultivos mixtos empleando diferentes sustratos: suero de queso [8,10], residuos de cáscaras de papa [9] residuos de la yuca [2] y glucosa [11], así como el empleo de un cultivo puro *Pediococcus pentosaceus* empleando bagazo de caña de azúcar [12] y residuos del cultivo de plátano [13].

El Instituto de Ciencia Animal (ICA), posee un cepario donde se destaca la reproducción y desarrollo del Pediococcus pentosaceus, la cual pudiera ser valorada para la producción por vía fermentativa de ácido láctico, a partir de un inóculo metanogénico pretratado y un cultivo puro (Pediococcus pentosaceus), empleando glucosa como sustrato.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Sustrato**

La fermentación se realizó utilizando como sustrato la glucosa al ser este un sustrato de fácil degradación en concentraciones 15 y 20 g/L de modo tal que nos permita evaluar dos alternativas para el proceso de fermentación y será utilizada como control de la misma.

**Fuentes de microorganismos**

**Inóculo A (cultivo mixto)**

La biomasa empleada como inóculo en la fermentación provino de un reactor de cúpula fija (chino) que trata excreta vacuna en la finca "Marta" del municipio Caimito, provincia Artemisa. El inóculo se almacenó en reactores de 5 L y se mantuvo activo a temperatura ambiente mediante el uso de ácido acético como sustrato. Una semana antes de su utilización, el inóculo se dejó de alimentar con el objetivo de facilitar la degradación del material aún presente en su constitución y se caracterizó. Este mostró valores de pH igual a 7,5; conductividad de 7,79 mS/cm y concentración de 33 712 mg/L de sólidos totales (ST) y 18 750 mg/L de sólidos totales volátiles (STV).

**Pretratamiento del lodo anaerobio (inóculo A)**

Para la preparación del inóculo, el lodo se sometió a un tratamiento por choque térmico con el objetivo de inhibir las bacterias metanogénicas. Para ello, una muestra de 250 mL fue pretratada a 95 ºC durante 30 minutos, seguida de un baño de hielo y posteriormente guardada a 4 ºC durante 24 horas. Luego, se realizó una filtración al vacío para eliminar los sólidos presentes. El inóculo pretratado y filtrado se caracterizó. Se conservó en un erlenmeyer tapado y en refrigeración hasta su utilización.

**Inóculo B *(Pediococcus pentosaceus)***

Las cepas de *P. pentosaceus* han presentado actividad antibacteriana, demostrada por su capacidad de producir una zona clara contra bacterias patógenas mediante métodos de difusión por agar en diversos estudios. Algunos reportes sugieren que la actividad antagonista de estas cepas bacterias ácido lácticas (BAL), es causada principalmente por ácidos orgánicos producidos como resultado del metabolismo de la glucosa. Otros posibles factores pueden ser algunos péptidos y bacteriocinas que desempeñan actividad antimicrobiana a pH bajo.

Este se inocula en el medio de cultivo y a continuación se coloca bajo las condiciones de 37 ºC por 48 horas para que comience su adaptación y una vez transcurrido este tiempo se comienza la fermentación.

**Adaptación del cultivo mixto y del Pediococcus pentosaceus.**

En el caso del inóculo A, se tomó una muestra de 20 mL del cultivo mixto ya tratado y se adicionó en 180 mL del medio de cultivo RCM. En el caso del inóculo B se tomó una muestra de 1 mL y se adicionó en el medio de cultivo ya preparado. Ambos se llevaron a condiciones iguales de incubación a 37 ºC por 48 horas. En este periodo tiempo se realizó una observación bajo el microscopio donde se evidenció el crecimiento de los microorganismos, lo cual demuestra que se adaptaron favorablemente, para luego dar paso a la fermentación.

**Materias Primas**

Para la preparación del Medio Reforzado en Clostridium (RCM), se siguió el procedimiento sugerido por Silva et al. (1), con modificaciones en su composición [14]. Todos los reactivos fueron disueltos en agua destilada a un volumen final de 2 litros para luego esterilizar en autoclave a 121 ºC y 1 atm por 15 minutos. Posteriormente, se almacenó en frío hasta su utilización. Estos compuestos fueron agregados para promover el crecimiento de los microorganismos encargados de la fermentación para obtener el ácido láctico, el pH del RCM es de 6,17. La composición del medio de cultivo, así como las funciones de algunos de los reactivos empleados fue de $KH_2PO_4$ (1 g/L), $K_2HPO_4$ (1 g/L), NaCl (5 g/L), $MnSO_4 \cdot 4\ H_2O$ (0,02 g/L), $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$ (0,5 g/L), $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,02 g/L), $CH_3COONH_4$ (1,1 g/L), almidón (1 g/L),

agar (0,5 g/L), peptona (10 g/L), Extracto de levadura (3 g/L), Extracto de carne (10 g/L), Glucosa (10 g/L).

El medio de cultivo RCM permite el crecimiento de bacterias del tipo Estreptococos y Lactobacilos, lo cual es favorable para el proceso, ya que se presentan en el trabajo dos inóculos diferentes a evaluar. El lodo que es un cultivo mixto de bacterias se adapta bien a este medio de cultivo, sucediendo así también con el *Pediococcus*. Se determinó que una vez se inocule el RCM se debe mantener las condiciones a 37 ºC por 48 horas para garantizar que se desarrolle el microorganismo en el medio de cultivo.

**Condiciones de la fermentación**

La fermentación se llevó a cabo bajo un diseño experimental, por un periodo de 48 horas en modo discontinuo en erlenmeyer de 250 mL con un volumen de trabajo de 100 mL. Las condiciones de trabajo fueron 37 ºC [15] y agitación constante a 150 $m^{-1}$. Se mantuvieron estas mismas condiciones hasta el final.

**Diseño experimental**

Para poder valorar cuales son las mejores condiciones para obtener el ácido láctico, se estableció un diseño multifactorial $2^3$, donde se evaluó el efecto del tipo de microorganismo, el pH y la concentración de sustrato. El pH de la fermentación se ajustó con una solución de NaOH 2M y $H_2SO_4$ 6N. En la tabla 1 se muestran las condiciones establecidas para la fermentación.

Tabla 1: Composición de las muestras

| Inóculo | Concentración de sustrato g/L | pH |
|---|---|---|
| A | 15 | 5,5 |
| A | 20 | 5,5 |
| A | 15 | 6,5 |
| A | 20 | 6,5 |
| B | 15 | 5,5 |
| B | 20 | 5,5 |
| B | 15 | 6,5 |
| B | 20 | 6,5 |

El contenido de glucosa se determinó por espectrofotometría empleando el método de Miller con el ácido 3,5-dinitrosalicílico o DNS según el procedimiento descrito por [16]. El contenido de ácido láctico, se determinó por el método espectrofotométrico con medición a 390 nm, según el procedimiento descrito por [17].

Para evaluar el rendimiento y la productividad se consideran las siguientes ecuaciones.

$$R(\%) = \frac{concentración\ de\ ácido\ láctico}{concentración\ de\ glucosa} * 100 \quad (1)$$

$$P\left(\frac{g}{Lh}\right) = \frac{concentración\ de\ ácido\ láctico}{tiempo} \quad (2)$$

**3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

El análisis y discusión de los resultados obtenidos en la fermentación realizada, donde se evaluó la producción de ácido láctico a partir de inóculos metanogénicos pretratados y un cultivo puro, además se emplea la glucosa como sustrato, se muestran a continuación.

**Caracterización del Inóculo A**

En la siguiente tabla 3.1 se recopila la información obtenida del lodo utilizado como inóculo antes y después de ser tratado.

Tabla 2: Análisis realizado al inóculo sin pretratar y pretratado.

| Parámetro | Inóculo (sin pretratar) | Inóculo pretratado |
|---|---|---|
| pH | 7,33 | 8,69 |
| Conductividad /(µs/m) | 7,79 | 5,59 |
| ST (mg/L) | 33 712 | 3 694 |
| STV (mg/L) | 18 750 | 2 192 |

Una vez realizado el pretratamiento con choque térmico se aprecian cambios en el pH, así como en la conductividad, también hay que destacar una disminución en los sólidos, esto es debido al proceso de filtración al cual fue sometido [18].

**Fermentación**

Teniendo en cuenta que el objetivo fundamental de la fermentación es determinar la mayor cantidad de ácido láctico que se pueda obtener cuando se utiliza glucosa como sustrato frente a dos tipos de fuente de inóculo, se realizaron a diferentes condiciones como las mencionadas anteriormente, variando pH y concentración de sustrato para ambos inóculos. Se tuvo en cuenta para el pH 5,5 y 6,5 y para el sustrato se concentración de 15 y 20 g/L intervalo de valores definidos una vez que se consultaron diferentes fuentes bibliográficas donde los mejores resultados se alcanzaba con estas cifras. La figura 1 que aparece a continuación refleja los resultados obtenidos de ácido láctico en condición de pH variable con el mismo inóculo y manteniendo fija la concentración del sustrato. Se puede apreciar como mantienen una tendencia similar en el crecimiento, sólo que la concentración alcanzada difiere, favoreciendo el pH 6,5 con un incremento final en la concentración del ácido láctico. Lo que se hace corresponder con otros autores en diferentes condiciones llegan a resultados donde esta variación es similar.

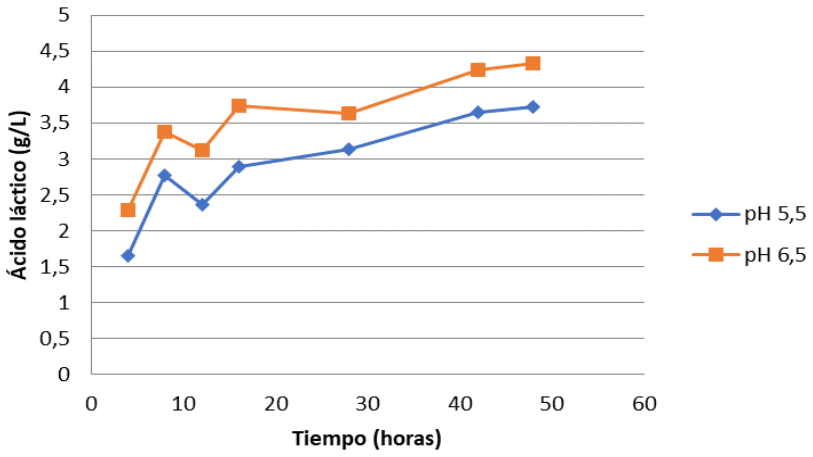



Figura 1. Concentración de inóculo A (15 g/L) a diferentes pH.

En la figura 2 se muestra el resultado obtenido para el inóculo B, el cual presenta las mismas condiciones del inóculo A, dando como resultado que el pH 6,5 es más favorable para la formación del ácido láctico en este medio. Es importante resaltar, la capacidad que tiene el microorganismo B de producir mayor concentración del producto en estudio. Es una diferencia notable casi del doble, llegando a niveles de aproximadamente 10 g/L, valor que es adecuado y se corresponde con otros estudios donde se plantea que trabajar con cepas puras de microorganismos garantizan mejores resultados, incluso obtener resultados que varían desde 8 g/L hasta 13 g/L con diferentes sustratos [19]. Otro autor CEGEP [20] obtuvo con un inóculo de Lactobacillus usando una fuente de glucosa de 20 g/L una concentración de 15 g/L de ácido láctico. Por lo que el resultado obtenido coincide con los reportado en la literaturas [21].

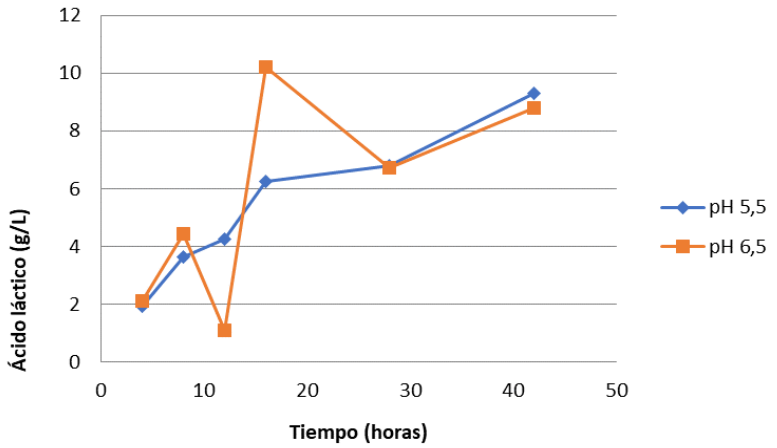



Figura 2: Concentración del inóculo B (15 g/L) a diferentes pH.

Otro aspecto a tener en cuenta que al realizar el estudio variando la concentración del sustrato a 20 g/L manteniendo constante el pH no hubo un cambio significativo en los resultados obtenidos, se mantuvieron muy similares, en el caso del inóculo A el valor se aproxima a 4 g/L y en el caso del inóculo B se aproxima a 10 g/L. Lo que confirma que la concentración del sustrato no es el factor fundamental en el incremento de la concentración del ácido láctico, en la figura 3 y 4 se exponen los resultados.

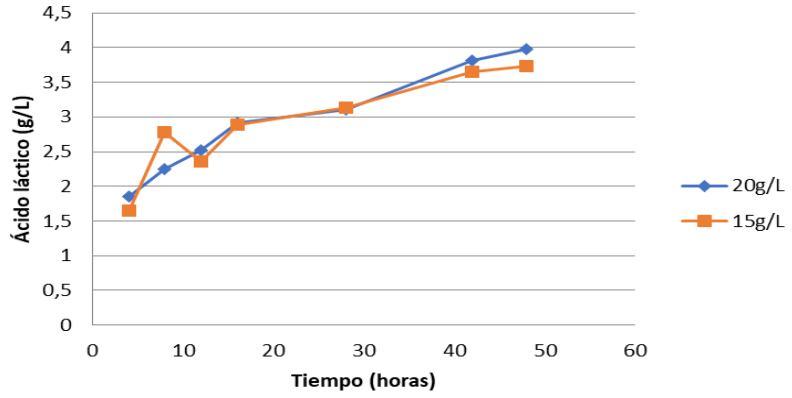



Figura 3: Concentración inóculo A con sustrato 15 y 20 g/L pH 6,5

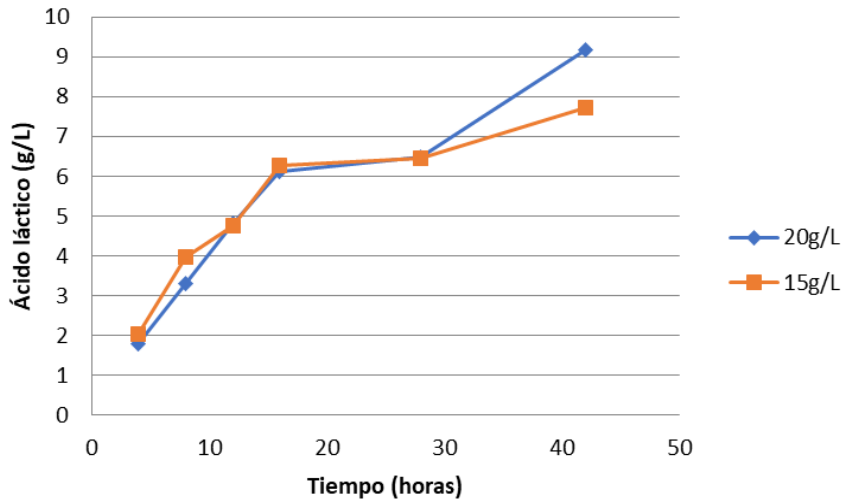



Figura 4: Concentración inóculo B con sustrato 15 y 20 g/L pH 6,5

La determinación de azúcares reductores según [22] mostró que a partir del 4to día se había consumido casi la totalidad de la glucosa en el inóculo B, no siendo así en el inóculo A, por lo cual podemos decir que el inóculo B se desempeña mejor en este medio de glucosa como sustrato que el inóculo A y por lo tanto tiene mayor capacidad de crecimiento y así obtener mayor concentración de ácido láctico en la fermentación. La figura 5 representa la concentración de glucosa restante al final de la fermentación.

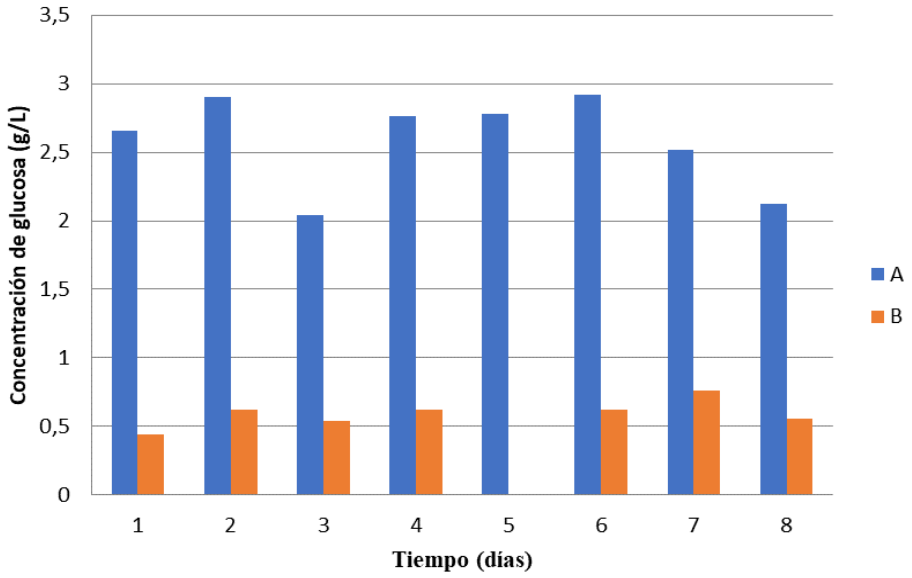



Figura 5: Niveles de concentración de glucosa (g/L)

En el caso del inóculo A se registra un consumo promedio del 89 %, mientras que en el inóculo B se obtiene un resultado de consumo de glucosa de 98 %. Estos valores son calculados mediante el método de Miller de azucares reductores según [16]. Como resultado final se puede decir que se obtuvo un rendimiento promedio de 18,5 % y productividad promedio de 0,0864 g/Lh en el caso del inóculo A,

siendo promedio de 36,5 % de rendimiento y 0,215 g/Lh para el inóculo B. En otros ensayos se han obtenido valores entre 6 y 60 % de rendimiento y 0,08 y 0,37 de productividad [24,14].

Con la viabilidad de usar inóculos pretratados como fuente de microorganismos es otro de los factores que podría influir en los cambios observados durante el proceso, aplicado al inóculo A, esta técnica antes de la fermentación genera diferentes rutas metabólicas que permiten inactivar una o más tipos de bacterias presentes en un cultivo mixto anaerobio. Usualmente, bacterias no formadoras de esporas como los *Clostridium*, *Bacillus* (bacterias formadoras de esporas) y las bacterias productoras de ácido láctico, acético y propiónico pueden sobrevivir. Por el contrario, los metanógenos hidrogenotróficos como los *Enterobacter* o los *Citrobacter* que son productores de hidrógeno son eliminados [14].

El mismo autor reporta como utilizando un lodo anaerobio pretratado por choque térmico se logra una acumulación significativa de ácido láctico (13,7 g/L) durante las primeras 30 horas del experimento, lo cual indica un cambio en la ruta metabólica principal seguida hacia la homofermentación. Sin embargo, alrededor las 30 horas se observa una disminución de la concentración de ácido láctico que resulta en la producción simultánea de ácido butírico e hidrógeno. Sus resultados experimentales están de acuerdo con la información antes mencionada sobre los cambios microbianos. En el presente estudio, aunque no se determinó de forma cuantitativa la producción de otros metabolitos durante la fermentación, se observa un comportamiento similar.

**Análisis del diseño multifactorial**

El efecto del pH, la concentración del sustrato y el tipo de microorganismo se analizaron en un diseño multifactorial $2^3$, el cual responde a la variable de respuesta concentración del ácido láctico (máximas concentraciones) con los factores antes mencionados. El diseño presentó un buen coeficiente de correlación ($R^2$ = 97,36 %), donde se evidencia que el factor tipo de microorganismo es fundamental en el resultado obtenido, dejando después el pH y la concentración del sustrato en su influencia en el resultado. En el diagrama de Pareto (figura 6) se puede apreciar que el efecto del tipo de microorganismo es significativo con un 95 % de confianza.

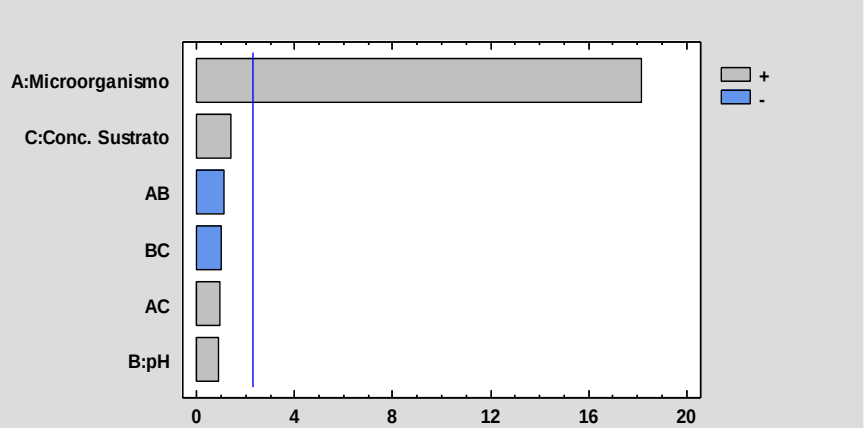



Figura 6: Diagrama de Pareto estandarizado

Este análisis se corresponde a lo esperado en cuanto a la fuente de inóculo, como era de esperar las producciones de ácido láctico son superiores cuando se emplean cultivos puros.
La utilización de fuentes de inóculos mixtos en la producción de ácido láctico es una práctica común en la actualidad al combinar diferentes cepas de bacterias lácticas. Algunas de las ventajas de utilizar fuentes de inóculos mixtos incluyen una mayor diversidad de metabolitos producidos, lo que puede resultar en un producto final con propiedades mejoradas, además mejora la eficiencia de la fermentación y la producción de ácido láctico. Así como es crucial controlar las condiciones de fermentación, temperatura, pH para asegurar un proceso exitoso.

## 4. CONCLUSIONES

El trabajo es una primera aproximación al empleo de inóculos anaerobios pretratados con vistas a solucionar el alto costo y especificidades de los cultivos puros para la producción de ácido láctico. En el presente trabajo se evaluó el proceso de producción de ácido láctico con un inóculo anaerobio pretratado utilizando como sustrato la glucosa alcanzando la máxima concentración de 4,335 g/L, a pH 6,5 y 15 g/L de sustrato a las 48 horas, para un rendimiento de 18.5 % y un consumo de glucosa de 89 %, además para el proceso de producción de ácido láctico se valoró el empleo el cultivo puro *Pediococcus pentosaceus* utilizando como sustrato glucosa obteniéndose la máxima concentración de 10,5 g/L, a pH 6,5 y 15 g/L de sustrato a las 48 horas, para un rendimiento de 36,5 % y un consumo de glucosa de 98 %. Con esta investigación se abre el camino a futuras investigaciones.

## REFERENCIAS

1. da Silva DB, Fenandes, BS, & da Silva, AJ.(2021). Effect of initial pH and substrate concentration on the lactic acid production from cassava wastewater fermentation by an enriched culture of acidogenic microorganisms. Water Enviroment Research, 93 (10), 1925-1933.
3. Ahmad A, Banat F, Taher H. Enhanced lactic acid production from food waste in dark fermentation with indigenous microbiota. Biomass Conversion and Biorefinery. 2020.
4. Li Y, Cui F. Microbial Lactic Acid Production from Renewable Resources. Sustainable Biotechnology. 2010.
5. Asunis F, Gioannis GD, Dessì P, Isipato M, Lens PNL, Muntoni A, et al. The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. Journal of Environmental Management. 2020;276:111240.
6. Grewal J, Sadaf A, Yadav N, Khare SK. Agroindustrial waste based biorefineries for sustainable production of lactic acid. Waste Biorefinery. 2020;5:125-53.
7. Abdel-Rahman MA, Tashiro Y, Sonomoto K. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. Biotechnology Advances. 2013;31:877-902.
8. Choi G, Kim J, Lee C. Effect of low pH start-up on continuous mixed-culture lactic acid fermentation of dairy effluent. Appl Microbiol Biotechnol. 2016.
9. Liang S, McDonald AG, Coats ER. Lactic acid production with undefined mixed culture fermentation of potato peel waste. Waste Management. 2014;34:2022-7.
10. Luongo V, Policastro G, Ghimire A, Pirozzi F, Fabbricino M. Repeated batch fermentation of cheese whey for semi-continuous lactic acid production using mixed cultures at uncontrolled pH. Sustainability. 2019.
11. Komesu A RdOJ, Da Silva Martins LH, Wolf Maciel MR, Maciel Filho R. Lactic acid production to purification: a review. Bioresources. 2017.
12. Alibardi L., Astrup, TF, Asunis, F., Clarke, WP, et al. Organic waste biorefineries: Looking towards implementation. Waste Management, 2020, 114, 274-286.
13. Godoi LAGd, Costa, R., Guerrero, R. d. B. S., Santos, C. E. D. d.,Mirandola, C. A. S., & Adorno, M. A. T. Métodos analíticos aplicados ao monitoramento de processos biológicos de tratamento de águas residuárias – Manual de laboratório. 2021.
14.Torres, Roxana. "Obtención de ácido láctico por fermentación oscura de suero de queso mediante cultivos mixtos". Tutor: Beatriz Guerra. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2021.
15. Romero Mora, M.A., & Rodríguez Reyes, V. Evaluación técnica y ambiental de la influencia de la temperatura en la producción de biohidrógeno en procesos de fermentación oscura de biomasa residual a gran escala. Tesis de Doctorado, Universidad de Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2021.
16. Morales, A. J., & Vivas, Y. A. Evaluación de la actividad antioxidante de una bebida refrescante a base de lactosuero adicionada con pulpa de curuba (Passiflora Mollissima Bailey), durante su almacenamiento [Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Alimentos, Universidad de la Salle]. Bogotá, Colombia, 2021.
17. Borshchevskaya, L. N., Gordeeva, T. L., Kalinina, A. N., & Sineokii, S. P. (2016). Spectrophotometric determination of lactic acid. Journal of 54 Analytical Chemistry, 71(8), 755–758. https://doi.org/10.1134/S1061934816080037.

18. Yousuf A, Bastidas-Oyanedel, J.-R., & Schmidt, J. E. Effect of total solid content and pretreatment on the production of lactic acid from mixed culture dark fermentation of food waste. Waste Management, 2018, 77, 516-521.
19. García-Hernández, Y., Pérez-Sánchez, T., Boucourt, R., et al. (2016). Isolation, characterization and evaluation of probiotic lactic acid bacteria for potential use in animal production. Research in veterinary science, 108, 125-132.
20. DE, C.E.G.E.P. PRODUÇÃO DE ÁCIDO LÁTICO POR DIFERENTES Lactobacillus: COMPARAÇÃO ENTRE GLICOSE E PERMEADO DE SORO COMO FONTES DE CARBONO. 2017.
21. BURKERT5. PRODUÇÃO DE ÁCIDO LÁTICO POR DIFERENTES Lactobacillus: COMPARAÇÃO ENTRE GLICOSE E PERMEADO DE SORO COMO FONTES DE CARBONO. 2017.
22. Núñez A, Michelena, G., Carrera, E., & Álvarez, X. Estudios sobre la recuperación y purificación de ácido láctico para la producción de plásticos biodegradables. ICIDCA. Sobre los derivados de la Caña de Azúcar, 2009, 43 (2), 20-29.
23. Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, 31 (3), pp. 426-428.
24. Lauffer OL. Produção biotecnológica de ácido lático a partir de diferentes fontes de carbono. 2019.

**sobre los autores**

**MsC. Beatriz Guerra Alvarez**. Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesor Asistente. **Ing. Jorge W Ferrera O´Donnell.** Grupo Estudiantil Ingeniería Ambiental del CIPRO, **Dra. Ania Cabrera Díaz.** Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesor Auxiliar, **Stefan Köhler[3]** Líder del Proyecto BiokreiS IASP Berlín Alemania**, Ileana Pereda Reyes** Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesor Titular, **Ing. Luis Guerra Díaz** Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesor Asistente.

**RECONOCIMIENTOS**

"Los autores desean agradecer al Instituto de Ciencia Animal (ICA) quien facilito la cepa del microorganismo con el cual se desarrolló el trabajo, así como al Proyecto BioKreiS, siendo este trabajo un resultado de una de las líneas de investigación del mismo, y también forma parte del doctorado de la autora"

# PROGRAMA GENERAL

# VI Congreso de Ingeniería Informática y Sistemas de Información

# (CIIISI´2024)

# Programa General
# CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INFORMÁTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN (CIIISI´24)

<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Día</td></tr>
<tr><td>Horario</td><td>25-11</td><td>26-11</td><td>27-11</td><td>28-11</td><td>29-11</td></tr>
<tr><td>9:00-16:00</td><td colspan="4">Acreditación</td><td></td></tr>
<tr><td>9:00-9:30</td><td></td><td colspan="4">Conferencias de apertura a las sesiones CIIISI 2024</td></tr>
<tr><td>9:30-11:00</td><td rowspan="2"></td><td>Ponencias CIIISI<br><br>Lugar: Sala Conferencia Hotel Palco</td><td>Ponencias CIIISI<br><br>Lugar: Sala Conferencia Hotel Palco</td><td>Taller industria 4.0<br><br>Lugar: Sala Conferencia Hotel Palco</td><td>III Taller Universidad – Empresa<br><br>Lugar: Sala Conferencia Hotel Palco</td></tr>
<tr><td>11:00-11:20</td><td colspan="2">Coffee - break</td><td>Coffee – break (10:00-10:30)</td><td>Coffee - break</td></tr>
<tr><td>11:30-13:30</td><td rowspan="3">Acto inaugural XXI CCIA Sala 1 11:00 horas</td><td>Ponencias CIIISI (cont.)</td><td>Ponencias CIIISI (cont.) (cont.)</td><td>Taller industria 4.0 (cont.)</td><td>Taller Resultados del posgrado e integración a práctica empresarial</td></tr>
<tr><td>13:30-15:00</td><td colspan="3">Almuerzos (Restaurante El Bucán)</td><td rowspan="3">Almuerzo de despedida XXI CCIA. Rest. El Bucán 13:00- 17:00 horas</td></tr>
<tr><td>14:00</td><td rowspan="2">Brindis bienvenida XXI CCIA Rest. El Bucán 13:00 horas</td><td>Encuentro líderes científicos. Sala X, 14:00 horas</td><td>Ceremonia Condecoraciones. Sala 5, 14:00 horas</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>15:30-17:30</td><td></td><td></td></tr>
</table>

**PROGRAMA TÉCNICO**

# CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INFORMÁTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN (CIIISI´22)

**Día:** 26 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 9:30-11:00

**Moderador:** Dr. Lizandra Bravo **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| 09:30-10:4 | CIIISI-01 | Módulo para la gestión de trazas en el sistema de detección de phishing, Yaneisy Morales Merencio, Desoft, Cuba. |
| | CIIISI-02 | Fundamentos de seguridad en la plataforma docker para el desarrollo de software, Mary, UCI, Nelsa Bonne Cuza, Cuba. |
| | CIIISI-03 | How to Schedule Real-time Tasks in Autonomous Wireless Computing Devices for Achieving Energy Neutrality?, Mary Nelsa Bonne Cuza, Francia. |
| | CIIISI-04 | Incidentes de ciberseguridad relacionados con malware, Jorge Alberto Hernández Morales, UCI, Cuba |
| | CIIISI-05 | Software privacy based on call graph diversification and obfuscation, Miguel Rodríguez Véliz, UTM, Ecuador. |
| | CIIISI-06 | Comparison between BHCVRP and OR-Tools, Ananda de la Caridad Morales Morales, Cujae, Cuba. Ananda de la Caridad Morales Morales, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-07 | Análisis y caracterización de datos de usuarios para la detección de bots, Carlos Raúl Robinson Thompson, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-08 | Modern drone control systems development directions, Viacheslav Pshikhopov, Rusia. |
| | CIIISI-09 | Software para el control de dispositivo wearable device basado en sensores inerciales, Mario Bernal Pérez, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-10 | Evaluation of deep learning models for ddos attack detection and classification, Kadir Leandro Pérez Hilario, ETECSA, Cuba. |
| 10:40-11:00 | Ronda de preguntas y debate | |
| 11:00-11:30 | *Coffee - Break* | |

**Día:** 26 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 11:30 – 13:30

**Moderador:** Dra. Lizandra Bravo **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| 11:30-13:10 | CIIISI-11 | Una solución de código abierto para la toma de decisiones basadas en datos para Cuba, Emilio González Soca, AVANGENIO, Cuba. |
| | CIIISI-12 | Self Hosted LLM based Assistant for Enterprise use cases, Vicente Samuel Garofalo Jerez, AVANGENIO, Cuba. |
| | CIIISI-13 | Design and Implementation of an Enterprise Search System Powered by LLMs, AVANGENIO, Cuba. |
| | CIIISI-14 | Building a beowulf clusters for ANSYS simulation, Ernesto Abella, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-15 | Rediseño del procedimiento de ciencia para la construcción de simuladores, Yanet Walters Romero, Empresa de Ciencia y Tecnología Simuladores, Cuba. |
| | CIIISI-16 | Aplicación para la asistencia inteligente a personas con discapacidades visuales, Maikel Salas Zaldívar, Cuba. |
| | CIIISI-17 | Sistema para la gestión y diagnóstico del patrimonio arquitectónico, Liamnisbel Hernández Peña, GEOCUBA, Cuba. |
| | CIIISI-18 | Proceso de integración continua para el sistema ASIXMEC, Yanays Fernández Miranda, UCI, Cuba. |
| | CIIISI-19 | Habanadigital - A smart city project adapted to Cuban, Joaquín Danilo Pina Amargo, Cujae, Cuba. |
| 13:10-13:30 | Ronda de preguntas y debate | |
| 13:30-15:00 | *Almuerzo* | |

**Día:** 27 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 9:30-11:00

**Moderador:** Dr. Eduardo Sánchez **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| | CIIISI-20 | Methodology for the integration of clinical data from the Center for Molecular Immunology, Arasay Montes de Santis, CIM, Cuba. |
| | CIIISI-21 | Plataform for the integration and analysis of clinical data at the Center of Molecular Immunology, Jorge Luis Palomino, CIM, Cuba. |

| | | |
|---|---|---|
| 09:00-10:40 | CIIISI-22 | Data mining in nimotuzumab's database for different cancer, Carmen Elena Viada Gonzalez, CIM, Cuba. |
| | CIIISI-23 | Aprendizaje Automático para la planificación Financiera en pasarelas de Pago, Lesdaniel Herrera Reyes, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-24 | Teaching Data Analysis: Enhancing Data Literacy, Mailyn Moreno-Espino, IPN, México. |
| | CIIISI-25 | Refactorización del software cubano para analizar resistencia antimicrobiana, Aramays Aimet Morales Durán, CNIC, Cuba. |
| | CIIISI-26 | A New Way to Group and Align Process Tracesin Real-World, J. K. Febrer-Hernndez, CENATAV, Cuba. |
| | CIIISI-27 | Estimating Electrocardiographic Age from ECG Signal's Regions of Interest using MLP Models. A Perspective from Digital Signal Processing, Cuba. |
| | CIIISI-28 | A Smart-Grid Device Model that Learns by Probabilistic Boolean Network, Pedro Juan Rivera Torres, España. |
| | CIIISI-29 | DAF: An extensible DINOS-based framework for Subgroup Discovery, Lizandra Bravo, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-30 | Modelos de aprendizaje automático para la predicción del color de cabello a partir del ADN, Magalí Nowik, Argentina. |
| 10:40-11:00 | Ronda de preguntas y debate | |
| 11:00-11:30 | *Coffee - Break* | |

**Día:** 27 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 11:30 – 13:30

**Moderador:** Dr. Alejandro Rosete **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| 11:30-13:10 | CIIISI-31 | Extracción automática de aspectos en reseñas en español aplicando ensamble de modelos de Transformers, Alfredo Simón-Cuevas, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-32 | Evaluación de modelos pre-entrenado en minado de opiniones para el soporte de software, Alfredo Simón-Cuevas, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-33 | Ajuste y evaluación de whisper en un contexto real de transcripción de discursos en español, Rubén Sánchez Rivero, INGENIUS, Cuba. |
| | CIIISI-34 | GCODP: test case generation under the prism of distributed applications, Alejandro Miguel Güemes Esperón, Cujae, Cuba. |
| | | Procedimiento para la gestión de riesgos durante la |

| | | |
|---|---|---|
| | CIIISI-35 | implantación del ERP ZOOM LC, Desoft, Cuba. |
| | CIIISI-36 | Análisis del éxito de los proyectos de innovación desde la mirada de las soluciones de productos de software, Diansy Rodríguez Hong, Cujae, Cuba. |
| | CIIISI-37 | Indicadores de optimización en buscadores: impacto en la relevancia y visibilidad de los sitios web, Lissette Valdés García, UCI, Cuba. |
| | CIIISI-38 | Transferencia de diseño de interfaces de usuario a código: revisión sistemática, Argentina. |
| | CIIISI-39 | Grey box modelling of PID controllers with algorithm and parameters partially known, Carlos Alberto García Vázquez, Romania. |
| | CIIISI-40 | Método para determinar el tiempo hasta la deserción escolar en la Universidad usando análisis de supervivencia |
| | CIIISI-41 | Average stride length estimation using inertial sensors and machine learning techniques, Fidel Ernesto Hernández Montero, Cujae, Cuba. |
| 13:10-13:30 | Ronda de preguntas y debate | |
| 13:30-15:00 | *Almuerzo* | |

**Día:** 28 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 9:30-11:00

**Moderador:** Dr. Carlos R. López **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| 09:00-10:00 | CIIISI-42 | Strategy for selecting an enterprise resource planning system in the industry 4.0 project of Aica Pharmaceutical Laboratories, Ana Lilian Infante Abreu, Cuba. |
| | CIIISI-43 | Sistema de estrategias de aseguramiento de la producción de los laboratorios farmacéuticos Aica+, Lilian Rosa Rojas Rodríguez, Cuba. |
| | CIIISI-44 | Integration of SCADA and MES systems in industry 4.0: security and technological solutions, Yanet Lima Manresa, EMSI FARMA-AICA, Cuba. |
| | CIIISI-45 | Arquitectura del sistema situación de medicamentos: análisis de la distribución de productos en la empresa laboratorios Aica, Rachel López Rodríguez, Cuba. |
| | CIIISI-46 | Perfeccionamiento del sistema de gestión de documentación para la industria 4.0, Ariel Armando Vargas Saucedo, AICA, Cuba. |
| | CIIISI-47 | Proposal for a Validation Strategy in TI Solutions Ecosystem for an Industry 4.0 Strategy Initiative, Katerine Escalera Fariñas, AICA – EMSI FARMA, Cuba. |

| | |
|---|---|
| 10:40-11:00 | Ronda de preguntas y debate |
| 11:00-11:30 | *Coffee - Break* |

**Día:** 28 de noviembre de 2024 **Sesión:** Mañana 10:30 – 13:30

**Moderador:** Dr. Carlos R. López **Sala:** Sala Conferencia (Palco)

| Horario | Código | Título del trabajo |
|---|---|---|
| 10:30-13:10 | 10:30 11:00 | Conferencia Magistral: Estado actual de la inteligencia artificial en Cuba. Perspectivas y oportunidades de desarrollo. Dra. Yailé Caballero Mota, Universidad de Camagüey, Cuba. |
| | CIIISI-48 | An Agile Industrial Artificial Intelligence Strategy. Application to the AICA serum and blood derivatives plant, Annalay Escalera Fariñas, AICA – EMSI FARMA. |
| | CIIISI-49 | Adopción de prácticas de gobierno ti en el contexto biofarmacéutico cubano: estudio de caso laboratorios farmacéuticos Aica, Raynier Machin Trujillo, Cuba. |
| | CIIISI-50 | Mecanismos de gobierno de tecnología de la información en instituciones de administración pública ecuatorianas, Pablo Ramón Flores Cedeño, UTM, Ecuador. |
| | CIIISI-51 | DevOps practices in Industry 4.0: a case Study in the context of a digital ecosystem in the cuban biopharmaceutical industry, Andrés Novoa Aedo, AICA – EMSIFARMA, Cuba. |
| | CIIISI-52 | Arquitectura de computación al borde para entornos farmacéuticos 4.0, Zuliet Medina Rodríguez, EMSI FARMA – Cujae. |
| | CIIISI-53 | An optimization approach to select Koopman observables applied to DMDc, Amanda Martí Coll, EMSI FARMA – Cujae, Cuba. |
| 13:10-13:30 | Ronda de preguntas y debate | |
| 13:30-15:00 | *Almuerzo* | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCESO DE INTEGRACIÓN CONTINUA PARA EL SISTEMA ASIXMEC

# CONTINUOUS INTEGRATION PROCESS FOR THE ASIXMEC SYSTEM

**Yanays Fernández Miranda[1], Héctor Jesús Unzueta Lazo[2]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2[1/2], Rpto. Torrens, La Habana, [2]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2[1/2], Rpto. Torrens, La Habana.
[1]e-mail: yfernandez@uci.cu

**RESUMEN**

La Integración Continua es una práctica que aporta mejora de productividad y calidad en un proyecto de software si se aplica adecuadamente. Este método permite que todo el equipo que produce código pueda recibir retroalimentación de manera más rápida, y a su vez resolver inmediatamente los problemas introducidos en el repositorio de código del proyecto. AsiXmec es un Sistema de Diseño Asistido por Computadora, que se encuentra siendo desarrollado en la Universidad de Ciencias Informáticas. Este proyecto es de gran envergadura y cuenta con diferentes desarrolladores, pero no tiene incorporada una Integración Continua idónea para este contexto, lo cual está afectando a la calidad del producto. Debido a esta problemática, el objetivo de este trabajo es desarrollar un proceso de Integración Continua para AsiXmec que contribuya al aseguramiento de la calidad del sistema. Se propuso utilizar el marco de pruebas unitarias y de interfaz de usuario Qt test, la herramienta de análisis estático de código CPPCheck, Git para el control de versiones y Jenkins para automatizar la integración de todo el desarrollo. Para la solución, se diseñaron fases de la implementación del proceso en el sistema, incluyendo desde la preparación del equipo y del entorno, hasta la planificación y ejecución de pruebas, la evaluación de los resultados y la retroalimentación del equipo. Para validar este proceso se implementó el método experimental validación comparativa, evaluando el impacto de la Integración Continua en la calidad del proceso de desarrollo del proyecto.

**PALABRAS CLAVES:** AsiXmec, calidad de software, Integración Continua.

**ABSTRACT**

Continuous Integration is a practice that enhances productivity and quality in a software project when applied correctly. This method allows the entire team that produces code to receive feedback more quickly, and in turn, resolve issues introduced in the project's code repository immediately. AsiXmec is a Computer-Aided Design System currently being developed at the University of Computer Sciences. This project is substantial and involves various developers, but it lacks an appropriate Continuous Integration framework for this context, which is affecting the product's quality. Due to this issue, the objective of this work is to develop a Continuous Integration process for AsiXmec that contributes to ensuring the quality of the system. It was proposed to use the Qt test framework for unit and user interface testing, the static code analysis tool CPPCheck, Git for version control, and Jenkins to automate the integration of the entire development. For the solution, phases were designed for implementing the process in the system, ranging from preparing the team and the environment to the planning and execution of tests, evaluating results, and providing feedback to the team. To validate this process, a comparative validation experimental method was implemented to assess the impact of Continuous Integration on the quality of the project's development process.

**KEY WORDS:** AsiXmec, Continuous Integration, software quality.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés) se usa en casi todas las industrias, en proyectos tan variados como el diseño de paisajes, la construcción de puentes, el diseño de edificios de

oficinas, la animación en películas y el diseño de piezas para la industria [1]. Según [2], con los programas de diseño CAD 2D o 3D, se pueden realizar diferentes tareas, como crear un modelo 3D de un diseño, aplicar materiales y efectos de iluminación, documentar el diseño de cotas y otras anotaciones. La presente investigación se enmarca en software CAD empleados para modelar piezas de la industria para ser impresas en 2D y 3D. En [3] se plantea que internacionalmente estos softwares se dividen por nivel de experiencia en principiante, nivel intermedio y profesional, siendo estos últimos extremadamente costosos con precios que oscilan entre los 3000 y 10000 euros por licencia anual.

CREO es uno de los softwares líder del mercado de diseño de productos, desarrollado por la empresa *Parametric Technology Corporation*. Además, está el software *SolidWorks*, desarrollado por la empresa francesa *Dassaul Systemes*, el cual es conocido por ser práctico y detallado en las piezas industriales que diseña [3]. Otra de las herramientas profesionales ideales para el diseño, simulación, visualización y documentación de productos es Autodesk Inventor, desarrollado en California, Estados Unidos. Las versiones de Autodesk Inventor tienen un costo de 2190 USD por suscripción anual, comercializadas solo para países con convenio [4]. Países de América Latina como México, Brasil y Argentina utilizan Autodesk. Debido al alto costo de estos productos, Cuba necesita su propia herramienta de diseño paramétrico para facilitar la confección de piezas para la industria.

En la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI), se desarrolla el sistema CAD nombrado AsiXmec como parte del proyecto de Investigación y Desarrollo “Plataforma para el modelado paramétrico en ingeniería basado en tecnologías de código abierto”. Este proyecto, aprobado por el Programa Nacional de Automática, Robótica e Inteligencia Artificial, incorpora un modelador geométrico y paramétrico, basado en el paradigma de diseño mediante características e historial de operaciones. AsiXmec tiene el propósito de acortar el ciclo de diseño, en un área caracterizada por una elevada competitividad. Para lograr esto, según [5], se captura tanto la geometría del diseño CAD como la intención del diseñador, utilizando conceptos conocidos como modelado paramétrico y diseño basado en restricciones geométricas.

El proyecto AsiXmec es un sistema multiplataforma en el que colabora un equipo de diferentes desarrolladores, lo que implica un ritmo de trabajo adaptable y receptivo a cambios. Esto requiere la capacidad de adaptarse rápidamente a las modificaciones del proyecto. Con la evolución y la complejidad del desarrollo del sistema, se vuelve más desafiante garantizar la calidad del producto final. En AsiXmec se han logrado avances significativos en el desarrollo de funcionalidades esenciales para el diseño y visualización de prototipos virtuales de piezas mecánicas. Sin embargo, existen limitaciones que obstaculizan su progreso. Entre ellas se encuentran:

- No hay un proceso que permita el seguimiento de los cambios en el código: no se rastrea de forma sistemática los cambios realizados en el código, lo que compromete la integridad del código de toda la aplicación, ya que es difícil mantener un registro de quién realizó cambios y cuándo.
- No están definidas las pruebas que permitan que se detecten los errores lo antes posible: debido a que, no se han establecido pruebas automatizadas que permitan detectar los errores lo más temprano posible. Esto aumenta el riesgo del proyecto, ya que los errores pueden pasar desapercibidos hasta fases avanzadas del desarrollo.
- Incertidumbre sobre qué funciona y qué no: no se tiene total conocimiento de qué partes del sistema están funcionando correctamente y cuáles presentan fallas. Esto genera incertidumbre y afecta la toma de decisiones en el proyecto.
- Afectación del mantenimiento del software, por la integración de partes del sistema desconociendo las fallas en sus unidades: existe el riesgo de que partes del sistema con fallas o errores se integren sin ser detectados. Esto puede afectar el mantenimiento del software a largo plazo, ya que dichas fallas pueden pasar desapercibidas y ocasionar problemas en etapas posteriores.

La Integración Continua (CI, por sus siglas en inglés) es una práctica de desarrollo de software en la cual los miembros de un equipo integran su trabajo frecuentemente. Este proceso tiene el propósito de mejorar la calidad de la aplicación y evitar posibles errores o anomalías generados en el desarrollo del sistema [6].

La CI incluye prácticas recomendadas como son las pruebas de software y el control de versiones lo que permite identificar errores en el sistema en etapas tempranas [7]. Ante las problemáticas anteriormente abordadas se deduce que en AsiXmec no se encuentra implementado el proceso CI de la forma correcta y esto afecta a la calidad del software.

Debido a la problemática existente en el proyecto AsiXmec, se elabora la presente investigación con el objetivo de desarrollar un proceso de Integración Continua para el sistema AsiXmec, que permita contribuir a la calidad del software mediante la detección de errores, el monitoreo de cambios en el código y la prevención de integración de unidades con fallas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó un análisis bibliográfico sobre el proceso de Integración Continua, con énfasis en las buenas prácticas de esta actividad. Se utilizaron métodos empíricos como la observación, lo cual facilitó la determinación de la problemática analizada mediante su percepción directa. Se aplicó la modelación, utilizando la herramienta CASE Visual Paradigm For UML en su versión 8.0, para representar el ciclo de Integración Continua en el proyecto y crear modelos de la solución. Se tuvo en cuenta que los desarrolladores están familiarizados con la metodología ágil XP, lo que facilita la implementación exitosa de la Integración Continua al proporcionar un marco de trabajo para el desarrollo del proyecto. Se determinó utilizar la herramienta Qt test versión 5.0.2 para las pruebas unitarias y de interfaz de usuario, debido a que el sistema AsiXmec está desarrollado en el entorno multiplataforma QtCreator, empleando lenguaje Qt y C++. Para el análisis estático de código se empleó CPPCHECK en su versión 2.6.1. El repositorio de código del proyecto se encuentra en Gitlab, por lo cual se empleó Git en su versión 2.35.1 para el control de versiones.

La selección de herramientas para pruebas de software, como el análisis estático de código y las pruebas unitarias, se realiza en función del lenguaje de programación y el entorno de desarrollo empleados en la implementación del sistema. No obstante, la elección del servidor de Integración Continua (CI) se basa en otras características específicas del proyecto. Por esta razón, se evaluaron diversas herramientas de automatización CI según las necesidades particulares del proyecto AsiXmec. Como resultado, se determinó que Jenkins en su versión 2.387.3 es la herramienta gratuita más adecuada para establecer el entorno CI necesario en AsiXmec. Para llevar a cabo esta evaluación y facilitar la selección formal del servidor CI, se utilizó la norma ISO 25010 (Figura 1).




Figura 1: Características de calidad evaluadas por la ISO/IEC 25010. Fuente: [8].

De las ocho características presentadas en la Figura 1, se consideraron en esta investigación la adecuación funcional, la usabilidad y la mantenibilidad. En función de los requerimientos del proyecto AsiXmec, se seleccionaron las siguientes subcaracterísticas [8]:

Completitud funcional: Grado en el cual el conjunto de funcionalidades cubre todas las tareas y los objetivos del usuario especificados. Para evaluar el servidor de automatización se divide en:

- Conexión de repositorios.
- Conexión con servidores remotos por ssh.
- Plugins de integración con otras herramientas
- Pipelines y Jobs.

Capacidad de aprendizaje: Capacidad del producto que permite al usuario aprender su aplicación. Este criterio se aborda para el servidor CI de la siguiente manera:

- Documentación.
- Comunidad
- Soporte

Reusabilidad: Capacidad de un activo que permite que sea utilizado en más de un sistema de software o en la creación de otros activos.

Los resultados de esta evaluación se muestran en las tablas 4 y 5, los cuales demuestran que Jenkins es un servidor CI que cuenta con las características necesarias para desarrollar el proceso de Integración Continua en AsiXmec.

Tabla 1: Ponderaciones Jenkins CI. Fuente: Elaboración propia

| Características | Sub características | Valoración |
|---|---|---|
| Completitud funcional | Conexión con repositorios | 9 |
| | Conexión con servidores por ssh | 9 |
| | Plugins de integración con otras herramientas | 10 |
| | Pipelines y Jobs | 10 |
| Capacidad de aprendizaje | Documentación | 10 |
| | Comunidad | 10 |
| | Soporte | 9 |
| Reusabilidad | Capacidad de reusabilidad | 10 |

Tabla: 2 Ponderaciones porcentuales Jenkins CI. Fuente: Elaboración propia

| Características | Sub características | Valor porcentual |
|---|---|---|
| Completitud funcional | Conexión con repositorios | 4.5% |
| | Conexión con servidores por ssh | 13,50% |
| | Plugins de integración con otras herramientas | 10% |
| | Pipelines y Jobs | 15% |
| Capacidad de aprendizaje | Documentación | 15% |
| | Comunidad | 15% |
| | Soporte | 13,50% |
| Reusabilidad | Capacidad de reusabilidad | 10% |
| **Total** | | **96.5%** |

En el script de Jenkins se incluyeron los pasos necesarios para ejecutar las pruebas, haciendo uso de herramientas como CMake y QMake, de QtCreator para gestionar las dependencias y el sistema de

construcción, respectivamente. Además, se empleó el método experimental de validación comparativa, lo que permitió comparar el proceso de desarrollo de software en el proyecto AsiXmec antes y después del Proceso de Integración Continua propuesto.

## 3. DESARROLLO

Para llevar a cabo el proceso de Integración Continua (CI) en el proyecto AsiXmec, se elaboró un plan de implementación que sirve como un marco sólido para garantizar el correcto funcionamiento del proceso y promover su mejora continua. Con este propósito, se propuso dividir el proceso de CI en las siguientes fases:

Fase 1: Preparación

- Preparación del equipo de trabajo: Se aseguró de que todos los miembros comprendieran sus responsabilidades en el proceso de Integración Continua para lograr una efectiva integración del equipo.
- Preparación del entorno: Se gestionó la descripción del entorno seleccionado y la instalación del ambiente necesario.

Fase 2: Planificación, Configuración y Ejecución de Pruebas

En esta fase, se elaboró el proceso de planificación de pruebas, que incluyó diagramas de flujo para las pruebas a realizar, así como su implementación y ejecución en el sistema. Las pruebas consideradas primordiales para AsiXmec son:

- Pruebas de análisis estático de código.
- Pruebas unitarias.
- Pruebas de interfaz de usuario (UI).

Al planificar las pruebas, se estableció como objetivo evaluar la calidad y el funcionamiento del software AsiXmec en un entorno controlado. Se definieron como criterios de entrada la documentación del sistema (que incluye requisitos funcionales, historias de usuario y diseños arquitectónicos) y el código fuente disponible en el repositorio de GitLab. Con respecto a los criterios de salida, se generó un informe detallado de los resultados de las pruebas automatizadas, que incluye errores y vulnerabilidades detectadas, un listado de las pruebas realizadas con sus respectivos resultados, además de un análisis sobre la eficacia y eficiencia del proceso de pruebas automatizadas y su integración en el desarrollo continuo.

Fase 3 Evaluación de resultados

En esta fase, se evaluaron las métricas de calidad cumplidas utilizando la herramienta Jenkins. Se analizaron los resultados obtenidos en las pruebas, evaluando el cumplimiento de los criterios de calidad establecidos.

Fase 4 Retroalimentación del equipo.

En esta fase, se llevó a cabo una retroalimentación del equipo en la que se identificaron lecciones aprendidas durante el proceso de implementación de Integración Continua. Se analizaron los puntos fuertes y áreas de mejora con el objetivo de optimizar los procesos futuros y mantener un ciclo de mejora continua.

En la fase 1 se llevó a cabo un estudio sobre los roles establecidos en un proceso de Integración Continua en las investigaciones de [9] [10]. Tras analizar los resultados, se propuso asignar en AsiXmec los siguientes roles y responsabilidades al equipo de desarrollo del proyecto, conforme a las necesidades específicas del mismo, con el fin de implementar el proceso de Integración Continua:

- Desarrollador: es responsable de escribir y mantener el código del software, asegurándose de que el código sea funcional, limpio y esté bien documentado.
- Integrador: es el encargado de coordinar la integración del código nuevo en el repositorio principal, asegurándose que el código se mezcle correctamente y verificando su integridad.
- Automatizador: se encarga del diseño, desarrollo e implementación de soluciones automatizadas, asegurándose de automatizar tareas y procesos repetitivos.

- Tester: avala la calidad del software a través de la ejecución de pruebas, asegurándose de que se cubran todos los casos de prueba necesarios y de reportar cualquier error o problema encontrado.
- Administrador de infraestructura: es responsable de mantener y gestionar los servidores, entornos y herramientas utilizadas en el proceso, asegurándose de que los sistemas estén configurados y disponibles para el equipo en todo momento.
- Gestor de configuración: es el encargado de gestionar el control de versiones del código fuente y garantizar que la configuración del sistema esté debidamente registrada y controlada.
- Agile Coach: se encarga de ayudar en la gestión de cambio y en la adopción de nuevas formas de trabajo ágiles en el proyecto basadas en la metodología XP. Monitorea y mide el rendimiento del equipo utilizando métricas ágiles y proporciona retroalimentación para impulsar la mejora continua.
- Administrador de la Calidad: Se encarga de garantizar que todo el proceso y resultados obtenidos cumplan con los estándares de calidad establecidos para el proyecto. Tiene la responsabilidad de establecer métricas y KPIs (Indicadores Clave de Rendimiento) para medir la calidad del software y del proceso; identificar áreas de mejora y proponer acciones correctivas o preventivas; y realizar auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

Con el objetivo de participar de manera activa en el proceso, se tomó como medida la capacitación y formación adecuada del equipo en control de versiones con Git y en la automatización de pruebas. Para ello, se propuso la asistencia a cursos de posgrado especializados en este tema, así como a capacitaciones internas. Para fomentar la colaboración e integración del equipo, se propuso organizar reuniones de seguimiento cada dos semanas, donde cada miembro tiene la oportunidad de expresar sus ideas, sugerencias y preocupaciones. Estas reuniones son un espacio seguro para el intercambio de opiniones y el fomento de la comunicación abierta entre todos los miembros del equipo.

El proceso se desarrolló en una máquina Ubuntu 20.04 con QtCreator 5.0.2 como IDE de desarrollo, el entorno CI integrable con Git, Qt test y CppCheck. Inicialmente se desplegó a un servidor local para realizar las pruebas pertinentes en el entorno de desarrollo. El entorno CI de AsiXmec siguió el flujo de trabajo representado en la Figura 2.




Figura 2: CI AsiXmec. Fuente: Elaboración propia.

Al incorporar el proceso Integración Continua en el desarrollo del sistema, durante la fase 2 y fase 3, Jenkins como servidor CI generó un historial de ejecuciones que permitió visualizar los cambios y el estado del proyecto, logrando una gestión efectiva y eficiente del proceso de desarrollo (Figura 3). Además, se obtuvo la tendencia del tiempo de cada una de las ejecuciones realizadas y se evaluó los resultados obtenidos en estas (Figura 4). De esta manera, se mostró en distintos colores el resultado de cada ejecución. En verde si se ejecuta con éxito, en gris cuando no se ejecuta y en rojo cuando se producen errores.

| S | Ejecución | Tiempo desde ↑ | Estado |
|---|---|---|---|
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #24 | 7 Min 54 Seg | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #23 | 19 Min | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #22 | 19 Min | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #21 | 19 Min | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #20 | 19 Min | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #19 | 19 Min | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #18 | 15 días | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #17 | 15 días | estable |
| ✓ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #16 | 15 días | volvió a normal |
| ✗ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #15 | 15 días | fallido desde la ejecución #10 |
| ✗ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #14 | 15 días | fallido desde la ejecución #10 |
| ✗ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #13 | 15 días | fallido desde la ejecución #10 |
| ✗ | AsiXmec » Test unity AsiXmec » Test #12 | 15 días | fallido desde la ejecución #10 |

Figura 3: Historial de ejecuciones en Jenkins. Fuente: Elaboración propia

**Tendencia del tiempo de ejecución**

| Ejecución ↑ | Duración |
|---|---|
| #24 | 3 Min 2 Seg |
| #23 | 32 Seg |
| #22 | 34 Seg |
| #21 | 37 Seg |
| #20 | 1 Min |
| #19 | 1 Min 6 Seg |
| #18 | 35 Seg |
| #17 | 29 Seg |
| #16 | 39 Seg |
| #15 | 53 Ms |
| #14 | 59 Ms |
| #13 | 5 Seg |
| #12 | 5 Min 5 Seg |
| #11 | 4 Min 4 Seg |
| #10 | 6 Min 4 Seg |
| #9 | 41 Seg |
| #8 | 41 Seg |
| #7 | 31 Seg |
| #6 | 38 Seg |
| #5 | 32 Seg |
| #4 | 46 Seg |
| #3 | 32 Seg |
| #2 | 1 Min 20 Seg |

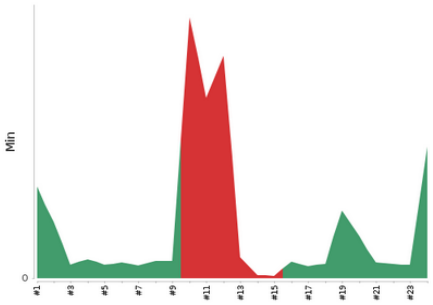



Figura 4: Tendencia de las ejecuciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.

Con el seguimiento regular de los resultados obtenidos en Jenkins, y en las herramientas de pruebas y control de versiones utilizadas, se evalúan métricas en el proyecto como el tiempo de compilación, tiempo de detección de errores, número de errores encontrados, frecuencia con la que se envían cambios al

repositorio, entre otras. Estas métricas son indicadores clave de rendimiento del proyecto (KPIs) y se evalúan en correspondencia con los objetivos establecidos en la fase inicial de preparación. En la Figura 5 se muestra el análisis realizado de 3 de los indicadores en el proyecto AsiXmec. Este análisis reveló que existen oportunidades para realizar ajustes adicionales e implementar nuevas mejoras en el proyecto, con el objetivo de reducir el tiempo de compilación y disminuir el número de errores. La implementación de las mejoras fue contemplada en la fase de evaluación de resultados del proceso de mejora continua (CI) de AsiXmec. A través de esta evaluación fue posible diseñar planes de acción para mejorar el proceso.

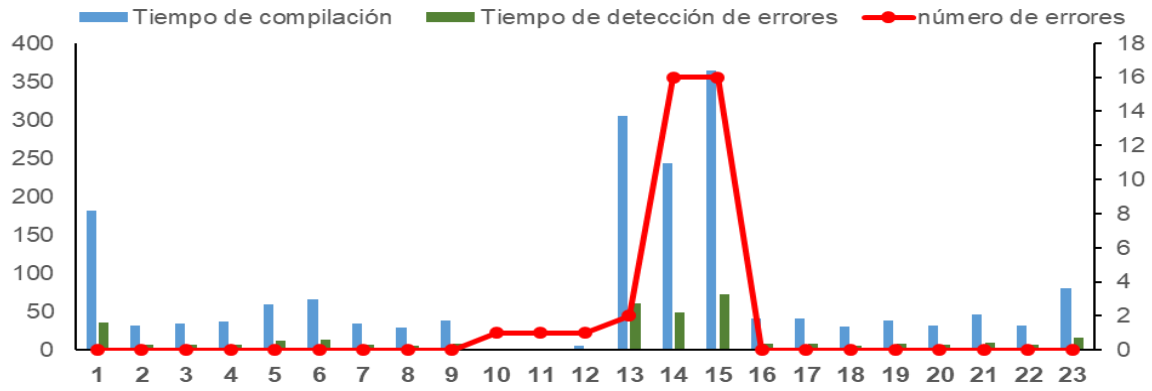



Figura 5: Análisis de KPIs en el proyecto AsiXmec. Fuente: Elaboración propia

En la fase 4 del proceso CI, se lleva a cabo la utilización de la matriz de análisis DAFO para representar el proceso de retroalimentación del equipo. En la matriz DAFO del proyecto se identifican puntos fuertes (Fortalezas) y áreas de mejora (Debilidades), se destacan los aspectos positivos del proceso (Oportunidades), y se analizan las amenazas o desafíos que se han presentado durante el proceso de Integración Continua en AsiXmec (Figura 6).




Figura 6: Análisis DAFO del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Después de analizar de manera clara y concisa los aspectos relevantes en la matriz DAFO para la retroalimentación del equipo, se identifican las siguientes lecciones aprendidas:

- La importancia de definir pruebas adecuadas desde el inicio del proceso para detectar y corregir errores de forma temprana.
- La necesidad de documentar de forma clara y detallada los procesos y procedimientos para facilitar la comprensión y la trazabilidad de las acciones realizadas.
- La importancia de buscar capacitación y formación continua en herramientas y tecnologías utilizadas en la Integración Continua.
- La necesidad de mantener un compromiso constante con la mejora continua y la optimización de los procesos para garantizar la calidad del software y la eficiencia en el desarrollo.

### 3.1. Validación Comparativa

En la tabla 3 se muestra la comparativa realizada del proyecto antes y después del proceso CI, lo cual representa el impacto de la Integración Continua en AsiXmec y valida el proceso aplicado como solución a la problemática planteada. En la figura 7 se muestra una imagen del sistema.

Tabla 3: Comparativa del proyecto AsiXmec antes y después del proceso CI. Fuente: Elaboración propia.

| Parámetro de CI | Antes de CI | Después de CI |
|---|---|---|
| Tiempo de detección de errores | Manual, Varios días | Automático, Minutos |
| Cobertura de pruebas | Baja | Alta |
| Tiempo de compilación | Horas | Minutos |
| Feedback del equipo | Lento, poco claro | Rápido, detallado |
| Colaboración del equipo | Baja colaboración, trabajos aislados | Mayor colaboración, trabajo en equipo, mayor comunicación |
| Identificación de responsables de errores | Difícil de identificar responsables | Más fácil de identificar quién produjo el error. |
| Cumplimiento de estándares de código | Cumplimiento irregular de estándares | Mejora en el cumplimiento de estándares de código |
| Automatización de revisiones de código | Revisiones manuales | Automatización de revisiones de código implementada |
| Retroalimentación sobre calidad del código | Retroalimentación limitada y ocasional | Retroalimentación continua y enfocada en la calidad del código. |

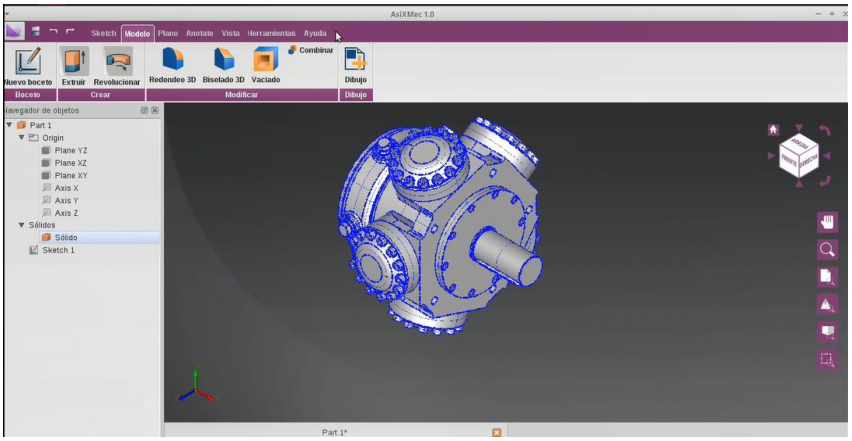


Figura 7: Imagen de AsiXmec. Fuente: Propia.

A partir del trabajo realizado, se obtuvieron las siguientes recomendaciones a tener en cuenta para trabajos futuros con el fin de extender la investigación y contribuir en la mejora del proceso de desarrollo de software:

- Elaborar un plan de crecimiento para escalar el proceso de Integración Continua y futuros procesos como el Despliegue Continuo, a medida que el proyecto crezca, considerando la posibilidad de incorporar nuevas herramientas y pruebas que ayuden a gestionar un aumento en la complejidad del software.
- Crear un repositorio para las lecciones aprendidas que se actualice después de cada fase de evaluación, esto permite capitalizar conocimiento adquirido, evitar errores pasados y maximizar el aprendizaje organizacional.
- Elaborar guías y tutoriales sobre el uso de herramientas y metodologías adoptadas, así como mejores prácticas para los diferentes roles.

## 4. CONCLUSIONES

Se realizó un proceso de Integración Continua para el sistema AsiXmec que abarca herramientas de software libre, permitiendo en el proyecto implementar una opción a bajo costo, con una retroalimentación suficiente para afirmar que se cumple con un proceso de Integración Continua. Las fases definidas en el plan de implementación fueron cruciales, comenzando con la preparación del equipo y el entorno, hasta la planificación y ejecución de pruebas y la retroalimentación del equipo. Cada etapa se diseñó para asegurar una integración adecuada del código, facilitando la colaboración efectiva entre los miembros del proyecto. La especificación de pruebas de software, que incluye análisis estático de código, pruebas unitarias y pruebas de interfaz de usuario, resultó fundamental, no solo en la mejora de la calidad del proyecto, sino también en la detección temprana y corrección de errores, lo que contribuye a minimizar riesgos y costos en las fases posteriores del desarrollo.

La evaluación de métricas de calidad y el uso de herramientas como Jenkins proporcionaron una visibilidad clara del estado del trabajo, lo que favoreció la toma de decisiones informadas. Este monitoreo constante identificó oportunidades de mejora y permitió implementar acciones correctivas, manteniendo así un compromiso con la optimización de los procesos. La retroalimentación del equipo, apoyada en el análisis DAFO, resaltó lecciones aprendidas valiosas para el crecimiento y madurez del grupo de desarrollo. Se enfatizó la necesidad de capacitación continua, documentación clara y la adecuada definición de pruebas como pilares fundamentales para el éxito del proceso de Integración Continua. La CI implementada para AsiXmec no solo tuvo como objetivo mejorar la calidad del software, sino que también fomentar una cultura de colaboración y mejora continua dentro del equipo, creando un entorno propicio para el desarrollo ágil y sostenible del proyecto.

## 5. REFERENCIAS

1. Erazo-Arteaga, Victor A. *El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina*. Chile : La Serena, Scielo Analytics, Información tecnológica, abril de 2022, Vol. 33, No.2, ISSN 0718-0764. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200297. Disponible en la web: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000200297

2. Cruz-Arcos, Guillermo Mauricio, y otros. *Importancia de los sistemas CAD-CAM para el desarrollo de proyecto de conformado de materiales.* Polo del Conocimiento, Edición núm. 63, noviembre de 2021, Vol. 6, No. 11, pp. 370-382, ISSN: 2550 - 682X.

3. C., Lucía. *Los mejores softwares cad para todos los niveles.* 3Dnatives, febrero de 2024. Disponible en la web: https://www.3dnatives.com/es/mejores-softwares-cad-programa-180320192 .

4. Shih, Randy. *Learning autodesk inventor 2021. Modelin, Assembly and Analysis*. s.l.: SDC Publications, 2021, ISBN: 978-1630573447.

5. Artigas, Midiala Baños y Rodríguez, Marvyn Amado. *Versión 2.0 del módulo Snap de la herramienta AsiXMec.* Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 2016, Vol. 9, No. 3 pp. 149-163. ISSN: 2306-2495.

6. Rodriguez, M. R.; Gamboa, Y. M.; López, S. T. La integración continua pilar fundamental en el proceso de desarrollo de software, 2019, vol. 12, pp. 102-116.

7. Istifarulah, Mochamad Hanif Rifa'i y Tiaharyadini, Rizka. *DevOps, Continuous Integration and Continuous Deployment Methods for Software Deployment Automation.* JISA (Jurnal Informatika dan Sains), 2023, Vol. 6, No. 2, pp. 116-123. ISSN: 2614-8404.

8. ISO25010. *ISO/IEC 25010 Modelo de Calidad*, 2011. Recuperado el 21 de Junio de 2023, de http://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010.

9. Kim, Gene, y otros. *The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations.* s.l. : IT Revolution Press, 2016. pp. 150 -162. ISBN: 978-1942788003.

10. Forsgren, Nicole, Humble, Jez y Kim, Gene. *Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps: Building and Scaling High Performing Technology.* s.l. : IT Revolution Press, 2018. pp. 200 - 220. ISBN: 978-1942788331.

## 6. SOBRE AUTORES

**Yanays Fernández Miranda.** Ingeniera en Ciencias Informáticas. Profesora Instructora del departamento de Matemática de la Universidad de Ciencias Informáticas. Investigación relacionada: Solucionador de restricciones geométricas mediante métodos basados en grafos para AsiXmec, 2022.

**Héctor Jesús Unzueta Lazo.** Ingeniero en Ciencias Informáticas. Profesor Instructor del departamento de Inteligencia Computacional de la Universidad de Ciencias Informáticas. Investigación relacionada: Componente de anotaciones para el módulo de planos de AsiXmec, 2022.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PLANIFICACIÓN FINANCIERA EN PASARELA DE PAGOS NACIONAL

**Lesdaniel Herrera Reyes** [1]

[1] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), dirección: Calle 114 No 11901 entre Ciclo Vía y Rotonda. Marianao, La Habana, Cuba.
e-mail: lesdaniel.herrera@gmail.com

**RESUMEN**

El desarrollo del comercio electrónico en Cuba se ha visto impulsado por las pasarelas de pagos nacionales. Transfermóvil es una de las pasarelas de mayor difusión en el país, lo cual representa un reto ya que se hace necesario mantener y mejorar la vitalidad de los servicios ante un volumen cada vez mayor de transacciones. Por ello se imponen un análisis predictivo que permita la planificación financiera, el ahorro recursos y el establecimiento de objetivos a alcanzar en miras de continuar la mejora constante de los servicios que se brindan. Apoyado en el aprendizaje automático este análisis permite la transformación fundamental en la forma en que se analizan los datos financieros y se formulan los planes patrimoniales a una escala y velocidad sin precedentes. El presente artículo expone las áreas de interés donde pueden aplicarse la planificación financiera en la pasarela Transfermóvil con el uso de herramientas de aprendizaje automático, todo ello enfocado en la mejora de los servicios que hoy brinda la herramienta.

**PALABRAS CLAVES:** pasarelas de pagos, Transfermóvil, aprendizaje automático, planificación financiera, análisis predictivo.

**MACHINE LEARNING FOR FINANCIAL PLANNING IN NATIONAL PAYMENT GATEWAY**

**ABSTRACT**

The development of e-commerce in Cuba has been driven by national payment gateways. Transfermóvil is one of the most widespread gateways in the country, which represents a challenge since it is necessary to maintain and improve the vitality of the services in the face of an increasing volume of transactions. For this reason, a predictive analysis is required that allows financial planning, resource savings and the establishment of objectives to be achieved in order to continue the constant improvement of the services provided. Supported by machine learning, this analysis enables fundamental transformation in the way financial data is analyzed and estate plans are formulated at unprecedented scale and speed. This article exposes the areas of interest where financial planning can be applied in the Transfermóvil gateway with the use of machine learning tools, all focused on improving the services that the tool provides today.

**KEY WORDS:** payment gateways, Transfermóvil, machine learning, financial planning, predictive analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El comercio electrónico es un canal exitoso para suministros de productos y servicios a nivel mundial, que ha ido estimulando la necesidad de iniciarse en las modalidades de comercialización de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) como parte de un proceso innovador. En la actualidad Cuba ha avanzado en el mundo de las TIC en gran medida apoyado por el desarrollo de pasarelas de pagos que han acompañado el avance del proceso de bancarización de la sociedad [1].

Las pasarelas de pagos son sistemas de pago electrónico que permiten la realización de transacciones y transferencias entre tiendas electrónicas y entidades bancarias de manera segura. Se encargan de cifrar la

información confidencial que se requiere para ejecutar transacciones bancarias por las redes [2]. Este canal electrónico de pago en tiempo real, aprueba y verifica, la transferencia de dinero entre compradores y vendedores del comercio electrónico a través de diversos métodos de pago, al conectar una cuenta bancaria del cliente a la cuenta del vendedor [3].

Cuba ha desarrollado soluciones propias que han impulsado el desarrollo del comercio electrónico. Una de estas herramientas es Transfermóvil, la cual responde al proceso de informatización que se lleva a cabo en nuestra sociedad y en particular tiene como propósito fomentar el desarrollo de los pagos digitales en el país. Es una plataforma desarrollada completamente por ETECSA [4], cuya arquitectura es modular y escalable y que utiliza como vía de acceso por parte de los usuarios códigos USSD [5], lo que permite un acceso seguro a dicha plataforma y aumenta la trazabilidad [6].

Transfermóvil cuenta con más de 5 millones de usuarios y permite la interacción con los principales bancos del país y que expande su universo de clientes no bancarizados con un monedero virtual como se muestra en la figura [7].

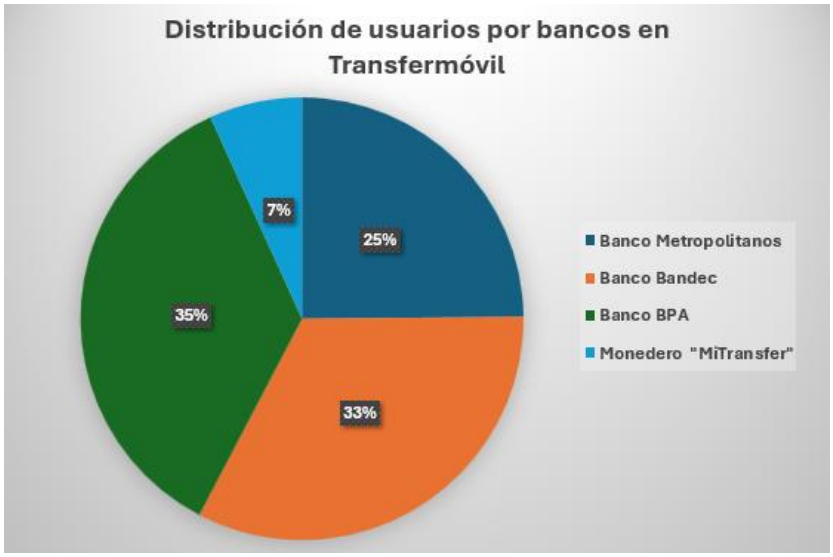



Figura 1. Distribución de usuarios en Transfermóvil [8].

Esta gran interacción de transacciones genera un gran volumen de datos los cuales pueden ser aprovechados con el fin de mejorar los servicios prestados. Este análisis permitirían la planificación financiera, el ahorro y el establecimiento de objetivos a alcanzar en el futuro [9].

La planeación financiera es una hoja de ruta hacia lo que se desea alcanzar. Consiste en decidir cómo se emplearán los recursos existentes de una empresa, utilizando estrategias para garantizar el éxito de la misma, asegurar su viabilidad económica y concretar los objetivos planteados previamente. Implica el proceso de analizar datos financieros, pronosticar tendencias futuras y tomar decisiones informadas para garantizar la estabilidad financiera y el crecimiento de una organización [10].

Tradicionalmente, la planificación financiera ha sido un proceso metódico y que demanda mucho tiempo, que implica un análisis manual para comprender las tendencias del mercado, los datos financieros personales y formular planes a largo plazo. Los asesores y planificadores financieros dedicaban horas a analizar datos, basándose en conocimientos históricos y conjeturas fundamentadas para hacer pronósticos y recomendaciones. Sin embargo, el aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés) han marcado el comienzo de una nueva era. Representan una transformación fundamental en la forma en que se analizan los datos financieros y se formulan los planes patrimoniales a una escala y velocidad sin precedentes [11, 12].

El ML es un subcampo de las ciencias de la computación y una rama de la inteligencia artificial, cuyo principal objetivo es desarrollar técnicas que permitan que las computadoras aprendan. Para llevar a cabo este propósito se utilizan algoritmos avanzados que permitan descubrir patrones o tendencias en el conjunto de datos, para luego pulirlos y generar conocimiento que permitan tomar decisiones, con poca intervención humana. Esto quiere decir, que las máquinas tengan la capacidad de aprender y tomar decisiones para las que fueron entrenadas, sin requerir mayor interacción humana o programación previa [13, 14].

El ML permite que los sistemas de pago aprovechen el análisis predictivo para la planificación financiera y la gestión de riesgos. Al analizar datos de transacciones, indicadores económicos y tendencias del mercado, los modelos de aprendizaje automático pueden pronosticar el flujo de efectivo, identificar posibles problemas de liquidez y optimizar la asignación de recursos. Este enfoque proactivo ayuda a las empresas a tomar decisiones informadas, mitigar los riesgos financieros y aprovechar las oportunidades emergentes [15].

Además, los algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar patrones indicativos de comportamiento de pago futuro, lo que permite a las empresas segmentar a los clientes en función de su solvencia y propensión al impago. Esto permite campañas de marketing dirigidas y ofertas de crédito personalizadas, optimizando la generación de ingresos y minimizando el riesgo crediticio [16].

## 2. Fundamento del aprendizaje automático.

Los algoritmos de aprendizaje automático se dividen principalmente en cuatro categorías: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje semisupervisado y aprendizaje de refuerzo [17], como se muestra en la Figura 2.

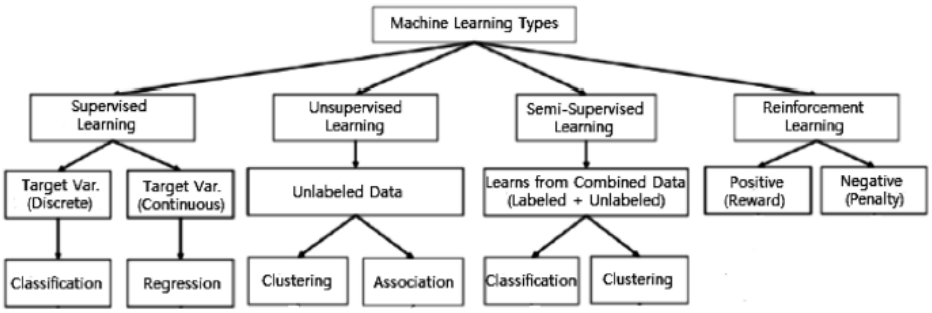



Figura 2. Tipos de técnicas de aprendizaje automático [18].

A continuación, analizamos brevemente cada tipo de técnica de aprendizaje con el alcance de su aplicabilidad para resolver problemas del mundo real.

- **Aprendizaje supervisado**: Es la tarea del aprendizaje automático de aprender una función que asigna una entrada a una salida en función de pares de entrada-salida de muestra [19]. Utiliza datos de entrenamiento etiquetados y una colección de ejemplos de entrenamiento para inferir una función. El aprendizaje supervisado se lleva a cabo cuando se identifican ciertos objetivos que se deben lograr a partir de un cierto conjunto de entradas [20], es decir, un enfoque impulsado por tareas. Las tareas supervisadas más comunes son la "clasificación", que separa los datos, y la "regresión", que ajusta los datos.

- **Aprendizaje no supervisado**: Analiza conjuntos de datos no etiquetados sin necesidad de intervención humana, es decir, es un proceso impulsado por los datos [19]. Esto se utiliza ampliamente para extraer características generativas, identificar tendencias y estructuras significativas, agrupaciones en resultados y propósitos exploratorios. Las tareas de aprendizaje no supervisado más comunes son la agrupación, la estimación de densidad, el aprendizaje de características, la reducción de dimensionalidad, la búsqueda de reglas de asociación, la detección de anomalías, etc.

- **Aprendizaje semisupervisado**: Puede definirse como una hibridación de los métodos supervisados y no supervisados mencionados anteriormente, ya que opera tanto con datos etiquetados como sin etiquetar [19, 20]. Por lo tanto, se encuentra entre el aprendizaje "sin supervisión" y el aprendizaje "con supervisión". En el mundo real, los datos etiquetados pueden ser poco frecuentes en varios contextos, y los datos sin etiquetar son numerosos, en los que el aprendizaje semisupervisado es útil.

- **Aprendizaje de Refuerzo:** Es un tipo de algoritmo de aprendizaje automático que permite a los agentes de software y a las máquinas evaluar automáticamente el comportamiento óptimo en un contexto o entorno particular para mejorar su eficiencia [21], es decir, un enfoque impulsado por el entorno. Este tipo de aprendizaje se basa en la recompensa o la penalización, y su objetivo final es utilizar los conocimientos obtenidos de los activistas ambientales para tomar medidas que aumenten la recompensa o minimicen el riesgo [17].

El uso del aprendizaje supervisado y no supervisado ha demostrado ser los método más frecuentes para los problemas que generalmente se presentan en el ámbito financiero [22]. Una de las tareas que se evalúan comúnmente en esta área es el análisis predictivo. Sobre este y su aplicación en una pasarela nacional comentaremos en el siguiente capitulo.

## 3. Análisis predictivo para planificación financiera en Transfermóvil.

Lograr una planificación financiera en Transfermóvil se basa principalmente en lograr un análisis predictivo en los escenarios que intervienen en los procesos de pago de algunos de los principales servicios que brinda la pasarela.

La tendencia creciente que presenta los pagos de determinados servicios en la pasarela Transfermóvil como se muestra en la Tabla 1 demuestran la importancia de tomar acciones para mantener el interés por los mismos y dotándolos de iniciativas que mejoren su calidad y disponibilidad

Tabla 1. Estadísticas de operaciones en Transfermóvil [8].

| Servicios | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|
| Pago Factura de Electricidad | 3.3 M | 5.5 M | 9.52 M | 12.74 M |
| Pagos de la ONAT | 120 K | 400 K | 1.29 M | 3.56 M |
| Pagos en línea (Comercio Electrónico) | 1.4 M | 4 M | 5.13 M | 6.5 M |
| Pagos de servicios de telecomunicaciones | 15 M | 50 M | 150 M | 173 M |
| Transferencias | 9 M | 15 M | 68.5 M | 95 M |

Algunos escenarios donde destacada este análisis predictivo en la pasarela en Transfermóvil son los siguientes:

1) Disponibilidad de los servicios de facturación mensual: Los servicios de pagos de factura de agua, gas, telefonía o electricidad en ciertos periodos del mes pueden verse afectados al no tener registrados las tarifas mensuales lo que provoca insatisfacciones al consultar o realizar pagos de los mismos.

2) Fluctuación de pagos en periodos de tiempo: Existen periodos de tiempos en el día donde aumenta la demanda de algunos servicios, así como periodos en el propio mes donde esta puede elevarse o decaer en función de los pagos asociado a salarios o pensiones.

3) Tendencias en servicios: El desplazamiento de los pagos hacia un tipo de servicio conlleva un análisis para evaluar potencialidades o vulnerabilidades en los mismos que justifiquen el aumento o disminución en su uso.

Para el desarrollo de los escenarios descritos se propone la aplicación de librerías que permitan aplicar algunos algoritmos de aprendizaje supervisado para los problemas de clasificación y regresión que puedan surgir en cada uno de los escenarios.

## 4. Herramientas para desarrollo de ML.

Existen marcos que nos ayudan a organizar los proyectos de aprendizaje automático. Unos de ellos es Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRIP-DM, por sus siglas en inglés) el cual propuso un modelo de proceso integral para llevar a cabo proyectos de minería de datos. Este ha sido adaptado para reflejar las características específicas del aprendizaje automático y garantizar una ejecución exitosa de los proyectos de aprendizaje automático [23, 24].

El número de algoritmos de ML, así como sus diferentes implementaciones de software, es bastante grande. Muchas herramientas de software para minería de datos que utilizan técnicas de ML han estado en desarrollo durante los últimos 25 años [25]. Su objetivo común es facilitar el complicado proceso de análisis de datos y proponer entornos integrados sobre los lenguajes de programación estándar.

Estas herramientas están diseñadas para varios propósitos: como plataformas de análisis, sistemas predictivos, sistemas de recomendación, procesadores (para imágenes, sonido o lenguaje). Algunos de ellos están orientados al procesamiento rápido y la transmisión de datos a gran escala, mientras que otros están especializados en la implementación de algoritmos de ML, incluidas las redes neuronales y el aprendizaje automático [26] como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Herramientas y aplicaciones de aprendizaje automático [27]

| Nombre de herramienta | Plataforma de soporte | Lenguaje | Aplicación |
|---|---|---|---|
| **Scikit Learn [28, 29]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS | C<br>C++<br>Python | Clusterización<br>Clasificación<br>Regresión<br>Preprocesamiento<br>Selección de modelos |
| **TensorFlow [30]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS | Python<br>CUDA<br>C++ | Librería para flujo de datos de programación |
| **PyTorch [31, 32]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS | Python<br>CUDA<br>C++ | Aprendizaje por refuerzo y producción a escala de modelos. |
| **KNIME [33]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS | Java | Minería de texto<br>Minería de imágenes<br>Uso de complementos |
| **Weka [34-36]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS | Java | Agrupamiento<br>Clasificación<br>Regresión<br>Asociación<br>Preparación de datos<br>Visualización |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Keras.io [37]** | Multiplataforma | Python | API para redes neuronales artificiales |
| **Shogun [38, 39]** | Windows<br>Linux<br>Mac OS<br>Unix | C++ | Reducción de dimensionalidad<br>Clasificación<br>Agrupamiento<br>Regresión<br>Máquina de vectores de soporte<br>Aprendizaje en línea |
| **ML.NET [40]** | Windows | C# | Simplificado con AutoML<br>Ampliación con TensorFlow y ONNX |
| **Colab [41]** | Servicio en la nube | - | Bibliotecas de soporte de Keras, OpenCV, PyTorch y TensorFlow |
| **Apache Mahout [42]** | Multiplataforma | Java<br>Scala | Álgebra lineal distribuida<br>Preprocesador<br>Agrupamiento<br>Regresión |

Es importante enfatizar que no existe una única herramienta adecuada para cada problema y, a menudo, se necesita una combinación de ellas para tener éxito.

## 5. Propuesta de sistema de ML.

Tomando en cuenta el soporte y las diferentes características que ofrece Scikit-Learn [28] proponemos el uso de esta herramienta para desarrollar los escenarios propuestos. La evaluación tiene en cuenta los modelos de clasificación y predicción que pueden llevarse a cabo en esta plataforma, lo cual permite dar respuesta a los escenarios basados en la planificación financiera y gestión de riesgo propuestos para la pasarela de pagos Transfermóvil.

Para entrenar este modelo de aprendizaje automático se debe ejecutar una secuencia de tareas que incluyen etapas de recopilación de datos, procesamiento, extracción de características, creación y ajuste y evaluación de modelos. En la Figura 3 se muestra el flujo para entrenar los modelos de aprendizaje automático.

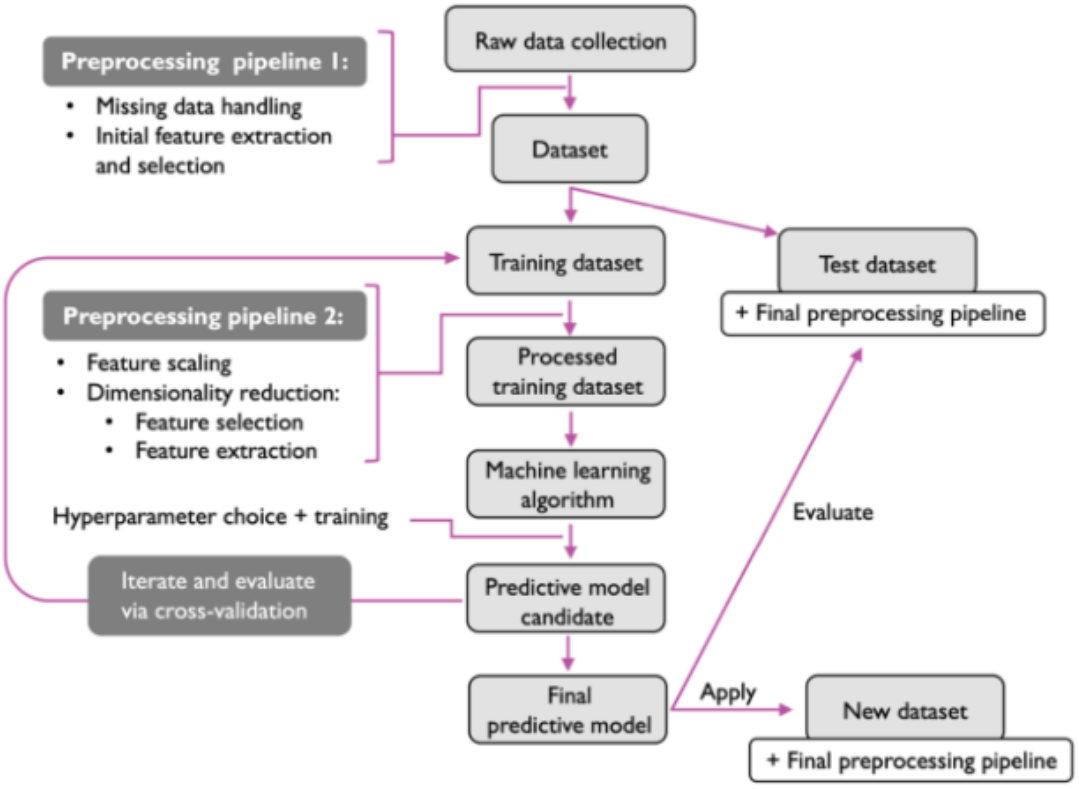



Figura 3. Flujo de modelo de aprendizajes automático con Scikit-Learn [43].

Para el desarrollo de los escenarios descritos el modelo se entrena, se comprueba su validez y se almacena en el servidor, para luego ser importado y usado en la predicción sobre nuevos datos en continuo. Esta lógica permite predecir en tiempo real, lo cual puede resultar de mucha utilidad para la toma de decisiones de manera oportuna con el fin de valorar estrategias para la mejora de los servicios en la aplicación.

## 6. Conclusiones.

El trabajo de investigación expone las áreas de interés en la pasarela de pagos Transfermóvil para la planificación financiera en áreas claves de los principales servicios. Mediante el análisis predictivo de los datos almacenados es posible pronosticar el flujo de efectivo, identificar posibles problemas de liquidez y optimizar la asignación de recursos en aras de mejorar la vitalidad de los servicios ante un volumen cada vez mayor de transacciones.

También se muestra aquellas herramientas de codigo abierto que pueden facilitar el desarrollo de un sistema de aprendizaje automático que permite dar solución a los escenarios descritos en la plataforma. Además, se propone un flujo de la herramienta para los servicios que actualmente brinda la pasarela.

El aprovechamiento del aprendizaje automático para abordar los desafíos de la pasarela de pagos no solo mejorará su eficiencia operativa, sino que también brindarán una experiencia superior para sus clientes.

## RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecer al grupo de desarrollo de la aplicación Transfermóvil en especial al MSc. Julio Garcia Trapaga y a Ing. Fran Cruz por apoyar y colaborar al desarrollo de este artículo.

**REFERENCIAS**

[1] O. M. Alvarez and O. M. Hernández, "El comercio electrónico, una herramienta de comunicación para el desarrollo de la empresa gydema en Cienfuegos," *J Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo,* vol. 8, no. 2, pp. 120-127, 2023.

[2] D. S. Fonseca, W. R. Pérez, and M. L. M. Faurés, "Pasarela de pagos para la seguridad de transacciones bancarias en línea," *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico,* vol. 2, no. 6, p. 4, 2013.

[3] S. Bojjagani, V. Sastry, C.-M. Chen, S. Kumari, and M. K. Khan, "Systematic survey of mobile payments, protocols, and security infrastructure," *J Journal of Ambient Intelligence Humanized Computing,* vol. 14, no. 1, pp. 609-654, 2023.

[4] ETECSA. (2016, 06-06-2022). *Transfermóvil*. Available: https://www.etecsa.cu/es/transfermovil

[5] P. Dayang and A. Hamza, "Using USSD-based Mobile Payment in Context of Low Internet Connection," *J International Journal of Wireless Communications Mobile Computing,* vol. 9, no. 1, pp. 1-6, 2021.

[6] J. A. G. Trápaga *et al.*, "Transfermóvil: Infraestructura para el pago de servicios a través del móvil utilizando la tarjeta magnética del banco.," 2018.

[7] J. A. G. Trápaga, "Proyecto Transfermóvil: Evolución, Desarrollo e Impacto en el Comercio Electrónico en Cuba," in *Simposio Telecomunicaciones Transfermovil Informatica 2022*, Palacio de las convenciones, 2022: XVIII Convención y Feria Internacional.

[8] J. A. G. Trápaga, "Monedero móvil: Mi Transfer una alternativa para el comercio electrónico en Cuba," presented at the XIX Convencion y Feria Internacional Informática Palacio de la la Convenciones, 2024. Available: https://www.informaticahabana.cu/noticia/conferencia-monedero-movil-mi-transfer-una-alternativa-para-el-comercio-electronico-en-cuba/

[9] K. A. Khan and M. A. Akhtar, "Electronic payment system use: a mediator and a predictor of financial satisfaction," *J Investment Management Financial Innovations,* 2020.

[10] E. D. Omopariola, A. O. Windapo, D. J. Edwards, and N. Chileshe, "Attributes and impact of advance payment system on cash flow, project and organisational performance," *Journal of Financial Management of Property Construction,* vol. 27, no. 3, pp. 306-322, 2022.

[11] R. J. Mann, *Payment systems and other financial transactions: cases, materials, and problems*. Aspen Publishing, 2023.

[12] R. Listfield and F. Montes-Negret, *Modernizing payment systems in emerging economies*. World Bank Publications, 1994.

[13] Z.-H. Zhou, *Machine learning*. Springer Nature, 2021.

[14] A. L. J. T. T. R. Samuel, "Machine learning," vol. 62, no. 1, pp. 42-45, 1959.

[15] J. M. Mulvey, "Machine learning and financial planning," *J IEEE Potentials,* vol. 36, no. 6, pp. 8-13, 2017.

[16] H. Wasserbacher and M. Spindler, "Machine learning for financial forecasting planning and analysis: recent developments and pitfalls," *J Digital Finance,* vol. 4, no. 1, pp. 63-88, 2022.

[17] M. Mohammed, M. B. Khan, and E. B. M. Bashier, *Machine learning: algorithms and applications*. Crc Press, 2016.

[18] I. H. Sarker, "Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions," *J SN computer science,* vol. 2, no. 3, p. 160, 2021.

[19] J. Han and M. Kamber, "Data Mining: Concepts and Techniques Slides for Textbook," *J Intelligent Database Systems Research Lab School of Computing Science* vol. 15, no. 7, October 2011.

[20] I. H. Sarker, A. Kayes, S. Badsha, H. Alqahtani, P. Watters, and A. Ng, "Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective," *J Journal of Big data,* vol. 7, pp. 1-29, 2020.

[21] L. P. Kaelbling, M. L. Littman, and A. W. Moore, "Reinforcement learning: A survey," *J Journal of artificial intelligence research,* vol. 4, pp. 237-285, 1996.

[22] B. Kelly and D. Xiu, "Financial machine learning," *J Foundations Trends in Finance,* vol. 13, no. 3-4, pp. 205-363, 2023.

[23] F. Martínez-Plumed *et al.*, "CRISP-DM twenty years later: From data mining processes to data science trajectories," *J IEEE transactions on knowledge data engineering,* vol. 33, no. 8, pp. 3048-3061, 2019.
[24] P. Chapman *et al.*, "CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide," *J SPSS inc,* vol. 9, no. 13, pp. 1-73, 2000.
[25] A. Jovic, K. Brkic, and N. Bogunovic, "An overview of free software tools for general data mining," in *2014 37th International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO)*, 2014, pp. 1112-1117: IEEE.
[26] G. Nguyen *et al.*, "Machine learning and deep learning frameworks and libraries for large-scale data mining: a survey," *J Artificial Intelligence Review,* vol. 52, no. 1, pp. 77-124, 2019.
[27] A. A. Khan, A. A. Laghari, and S. A. Awan, "Machine learning in computer vision: a review," *J EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems,* vol. 8, no. 32, pp. e4-e4, 2021.
[28] F. Nelli, "Machine Learning with scikit-learn," in *Python data analytics: with pandas, numPy, and matplotlib*: Springer, 2023, pp. 259-287.
[29] D. Cournapeau. (2010, 06-06-2024). *Scikit-learn*. Available: https://scikit-learn.org/
[30] N. Shukla and K. Fricklas, "Machine learning with TensorFlow," 2018.
[31] N. Ketkar, J. Moolayil, N. Ketkar, and J. J. D. l. w. p. l. b. p. o. d. l. m. w. P. Moolayil, "Introduction to pytorch," pp. 27-91, 2021.
[32] S. Imambi, K. B. Prakash, and G. Kanagachidambaresan, "PyTorch," *J Programming with TensorFlow: solution for edge computing applications,* pp. 87-104, 2021.
[33] F. V. Ordenes and R. J. J. o. B. R. Silipo, "Machine learning for marketing on the KNIME Hub: The development of a live repository for marketing applications," vol. 137, pp. 393-410, 2021.
[34] K. P. S. Attwal and A. S. Dhiman, "Exploring data mining tool-Weka and using Weka to build and evaluate predictive models," *J Adv. Appl. Math. Sci,* vol. 19, no. 6, pp. 451-469, 2020.
[35] L. Kotthoff, C. Thornton, H. H. Hoos, F. Hutter, and K. Leyton-Brown, "Auto-WEKA: Automatic model selection and hyperparameter optimization in WEKA," in *Automated machine learning*: Springer, Cham, 2019, pp. 81-95.
[36] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, "The WEKA data mining software: an update," *J ACM SIGKDD explorations newsletter,* vol. 11, no. 1, pp. 10-18, 2009.
[37] M. Si, T. J. Tarnoczi, B. M. Wiens, and K. J. I. A. Du, "Development of predictive emissions monitoring system using open source machine learning library–keras: A case study on a cogeneration unit," vol. 7, pp. 113463-113475, 2019.
[38] S. Sonnenburg *et al.*, "The SHOGUN machine learning toolbox," *J The Journal of Machine Learning Research,* vol. 11, pp. 1799-1802, 2010.
[39] S. Sonnenburg and G. Rätsch. (1999, 06-06-2024). *Shogun*. Available: http://www.shogun-toolbox.org/
[40] S. Mukherjee, *ML .NET Revealed*. Springer, 2021.
[41] X. Pan *et al.*, "Training machine learning potentials for reactive systems: A Colab tutorial on basic models," vol. 45, no. 10, pp. 638-647, 2024.
[42] C. Tiwary, *Learning apache mahout*. Packt Publishing Birmingham, 2015.
[43] S. Raschka, Y. H. Liu, and V. Mirjalili, *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python*. Packt Publishing Ltd, 2022.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# FUNDAMENTOS DE SEGURIDAD EN LA PLATAFORMA DOCKER PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE

**Mary Nelsa Bonne Cuza [1], Victor Alejandro Roque Dominguez[2]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas.Carretera a San Antonio Km 2 ½ Torrens. Boyeros. La Habana. Cuba.[2]Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio Km 2 ½ Torrens. Boyeros. La Habana. Cuba
[1]e-mail:mary@uci.cu

**RESUMEN**

La ejecución de aplicaciones en contenedores ha supuesto una auténtica revolución y avance en el mundo de la informática y el desarrollo de software por su mayor rendimiento y demanda mínima de recursos de sistema. En su esencia se encuentra Docker que es una plataforma de alto rendimiento la cual permite que las aplicaciones se desarrollen rápidamente, se compartan y se implementen en múltiples sistemas operativos sin problemas de compatibilidad. Sin embargo, la rápida adopción de la tecnología de contenedores también ha planteado nuevos desafíos de seguridad y ha introducido nuevas vulnerabilidades que la convierte en un objetivo atractivo para los ciberataques. La presente investigación está centrada en la descripción de los aspectos de seguridad esenciales para el trabajo con la plataforma Docker. Para ello se realiza una investigación sobre el funcionamiento de los contenedores Docker, se estudian las vulnerabilidades existentes en esta tecnología y seanaliza el documento CIS Docker 1.13.0 Benchmark con el objetivo de recopilar elementos de seguridad para el trabajo con contenedores Docker. De esta manera se contribuirá a disminuir la exposición a amenazas y ataques de seguridad asociados a esta plataforma y por consiguiente en una mayor seguridad de la información de las empresas que pertenecen a la industria del software y hacen uso de esta tecnología.

**PALABRAS CLAVES:** desarrollo, seguridad, software, plataforma Docker, vulnerabilidades.

## SECURITY FUNDAMENTALS IN THE DOCKER PLATAFORM FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

**ABSTRACT**

Running applications in containers has been a real revolution and breakthrough in the world of computing and software development because of its higher performance and minimal demand for system resources. At its core is Docker, which is a high-performance platform that allows applications to be developed quickly, shared and deployed across multiple operating systems without compatibility issues. However, the rapid adoption of container technology has also raised new security challenges and introduced new vulnerabilities making it an attractive target for cyber-attacks. The present research is focused on describing the security aspects essential for working with the Docker platform. For this purpose, a research on the functioning of Docker containers is carried out, the existing vulnerabilities in this technology are studied and the CIS Docker 1.13.0 Benchmark document is analyzed with the aim of compiling security elements for working with Docker containers. This will contribute to reduce the exposure to threats and security attacks associated with this platform and therefore in greater information security of companies that belong to the software industry and make use of this technology.

**KEY WORDS:** development, security, software, Docker platform, vulnerabilities.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de los contenedores de aplicaciones en lugar de máquinas virtuales ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años. Este fenómeno se debe, entre otras causas, a los menores tiempos de arranque, menor uso de memoria, y mayor densidad de instancias por máquina de los contenedores con respecto a las máquinas virtuales [1]. Otro factor decisivo en su difusión es que, a diferencia de otras tecnologías de virtualización a nivel de sistema operativo (SO), las plataformas para el despliegue y ejecución de contenedores de aplicaciones facilitan un modelo de uso muy orientado a las metodologías de desarrollo ágiles y a las propuestas del "movimiento" DevOps[1] ,que han asumido, al mismo tiempo, un papel cada vez más relevante en el sector del desarrollo de software [2].

En su esencia se encuentra la plataforma para la ejecución de contenedores de aplicaciones Docker que tiene como funcionalidad automatizar el despliegue de aplicaciones dentro de contenedores de software, proporcionando una capa adicional de abstracción y automatización de virtualización de aplicaciones en múltiples SO [3]. Con Docker, el código de la aplicación, incluidas todas las dependencias, se empaqueta en una imagen, el software Docker ejecuta la aplicación empaquetada en un contenedor Docker y dichas imágenes pueden moverse entre sistemas y ejecutarse en cualquier sistema que ejecute Docker [4].

Según el Sitio Web Formadores IT[2] Online (empresa de referencia en servicios de formación IT, experta en formación especializada). Docker ha consolidado su liderazgo en el sector del desarrollo de software gracias a su flexibilidad para definir los requerimientos de sistemas operativos, servicios y tecnologías además de su versatilidad para estandarizar los entornos de desarrollo de software. Lo que permite a desarrolladores y DevOps empaquetar, distribuir y ejecutar aplicaciones con contenedores [3]. Varias empresas internacionales que pertenecen a la industria del software y grandes compañías como Spotify, Amazon y Google usan y confían en la tecnología de contenedores como plataforma para crear, implementar y ejecutar sus aplicaciones mediante este sistema.

Una estadística que muestra el portal de Apiumhub (Compañía de software de Barcelona, España) respecto a la utilización de la plataforma para el despliegue y ejecución de contenedores en empresas de desarrollo de software prueba que la portabilidad, flexibilidad y simplicidad que brinda el uso de esta plataforma es una razón clave por la que Docker ha sido capaz de generar un impulso tan fuerte en el sector. Dos tercios de las empresas que prueban Docker, lo adoptan. La mayoría de las compañías que adoptaron Docker ya lo hicieron dentro de los 30 días posteriores al uso inicial de la producción, y casi todos los restantes se convierten dentro de los 60 días. La adopción de Docker real aumentó un 30% en un año. Adopta 5 veces su contenedor. Docker adopta aproximadamente 5 veces la cantidad de promedio de contenedores en funcionamiento que tienen en producción entre su primer y décimo mes de uso [5].

A pesar de que Docker establece que las aplicaciones ejecutadas en contenedores estén segregadas y aisladas entre sí. Así, cada contenedor recibe su propio conjunto de recursos (procesamiento, pilas de la red, etc), evitando la degradación del rendimiento o el tiempo de inactividad completo para otras aplicaciones garantizando mayor seguridad en los contenedores que es una preocupación creciente para los desarrolladores y los equipos de operaciones de TI, ya que pueden existir riesgos potenciales asociados a la seguridad de la plataforma [2], esta tecnología no está exenta de vulnerabilidades. Desde el año 2020 hasta la actualidad se han detectado varios métodos utilizados con la intención de atacar a contenedores Docker, Kubernetes, Rancher o cualquiera de los servicios relacionados con ellos. Ejemplo de ello:

**Despliegue de una imagen con servicios irregulares**: En varias ocasiones se ha subido al repositorio oficial de imágenes de Docker (https://hub.docker.com), imágenes alteradas. En mayo del 2020 dos imágenes de Docker con más de 150.000 descargas fueron utilizadas para llevar a cabo ataques de

[1] Conjunto de prácticas que agrupan el desarrollo de software y las operaciones de TI.

[2] Tecnología de la Información.

denegación de servicio distribuido (DDoS) en más de una docena de sitios web rusos, bielorrusos y lituanos, operados por organizaciones gubernamentales y militares [6].

**Ataque a servicios ofrecidos usando contenedores**: para realizar un uso distinto a la inicial. Se han detectado ataques implementando software de minería de criptodivisas (cualquier forma de moneda que existe de forma digital o virtual, y que utiliza criptografía para proteger las transacciones.) para consumir cpus de estos contenedores y obtener minados. (cryptojacking) [7].

Y es que, según como va en aumento el uso de la tecnología de virtualización de aplicaciones de software basada en contenedores, las técnicas de ataque son cada vez más avanzadas, con productos encriptados para que no sea fácil identificar el contenido malicioso, con demoras de tiempo en el inicio del ataque, con suplantación de servicios para que no sea fácilmente detectables, usando sistemas de activado remoto y distintas técnicas vigentes [8] [9]. En el mundo de la nube, existen beneficios como escalamiento, balanceo, distribución masiva de contenido que al ser atacados dan un poder enorme a los atacantes y beneficios millonarios, a costa de problemas de imagen o costos de infraestructura para la empresa vulnerada. Es por ello que la gestión de la seguridad en los contenedores Docker constituye un reto para las pequeñas, medianas y grandes empresas de desarrollo de software que hacen uso de esta tecnología.

Aunque los contenedores no son un concepto nuevo, Docker ha realizado una implementación que lo simplifica de manera que resulta muy fácil de implementar. Sin embargo, esta simplicidad y la falta de información en la mayoría de los tutoriales respecto al trabajo mediante esta tecnología hace que se corra el riesgo de que se instale sin tener en cuenta los aspectos de seguridad que le conciernen. Por ellos, es de vital importancia una mayor labor divulgativa y que existan documentos que influyan las buenas prácticas a tener en cuenta en dicha materia. El presente trabajo tiene como objetivo la elaboración de un documento en el cual se fundamenten las buenas prácticas de seguridad para el trabajo con contenedores Docker. Para ello la investigación se divide en dos secciones: los materiales y métodos aplicados para desarrollar la misma y una síntesis de los resultados obtenidos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El uso de los contenedores aporta múltiples ventajas con respecto a los sistemas tradicionales y las máquinas virtuales. Los contenedores se ejecutan de forma nativa en Linux y comparten el kernel de la máquina host con otros contenedores. Ejecutan un discreto proceso que no consume más memoria que cualquier otro ejecutable, lo que lo hace más ligero que cualquier otra técnica de virtualización a nivel de SO [10]. Los contenedores se proyectan ejecutando imágenes. Una imagen es un paquete ejecutable que incluye todo lo necesario para ejecutar una aplicación (librerías, código, variables de entorno, ficheros de configuración). Por ello los contenedores se pueden definir como una instancia en ejecución de una imagen [11]. Existe un registro público en Docker Hub que contiene múltiples imágenes, oficiales y no oficiales, que se pueden descargar para su posterior utilización. Además, para comercializar los contendores Docker también proporciona una tienda, Docker Store que dispone de un sistema de búsqueda más sofisticado que permite buscar también en Docker Hub.

Cualquier distribución Linux puede ser buena para el despliegue de aplicaciones en contenedores. Desde su liberación en marzo de 2013 Docker empezó utilizando los LXC (Linux Container) como base y sigue haciendo uso por defecto de los contenedores Linux. El sistema operativo Windows no es muy recomendable para los contenedores, ya que su tecnología no es tan versátil para la virtualización y según los estudios realizados por los autores no se han considerado los sistemas operativos Mac ya que, aunque es un buen sistema para virtualizar, hay que pagar las licencias, así que no es en la práctica una solución muy utilizada [12]. Si se desea instalar todo tipo de aplicaciones, es ideal contar con una distribución más generalista, en cuyo caso puede ser ideal, Debian o Ubuntu. Los autores del presente trabajo recomiendan que para escoger entre una u otra es importante plantearse qué uso se le va a dar al servidor y el grado de complejidad de las aplicaciones instaladas, el stack de tecnologías, etc.

Existen 2 tipos de ediciones de Docker. La Community Edition (CE), esta edición es apropiada para desarrolladores y equipos pequeños, es gratuita e incluye el motor, funciones de red y seguridad. Y la Enterprise Edition (EE), está diseñada para el desarrollo en las empresas y equipos IT que necesiten gestionar aplicaciones críticas en producción. Aporta mayores funcionalidades como plugins, gestión de imágenes y contenedores, escaneo de seguridad de imágenes, entre otros [13]. Los autores del presente trabajo recomiendan el uso de estas en dependencia de la necesidad de la empresa.

Se realizó una revisión de las investigaciones sobre la tecnología de contenedores dirigida a la plataforma Docker. Para ello la busqueda se centró en la base de datos "Google Scholar", utilizando la frase, contenedores docker, kernel de GNU/Linux, seguridad en docker. Fueron identificadas 5 investigaciones de interés. En el estudio del documento “CIS Docker 1.13.0 Benchmark” fueron identificadas además un conjunto de pautas a seguir para desarrollar, implementar, evaluar o asegurar soluciones que incorporen tecnología Docker.

Los métodos científicos con mayor presencia en la investigación fueron **Histórico - Lógico**: se utilizó para determinar los antecedentes relacionados con la plataforma Docker, así como posibles riesgos de seguridad que pueden existir mediante su uso. **Análisis de documentos** en la consulta de la literatura especializada, con el objetivo de extraer la información necesaria para definir los escenarios donde se ha realizado un despliegue de esta plataforma haciendo uso de medidas de seguridad no solo en la tecnología sino también en la máquina anfitriona.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenedores Docker aprovechan las habilidades del kernel de Linux para crear entornos aislados que comparten el kernel con el host anfitrión. Una de las características del kernel que se aprovecha son las capabilities (permiten gestionar que permisos tiene un proceso para acceder a las partes del kernel). Se dividen las características de root de forma que se pueda otorgar a cada proceso las capacidades que realmente requiere. Existen capacidades para casi todas las áreas donde se necesitan privilegios de root. De esta manera se consigue evitar la sobreutilización de usuarios root y utilizar una política de permisos mínimos que aporta una mayor seguridad al sistema. Si un intruso consigue escalar a root dentro del contenedor le será más complicado realizar acciones dañinas o conseguir escalar al host. En la mayoría de los casos Docker no necesita privilegios root y se podrían reducir las capacidades denegando entre otras: El acceso al socket raw (para prevenir ataques de suplantación). El acceso a las operaciones del sistema de ficheros como crear nuevos nodos de dispositivos, modificar el propietario de los ficheros o alterar los atributos. La carga de módulos. Por defecto, Docker utiliza una lista blanca. Deniega todas las capacidades excepto las específicas y soporta la eliminación e inserciones de nuevas capacidades a la lista [14].

### Seguridad en el Kernel de Linux

Además de las capabilities, existen más funcionalidades de seguridad disponibles para el kernel de Linux que son compatibles con las mismas. Algunos sistemas conocidos para añadir una capa extra de seguridad son: **AppArmor:** Sistema de Control Obligatorio de Acceso (*Mandatory Access Control*, MAC por sus siglas en inglés) basado en la interfaz LSM (Módulos de Seguridad de Linux). **SELinux**: Arquitectura de Seguridad para los Sistemas Linux que otorga a los administradores mayor control sobre quién puede acceder al sistema. Los módulos del kernel son fragmentos de código que se pueden cargar y descargar en el kernel según se requiera. Extienden la funcionalidad del kernel sin necesidad de reiniciar el sistema [15]. AppArmor y SELinx son mejoras de seguridad para el kernel de Linux. En la presente investigación se analizarán estas herramientas, ambas se pueden encontrar en las versiones actuales de las distribuciones de Linux Debian y Ubuntu que fueron las recomendadas por los autores para el trabajo con los contenedores Docker.

SELinux: Define los controles de acceso para las aplicaciones, los procesos y los archivos dentro de un sistema. Utiliza políticas de seguridad, que consisten en un conjunto de reglas para indicar a SELinux a qué elementos se puede acceder. Cuando una aplicación o un proceso (conocidos como sujetos) solicitan acceso a algún objeto, como un archivo, SELinux consulta la Caché de Vector de Acceso (AVC), donde se almacenan los permisos de los objetos y los sujetos. Si SELinux no puede determinar el acceso en función de los permisos almacenados en la caché, envía la solicitud al servidor de seguridad, que analiza el contexto de seguridad de la aplicación o del proceso y del archivo. El contexto de seguridad se aplica desde la base de datos de políticas de SELinux. Luego, se otorga o se niega el permiso [16].

AppArmor: es lo que se denomina un mecanismo de control de acceso, o MAC que actúa estableciendo una serie de restricciones a los recursos a los que pueden acceder las diferentes aplicaciones que controla. Al acotar las acciones que puede realizar un programa, AppArmor ayuda a prevenir la explotación de sus vulnerabilidades, protegiendo de forma proactiva el conjunto del sistema (o como mínimo, acotando el impacto en caso de que este se vea comprometido). AppArmor cuenta con perfiles específicos por cada una de las aplicaciones que controla, que serían lo equivalente a las políticas de SELinux. Sin embargo, los perfiles de AppArmor resultan significativamente más fáciles de entender y de configurar, resultando en un sistema más amigable. SELinux, por su parte, es más complejo de administrar y también de auditar, pero cuenta con la ventaja de que permite controlar más operaciones. No dispone de atributos como SELinux, y la forma que tiene de reconocer un programa es a través de su ruta. De este modo, cada perfil de AppArmor apunta a una ruta concreta, y detalla que acciones tiene permitidos el ejecutable que se encuentra detrás de esta ruta [17].

Los perfiles de AppArmor se cargan en el propio kernel durante el arranque, y pueden ejecutarse en dos modos principales: *enforce* y *complain*. Los perfiles cargados en modo *enforce* realizan una aplicación forzada de la política que definen y reportan cualquier intento de violación a través de *syslog* o *auditd*. Por otro lado, los perfiles cargados en modo *complain* no hacen una aplicación forzada de la política, pero sí que reportan cualquier intento de violación.

Según el análisis realizado por los autores puedes surgir la siguiente interrogante. ¿Qué módulo es el mejor para un nuevo usuario de Linux?
La mayoría de las principales distribuciones de Linux vienen con cualquiera de los módulos de seguridad antes analizado instalados de forma predeterminada. Por lo tanto, es poco probable que un nuevo usuario de Linux no tenga un módulo de seguridad listo para usar. La comparación de las características y la facilidad de uso entre SELinux y AppArmor muestra que para los usuarios avanzados o los administradores de sistemas que desean un control más preciso sobre su sistema operativo, SELinux es lo mejor, pero para todos los demás, AppArmor es la mejor opción.

**Gestión de la Plataforma Docker**

Docker recomienda que en el servidor se ejecute Docker de forma exclusiva y añadir los servicios necesarios dentro de los contenedores. Como se está usando un sistema nuevo con los servicios mínimos no es necesario realizar ninguna acción adicional. La versión de Docker aconsejable a utilizar es la Community Edition ya que es gratuita y permite probar la gran mayaría de funcionalidad del programa y evaluarlo para saber si interesa la versión comercial además como es de código abierto permite a partir de ese código realizar nuevos proyectos o introducir mejoras.
Existe tres formas de instalar Docker en Ubuntu o Debian [18]:

Mediante los repositorios de Docker: Facilita la instalación y las tareas de actualización. Es la forma recomendada.

Descarga de paquetes DEB e instalación y actualizaciones manuales. Es útil cuando se debe instalar en sistemas sin acceso a internet.

Uso de scripts automatizados para instalar versiones de prueba de una manera rápida y no interactiva. No se recomienda para entornos de producción.

Para crear la imagen o las imágenes se debe de utilizar una imagen base de las almacenadas en Docker Hub. Es importante no confiar en cualquier imagen que se encuentre en internet ni en cualquier repositorio. Docker patrocina un equipo dedicado exclusivamente a revisar y publicar contenido en los repositorios oficiales. Existen repositorios oficiales para los casos de uso más comunes que proporcionan documentación clara y promueven las buenas prácticas por lo que es una buena estrategia partir de alguno de ellos [11]. Por ejemplo, en la Universidad de las Ciencias Informáticas utilizan el repositorio: docker.prod.uci.cu.

Un aspecto importante a tener en cuenta al descargar o subir imágenes es que se está usando un medio no seguro como es internet. Por esto es importante disponer de mecanismos que aseguren la integridad y la autenticidad de las imágenes. Docker provee la funcionalidad "Content trust" esta opción fuerza que se firmen y verifiquen los t*ags* de las imágenes en el lado del cliente.

Una vez descargada la imagen de Docker Hub o también se puede buscar en Docker Store, se ejecuta utilizando el comando "run" y como argumento solo es necesario el nombre de la imagen y el mapeo de único puerto necesario 8080 con la opción "-p". En el caso de la universidad de las ciencias informáticas que utiliza otro repositorio para descargar las imágenes, se debe de poner además la ruta de donde se descarga la misma para ejecutar el contenedor. Sin embargo dicha ejecución no tiene en cuenta ninguna recomendación de seguridad, por lo que se procede a realizar un análisis y aplicar las modificaciones necesarias en las instrucciones siguiendo las pautas de "CIS Docker 1.13.0 Benchmark "documento destinado a administradores de sistemas y aplicaciones, especialistas en seguridad, auditores, mesa de ayuda y personal de implementación de plataformas que planean desarrollar, implementar, evaluar o asegurar soluciones que incorporen tecnología Docker 1.13.0 o posterior [19] [20]. Como resultado de la investigación realizada se obtuvieron un conjunto de buenas prácticas a tener en cuenta para el trabajo con contenedores Docker (Ver Figura 1).

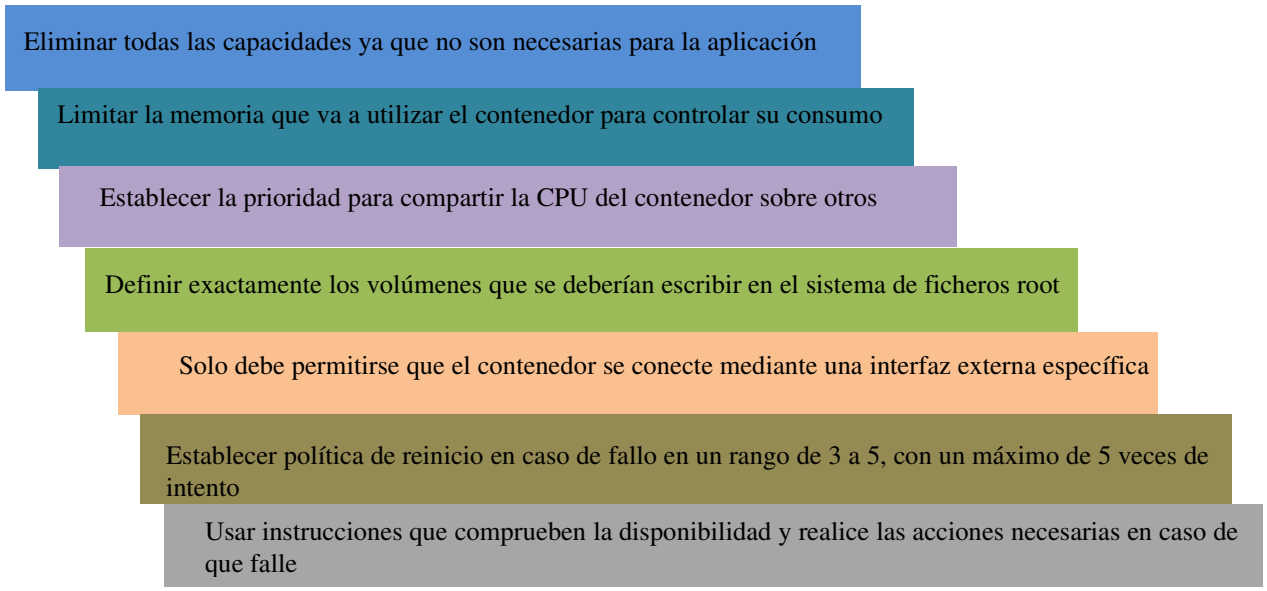



Figura 1: Recomendaciones de seguridad para el trabajo con la Plataforma Docker. Elaboración propia.

Se eliminan todas las capacidades ya que no son necesarias para la aplicación. Se limita la memoria que va a utilizar el contenedor para controlar su consumo. Si no se controla el contenedor podría hacer que el sistema se volviera inestable e imposible de utilizar. Se establece la prioridad a la hora de compartir la CPU del contenedor sobre otros. Esto permite garantizar que los contenedores con mayor prioridad sean mejor servidos. El sistema de ficheros root del contenedor debería ser solo lectura y definir exactamente los volúmenes que se deberían escribir. Esto tienes diferentes ventajas como la inmutabilidad de la

infraestructura, reduce el vector de ataque, permite usar backup solo de los volúmenes necesarios, etc. Por defecto los contenedores pueden conectarse con el exterior, pero no al revés. Cada conexión externa aparecerá con una de las IP de la propia maquina host. Solo debe permitirse que el contenedor se conecte mediante una interfaz externa específica ya que si existen múltiples interfaces de red en la máquina host podría aceptar conexiones en los puertos expuestos de cualquiera de las interfaces. Se recomienda establecer la política de reinicio en caso de fallo en un rango de 3 a 5, con un máximo de 5 veces de intento. Si no se establece un valor y el contenedor sigue intentando reiniciarse podría causar problemas de denegación de servicios en el host. Siempre que el contenedor se detenga se debe de investigar las causas en lugar de volver a reiniciarlo sin más. Unos de los aspectos más importantes en la seguridad es la disponibilidad por lo que se debe usar una instrucción que la compruebe y realice las acciones necesarias en caso de que falle.

## 4. CONCLUSIONES

El análisis de los contenedores Docker permitió tener un mayor entendimiento sobre su funcionamiento, los sistemas operativos, distribuciones y ediciones que permiten el trabajo con Docker. La investigación realizada sobre la seguridad en el kernel de Linux arrojo las diferentes funcionalidades que atribuyen buenas prácticas al mismo y dado un escenario determinado cuál funcionalidad usar para gestionar la seguridad en el kernel. El estudio sobre los pasos para instalar y configurar Docker, descargar la imagen y ejecución del contenedor permitió conocer las buenas prácticas a utilizar para que este proceso se realice de forma segura. La elaboración del documento con la descripción de las buenas prácticas para la gestión de la seguridad en contenedores Docker contribuirá a disminuir la exposición a amenazas y ataques de seguridad asociados a esta plataforma y generalizaciones.

## REFERENCIAS

1. GOUIGOUX, Jean-Philippe. *Docker: primeros pasos y puesta en práctica de una arquitectura basada en micro-servicios*. Online. Ediciones ENI., 2018. Available from: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=1MYg4MsyHk8C&oi=fnd&pg=PA337&dq=Gouigoux,+J.-P.:+Docker:+primeros+pasos+y++puesta+en+pr%C3%A1ctica+de+una+arquitectura+basada+en++micro-servicios,+Ediciones+ENI,+ISBN+978-2-409-+01589-2,+2018&ots=yPjqrhz2W-&sig=RZ998jWRCNm9Mp5q2G90NOL3ugk

2. GAMBOA FERNÁNDEZ, Juan. Seguridad en Docker. Online. 30 December 2018. Available from: https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/89325Accepted: 2019-01-25T10:02:24Z

3. CASTRO, Brais Iglesias. Docker, la plataforma favorita de desarrolladores y devops. *Formadores IT*. Online. 20 March 2020. Available from: https://formadoresit.es/docker-la-plataforma-favorita-de-desarrolladores-y-devops/

4. MORILLO HERNANGÓMEZ, Samuel. Realización de escenarios para ilustrar el funcionamiento de Docker. Online. 2022. Available from: https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/53411Accepted: 2022-09-27T14:36:26Z

5. APIUMHUB. Utilizar Docker: beneficios, estadísticas y historias de éxito | Apiumhub. Online. 3 April 2020. Available from: https://apiumhub.com/es/tech-blog-barcelona/beneficios-de-utilizar-docker/

6. MARTIN, A., RAPONI, S., COMBE, T. and DI PIETRO, R. Docker ecosystem – Vulnerability Analysis. *Computer Communications*. 1 June 2018. Vol. 122, p. 30–43. DOI 10.1016/j.comcom.2018.03.011.

7. MOUAT, Adrian. *Docker Security: Using Containers Safely in Production*. . O'Reilly Media, 2015.

8. MORDOR INTELLIGENCE. Tamaño del mercado de contenedores de aplicaciones y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). Online. 2024. Available from: https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/application-container-market

9. TELCONET CSIRT. Uso de imágenes de Docker para lanzar ataques DDoS en sitios web rusos. Online. 2022. Available from: https://csirt.telconet.net/comunicacion/noticias-seguridad/uso-de-imagenes-de-docker-para-lanzar-ataques-ddos-en-sitios-web-rusos/

10. SCARFONE, Karen, SOUPPAYA, Murugiah and HOFFMAN, Paul. NIST Special Publication (SP) 800-125: *Guide to Security for Full Virtualization Technologies* Online. National Institute of Standards and Technology, 2011.

11. IRADIER, Álvaro and MARTÍNEZ, Iván. *Docker para DevOps: de noob a experto*. Online. Primera. Tecnología espublico, 2021. Available from: http://dockerparadevops.com/downloads/docker_para_devops_r1.pdf

12. FUENTES, Fernando. Distribuciones Linux para contenedores. *Arsys*. Online. 2024. Available from: https://www.arsys.es/blog/distribuciones-linux-para-contenedores

13. CHELLADHURAI, Jeeva S., SINGH, Vinod and RAJ, Pethuru. *Learning Docker*. Online. Packt Publishing Ltd, 2017. Available from: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=qHc5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Chelladhurai+Learning+docker,+2nd+Edition&ots=3ZjbNIjlwo&sig=CXr0-C_AsGBPmtaw_m3mYH-9SKE

14. KERRISK, Michael. *The Linux programming interface: a Linux and UNIX system programming handbook*. Online. No Starch Press, 2010. Available from: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=Ps2SH727eCIC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Kerrisk,+M.:+The+Linux+programming+interface:+a+Linux+and+UNIX+system+programming+handbook&ots=kODfy6DQC3&sig=-JSZNzBb83S6Qzz0pc5vG3ntrpc

15. ARMAS CASTRO, Leoncio. Hacking the running Linux kernel. Online. 2020. Available from: https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/118506

16. SMALLEY, Stephen, VANCE, Chris and SALAMON, Wayne. Implementing SELinux as a Linux security module. *NAI Labs Report*. 2001. Vol. 1, no. 43, p. 139.

17. GRUENBACHER, Andreas and ARNOLD, Seth. AppArmor technical documentation. *SUSE Labs/Novell*. Online. 2007. Available from: https://lists.linuxcoding.com/kernel/2007-q2/attachments/pdfwqGtvU2wyT.pdf

18. TIRADO ZATARAIN, Lilia María. *Implementación de Docker en la gestión del entorno de desarrollo*. Online. bachelorThesis. Sinaloa : Universidad Politécnica de Sinaloa, 2017. Available from: http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/tesinas/TesinaLiliaMariaTiradoZatarain3453.pdf

19. CENTER FOR INTERNET SECURITY. CIS Docker Benchmarks. *CIS*. Online. 2024. Available from: https://www.cisecurity.org/benchmark/docker

20. LIPKE, Simon. *Building a Secure Software Supply Chain using Docker*. Online. Master´s Thesis. Heidelberg : Stuttgart Media University, 2017. Available from: https://core.ac.uk/download/pdf/195394253.pdf

**Sobre los autores**

Mary Nelsa Bonne Cuza, Ingeniera en Ciencias Informática graduada de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) en el 2015. Actualmente trabaja en la Universidad de las Ciencias Informática y ocupa el cargo de Profesor Principal, es profesor Asistente y se encuentra cursando la Especialidad de Seguridad Informática.

Victor Alejandro Roque Dominguez, Ingeniero en Ciencias Informática graduado de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) en el 2016. Actualmente trabaja en la Universidad de las Ciencias Informática y ocupa el cargo de Profesor Principal, es profesor Asistente y se encuentra cursando la Maestría en Informática Avanzada.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA DE HÍGADO SOBRE IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

**Lázaro Ramón Caraballo Rodríguez[1], Marlen Pérez Díaz[1], Rubén Orozco Morales[1]**

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Departamento de Automática. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara 54830. Villa Clara, Cuba
ramyduro@gmail.com

**RESUMEN**

La segmentación automática de hígado facilita la detección de anomalías hepáticas a partir de imágenes de tomografía computarizada (TC). La segmentación manual de estructuras y órganos no alcanza los niveles de precisión con los que cuentan los modernos sistemas automáticos 3D. Esta investigación se basa en encontrar una alternativa eficaz y eficiente para la realización de esta tarea en rutina clínica. El objetivo es comparar tres métodos de segmentación automática del hígado, a partir de imágenes de TC. Los métodos comparados fueron *k-means plus,* campos aleatorios ocultos de Markov y red neuronal de mapas auto-organizados. Para la comparación se realizó un análisis estadístico y computacional de los resultados de la segmentación obtenidos. Ara esto se utilizaron las métricas de calidad de la segmentación Coeficiente de Dice, Distancia promedio de superficie promedio (ASSD) y Distancia superficial simétrica máxima (MSSD) en 20 TC abdominales. De los tres métodos analizados, se comprobó que todos lograron una correcta segmentación, pero el *k-means plus* consiguió una ligera mejor precisión con menos tiempo de cómputo y menor tasa de fallos. Se concluye que *k-means plus* puede ser adecuado para rutina clínica.

**PALABRAS CLAVES:** Tomografía computarizada de abdomen, segmentación, hígado, procesamiento digital de imágenes.

**AUTOMATIC LIVER SEGMENTATION ON COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGES**

**ABSTRACT**

Automatic liver segmentation facilitates the detection of liver abnormalities from computed tomography (CT) images. Manual segmentation of structures and organs does not reach the levels of precision available in modern automatic 3D systems. This research is based on finding an effective and efficient alternative to carry out this task in clinical routine. The objective is to compare three methods of automatic liver segmentation, from CT images. The compared methods were k-means plus, hidden Markov random fields and self-organizing map neural network. For comparison, a statistical and computational analysis of the segmentation results obtained was carried out. For this, the segmentation quality metrics Dice Coefficient, Average Average Surface Distance (ASSD) and Maximum Symmetric Surface Distance (MSSD) were used in 20 abdominal CT scans. Of the three methods analyzed, it was found that all of them achieved correct segmentation, but k-means plus achieved slightly better precision with less computing time and a lower error rate. It is concluded that k-means plus may be suitable for clinical routine.

**KEY WORDS:** Abdomen's Computed Tomography, segmentation, liver, digital image processing.

## 1. INTRODUCCIÓN

Pese a la modernización que se ha alcanzado en la tecnología de tomografía computarizada, que incluye software para procesar las imágenes, todavía se continúa investigando en métodos de mejoramiento de la calidad de imagen para facilitar el diagnóstico médico. Por ello en la actualidad, existe una gran interdisciplinariedad entre la Medicina y la Ingeniería.

La visualización completa del hígado, por ejemplo, se hace muy compleja por su ubicación. Se encuentra en la parte superior derecha de la cavidad abdominal, debajo del diafragma y por encima del estómago, el riñón derecho y los intestinos. Al estar cerca de tantos elementos, es inevitable la superposición de estructuras sobre las imágenes médicas [1]. Debido a esta razón, se acude al procesamiento digital de imágenes para auxiliar en la tarea de localización exacta de estructuras.

Los métodos de segmentación de estructuras y órganos son parte de las mejoras progresivas que se han introducido. En el caso específico del hígado, son una pieza clave para la detección de enfermedades hepáticas. Son también el paso inicial para posibles trasplantes, por la facilidad que presenta esta técnica para la determinación del volumen hepático tanto del donante como del receptor. También es crucial para la detección de tumores hepáticos y la planificación de radioterapia interna selectiva, así como para la reducción del riesgo de dosis de radiación excesiva o insuficiente a suministrar al paciente enfermo.

La segmentación es uno de los grandes problemas que inciden en la visión artificial por computadoras. De manera general, no existe una solución global para todos los problemas que se plantean. Las técnicas de segmentación abarcan desde las más sencillas, basadas en diferencias en niveles de gris, hasta las más complejas basadas en textura, imágenes vectoriales y modelos deformables.

Durante las últimas décadas, se han realizado varias investigaciones sobre los métodos de segmentación hepática, obteniéndose varios métodos automáticos y semiautomáticos para hígado y para tumores de hígado [2]-[6]. En la mayoría de estos estudios la ubicación espacial y la forma del hígado, se incorporan. Además, se incluyen varios pasos de procesamiento previo y posterior, para ayudar a mejorar o refinar el resultado. Se pueden citar los métodos que se basan en modelos deformables [7],[8], atlas probabilísticos y crecimiento de regiones [9], contornos activos [10], [11], redes neuronales artificiales [12] incluyendo las redes profundas convolucionales [13]-[15], sistemas basados en reglas [16], mapeo no lineal aplicando Monte Carlo [17], aprendizaje y codificación dispersa [18], entre otros. La mayoría de estos métodos, han sido desarrollados y publicados a nivel de laboratorio, por lo que aún no tienen implementación clínica, o han conducido a un software propietario.

La segmentación subdivide una imagen en sus partes constituyentes u objetos, con el fin de separar las partes de interés del resto de la imagen. Por lo tanto, el nivel al que se lleva a cabo esta subdivisión depende del problema a resolver. La segmentación automática es una de las tareas más difíciles del procesamiento de imágenes y rara vez llega a alcanzar una solución perfecta, por lo que se debe buscar un método alternativo *groundtruth* de comprobación, para la verificación de los resultados.

El objetivo de este trabajo ha sido implementar y comparar tres métodos modernos de segmentación 3D de hígado, a partir de imágenes de TC, para buscar una alternativa eficaz para la tarea y eficiente computacionalmente, para utilizarla en rutina clínica, una vez que sean incorporados a un software libre.

## 2. MATERIALES Y MÈTODOS

Se implementaron en Matlab tres métodos de segmentación para desarrollar su comparación en cuanto al desempeño en la tarea de segmentar el hígado a partir de imágenes de CT. En este caso se escogieron métodos de naturaleza muy diferente: un método morfológico, un método estadístico y un método de *machine learning*.

El primero fue el método morfológico *k-means plus.* Este es un aprendizaje no supervisado que se utiliza cuando se tienen datos no etiquetados. El objetivo es encontrar grupos en los volúmenes de datos que se agrupen según la similitud en sus características. El algoritmo divide los objetos en grupos mutuamente excluyentes *(k).* Lo hace de tal manera que los centros de cada grupo permanecen lo más cerca posible de cada objeto, pero lo más lejos posible de los centros de otros grupos. Por grupos o clases se entiende en el problema de investigación píxeles que pertenezcan a la región de interés del hígado, respecto a píxeles que pertenezcan a órganos aledaños. Cada grupo se caracteriza por su punto central (centroide) [19].

Antes de aplicar el método cada imagen fue pre-procesada. Para esto, primero se realizó un ajuste de intensidad con tolerancia desde $8x10^{-6}$ hasta 0,9 x $10^4$ para ajustar el contraste, y una sigma de la gaussiana de 0,520, para suavizar la imagen, reduciendo ruido. Esto se realizó mediante prueba y error, buscando maximizar los parámetros de calidad de la segmentación.

Durante la etapa de lectura de la imagen, se obtuvieron las imágenes de referencia DICOM que se le pasaron al algoritmo. Además, se creó un volumen 3D, concatenando todos los cortes de imágenes 2D donde el hígado estaba visible.

Para la implementación de *k-means plus* primero se declararon 18 clases o grupos, en las que se segmentaría la imagen en 6 iteraciones, determinadas también de manera experimental. Se utilizó un elemento estructurante de radio 10 píxeles para suavizado morfológico. En el siguiente paso se utilizó la función *kmeans_plus* para realizar propiamente la segmentación. Seguidamente, como parte del pos-procesamiento, se aplicaron un grupo de operaciones morfológicas de encogimiento, erosión y dilatación, esta vez con elemento estructurante de radio 7 píxeles [20].

El segundo método fue el de campos aleatorios ocultos de Markov con maximización de expectativas (*HMRF_EM*) [21]. Este es un método estadístico que utiliza las medidas de probabilidad para modelar secuencias de datos representados por vectores de observación.

Para realizar el etiquetado de píxeles el modelo asignó una etiqueta del conjunto de etiquetas $L$ a cada estado $S$; por ejemplo, un estado es la detección de los bordes del hígado sobre una imagen, que consiste en asignar una etiqueta $fi$ dentro del conjunto $L$ para cada estado, con ι □ Σ, donde $S$ está formado por los píxeles de la imagen del hígado. Este método modela las interacciones espaciales entre vecinos o píxeles cercanos. Estas correlaciones locales proveen un mecanismo para modelar una variedad de propiedades de la imagen. Sea $F=(f_{1.....}f_n)$ una familia de variables aleatorias definidas en $S$, donde cada variable aleatoria $F_i$ toma un valor $f_i$ en $L$. Se llamará campo aleatorio a la familia de variables aleatorias $F$

Se dice que la familia cumple que:

$$P(F = f) > 0 \qquad (1)$$

$$P(F_i = f_i \mid F_j = f_j, j \in d, i \neq j) = P(F_i = f_i \mid F_j = f_j, j \in N_i) \qquad (2)$$

En (2), P(·) y P(·|·) son las funciones de densidad de probabilidad conjunta y condicional respectivamente.

La esencia del algoritmo de maximización de expectativas es utilizar los datos observados disponibles del conjunto de datos, para estimar los datos faltantes, y luego utilizar esos datos para actualizar los valores de los parámetros.

En la práctica, la implementación de este método comenzó con la declaración de 14 clases o grupos en las que segmentaría la imagen, mediante prueba y error. Se utilizaron 10 iteraciones para el algoritmo de maximización de expectativas y 6 iteraciones como parte de la auto-organización de grupos. Se declaró también una sigma gaussiana de 0.30 y un elemento estructurante de radio 11 píxeles, para realizar un suavizado morfológico. Todos estos parámetros se seleccionaron de manera experimental, buscando lograr buena calidad de segmentación. En la etapa de lectura de la imagen se cargaron las imágenes a utilizar, así como su referencia médica y se montaron sobre el algoritmo.
Durante el pre-procesamiento se realizó un ajuste de intensidad, un ensanchamiento de contraste y un suavizado de intensidad, usando un filtro gaussiano, a fin de aprovechar en gran medida toda la información de la imagen, semejante al método anterior.

En la etapa de segmentación primero se realizó un método del tipo *k-means* para agrupar las clases, realizando operaciones morfológicas como encogimiento, erosión, dilatación y reconstrucción geodésica.

Luego se aplicó la función *HMRF_EM* de Matlab, para lograr la segmentación de la imagen, aplicando el método de los mapas ocultos de Markov, y por último se aplicó la maximización de expectativas para utilizar las mejores etiquetas.

El tercer método es el mapa auto-organizado o red de Kohonen *(SOM)* [22]. Este es un modelo de red neuronal con aprendizaje no supervisado. Este tipo de red se basa en el mapa topológico existente en la corteza cerebral. Las neuronas topológicamente cercanas entre sí tienden a producir respuestas al mismo tipo de estímulo en la corteza cerebral. La formación de este mapa puede hacerse por el método estándar o el de lotes. En el entrenamiento por el método estándar, el proceso comienza con la inicialización de los pesos sinápticos, asignándoles valores aleatorios. Luego se realizan tres pasos llamados: competitivo, cooperativo y adaptación sináptica. En el primero, para cada vector de patrón de entrada presentado en el mapa, todas las neuronas calculan valores de una función discriminante. La neurona que es más similar al vector de patrón de entrada es la ganadora (unidad de mejor coincidencia, BMU). En el segundo paso la neurona ganadora (BMU) encuentra la ubicación espacial en un vecindario topológico de neuronas excitadas. Entonces, las neuronas de este vecindario pueden cooperar. Por último, en el tercer paso, se proporciona que las neuronas excitadas puedan modificar los valores de la función discriminante, relacionada con el vector de patrón de entrada, presentado mediante el proceso de ajustes de pesos. Así, esta red neuronal obtiene una auto-organización en patrones a partir únicamente de los datos de entrada, o propiedades de la realidad, mostrando las relaciones de vecindad y agrupamiento de los objetos mediante una estructura topológica.

El método *SOM* sigue dos ecuaciones básicas: la de encontrar la neurona ganadora determinada por la mínima distancia euclidiana a la entrada como (3), y la actualización de la posición de las neuronas dentro del grupo como (4).

$$d_{ij} = \min_i \|x(t) - w_{ij}(t)\| \tag{3}$$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \alpha(t)\left[x(t) - w_{ij}(t)\right] \; i \in N_c \tag{4}$$

Donde $x$ es la entrada, $N_c$ es la vecindad de la neurona ganadora, $w_{ij}$ es cualquier peso de nodo y $d_{ij}$ es la distancia euclidiana. Se puede notar a partir de (4) que el proceso de actualización es una variación de la ubicación del nodo, proporcional a la distancia euclidiana del nodo a la entrada, multiplicada por la secuencia de ganancia si el nodo se encuentra dentro de la vecindad. Si no está dentro de la vecindad, su posición permanece inalterada.

Para implementar este método en Matlab se declararon 16 clases en las que se va a segmentar la imagen, igualmente de manera experimental mediante prueba y error. Para el suavizado de la imagen se utilizó una sigma de la gaussiana de 0.15 como parte del pre-procesamiento de la imagen. Se declaró un elemento estructurante de radio 9 píxeles para operaciones morfológicas como suavizado y erosión.

Luego comenzó la etapa de lectura de imágenes, donde se construyó un volumen 3D a partir de cortes 2D con las imágenes a segmentar y su respectiva referencia. En el bloque de pre-procesamiento se realizó primero el ajuste de intensidad, luego un ensanchamiento de contraste con el fin de aprovechar más características de la imagen, y finalmente un suavizado de intensidad con un filtro gaussiano.

Para la segmentación se utilizó la función *ClustSom.* Dentro de esta función, primeramente se definió primero el mapa auto-organizado y se entrenó la red neuronal con el 80 % de los datos, para después segmentar. Seguidamente en el pos-procesamiento, se realizaron un grupo de operaciones morfológicas de encogimiento, erosión, dilatación y reconstrucción, buscando mejorar todo el proceso. Para concluir se salvó la información.

Para la implementación de los 3 métodos se utilizó como hardware una laptop *HP- Pavilion* con las siguientes características: Procesador (CPU): Intel® Core™ i5-8250U (3.40 GHz, 6 MB cache, con 4 núcleos. Tarjeta Gráfica: Intel® UHD Graphics 620 (Integrada) y RAM: 8 GB DDR4-2133 SDRAM (2,4 GB).

Para probar el desempeño de los métodos, se utilizaron imágenes de la base de datos de TC abdominal (CHAOS_*Train_Sets*) y de CHAOS (*Combined Healty Abdominal Organ Segmentation*) la cual se encuentra libre en internet. Es una base de datos anotada, que cuenta además con las máscaras de segmentación para poder utilizarlas como referencia. Son imágenes DICOM anonimizadas. Se utilizaron las TC de 20 pacientes, que cuentan con un total de 2874 cortes 2D. Existe una gran variabilidad en la cantidad de cortes utilizados por cada paciente, debido a la diversidad en cuanto a tamaño y morfología del hígado. El promedio fue de 90 cortes por paciente. Por esta razón, para aplicar cada método se determinó manualmente el intervalo de cortes de TC donde aparecía el hígado, en cada TC de cada paciente.

Todas las imágenes fueron determinadas en el área superior del abdomen de los pacientes en la fase venosa portal, después de la inyección de un agente de contraste. En esta fase, el parénquima hepático aumenta al máximo, a través del suministro de sangre por la vena porta.

Los conjuntos de imágenes DICOM de 16 bits por píxel (bpp) presentaron una resolución de 512x512 píxeles, con un espesor de corte entre 0,7-0,8 mm y una distancia entre cortes de 3 a 3,2 mm.

En cada imagen se tuvo en cuenta: Los valores de Hounsfield similares en órganos cercanos, los valores de Hounsfield diferentes para el mismo tejido por la acción de los medios de contraste y la variación significativa en cuanto a forma anatómica. Con estos elementos se pudo hacer la delimitación original del número de clases necesarias por método, lo cual se probó mediante prueba y error.

Para evaluar la calidad de la segmentación y realizar la comparación de los métodos se utilizaron el Coeficiente de Dice, la Distancia promedio de superficie promedio (ASSD) y la Distancia superficial simétrica máxima (MSSD), por comparación con la referencia o *groundtruth* que traía la base de datos [23].

## 3. RESULTADOS

En la Fig. 1 se aprecia el desempeño de los tres métodos para un mismo corte 2D (corte 38), de la imagen tomográfica del paciente 1 de la BD. Por comparación con su máscara *groundtruth* puede valorarse visualmente el resultado de la segmentación.

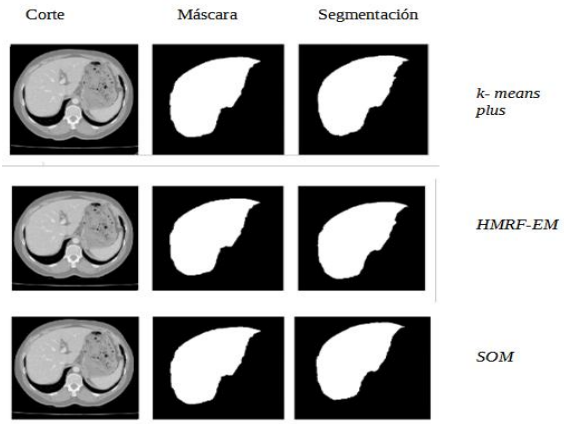



Figura 1: Desempeño de los tres métodos, de arriba hacia abajo se muestran k-means plus, HMRF_EM y SOM. De izquierda a derecha se aprecia el corte, máscara de referencia y resultado de la segmentación.

Los resultados se pueden considerar favorables con los tres métodos para el conjuntos de imágenes de TC empleado, pues en casi todos los casos se segmentó la región deseada. Incluso, cuando la imagen no tenía buena calidad, se apreció gran similitud entre la segmentación y la máscara de referencia en cuanto a forma, bordes y detalles para todos los cortes de cada imagen 3D. El número de fallos en 20 casos, fue de 3 para k-means plus, 4 en campos aleatorios ocultos de Markov y 5 en mapa auto-organizado. Aunque los métodos no fallaron en todos los cortes del voxel 3D formado para cada paciente, basta que falle en segmentar un corte 2D para que la segmentación del voxel se cuente como fallida. Las causas de los fallos se vinculan a hígados con una muy morfología compleja, imágenes con bajo contraste entre estructuras aledañas y ruido [1]. En la Fig. 2 se muestra un ejemplo donde se produjo un fallo en los tres métodos.

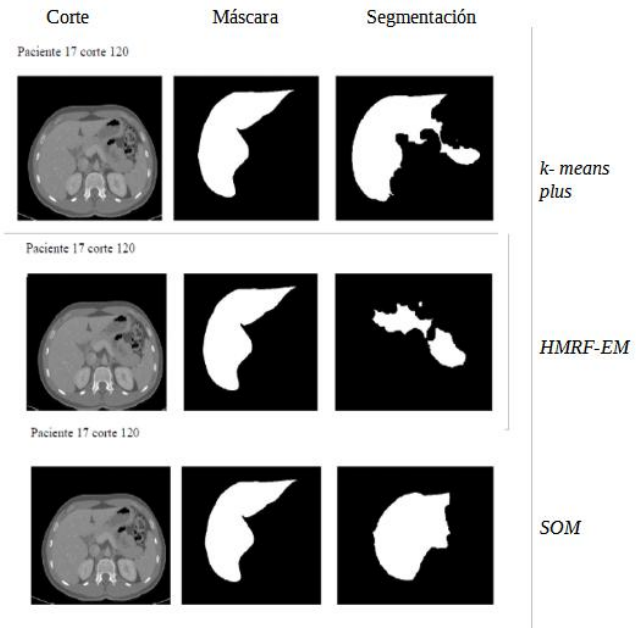



Figura 2: Desempeño fallido de los tres métodos en un mismo corte de un mismo paciente. De arriba hacia abajo se muestran *k-means plus, HMRF_EM* y *SOM*.

**Análisis objetivo de calidad de la segmentación**

En la Fig. 3 se muestra cómo se comportó el coeficiente de Dice para cada método. Se aprecia que hubo una mayor fluctuación del coeficiente respecto a la referencia con el método SOM, seguido del método *HMRF_EM* y por último el *k-means plus*. Por tanto, este último fue más preciso al detectar el contorno del hígado y presentar la mayor similitud de la imagen segmentada con su máscara de referencia, según esta métrica [23].

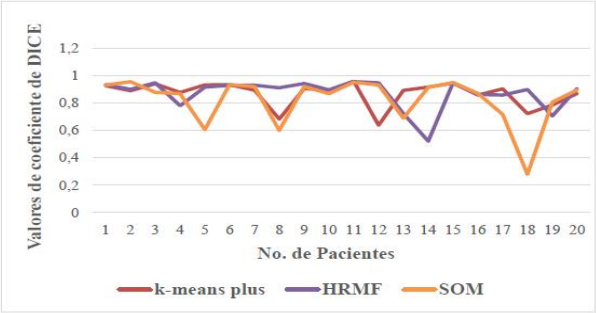



Figura 3: Comportamiento del coeficiente de Dice para cada paciente por método.

En la Tabla 1 se presentan las medias del coeficiente de Dice para las segmentaciones de imágenes de hígados de los 20 pacientes por cada método. El coeficiente es mejor, mientras más próximo a 1 se encuentre [23].

Tabla 1**:** Media por cada método para el coeficiente de Dice en el conjunto de pacientes

| Métodos | Valor mínimo | Valor máximo | Media | Desviación típica |
|---|---|---|---|---|
| *k-means plus* | 0,639 | 0,96 | 0,870 | 0,090 |
| *HRMF_EM* | 0,522 | 0,957 | 0,871 | 0,110 |
| *SOM* | 0,279 | 0,956 | 0,825 | 0,170 |

En la Fig. 4 se muestra la calidad de la segmentación para los tres métodos según la métrica ASSD. Nuevamente, el método *k-means plus* se muestra más estable (con menor fluctuación) respecto a la máscara de referencia. En el caso del *HMRF_EM* presenta resultados admisibles, aunque se observan varios picos no deseados. En comparación con los métodos anteriores, el *SOM* presentó más picos de fluctuación.

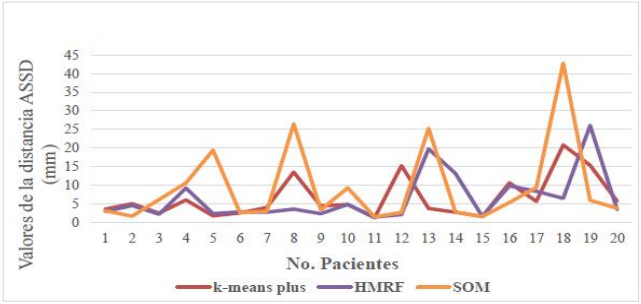



Figura 4: Comportamiento de la distancia ASSD para cada paciente por método.

En la Tabla 2 se muestran las medias de la métrica Distancia simétrica promedio (ASSD) para los tres métodos. Esta métrica es mejor mientras menor es su valor [23]. Por esta razón tanto *k-means plus* como *HRMF_EM* se encuentran en el entorno de los 6.5 mm, siendo menores que la métrica para *SOM* y con menor desviación típica.

Tabla 2: Media de la métrica ASSD para todo el conjunto de pacientes con los métodos de segmentación estudiados.

| Métodos | Valor mínimo | Valor máximo | Media | Desviación típica |
|---|---|---|---|---|
| k-means plus | 1,271 | 20,821 | 6,576 | 6,208 |
| HRMF_EM | 1,459 | 26,089 | 6,517 | 6,537 |
| SOM | 1,527 | 42,825 | 9,375 | 10,926 |

Para los tres métodos hubo casos donde la métrica ASSD superó los 15 mm y que por tanto se consideraron fallidos.

En la Fig.5 y Tabla 3 se presenta el comportamiento de la calidad de la segmentación según la Distancia máxima de superficie simétrica (MSSD). Tanto HMRF como k-*means plus* presentan una media en el rango de aceptado de 0 a 60 mm. Mientras que SOM supera el intervalo requerido.

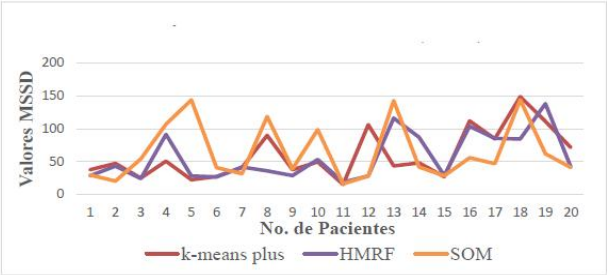



Figura 5: Comportamiento de la distancia MSSD para cada paciente por método

Tabla 3. Media por cada método del conjunto de pacientes para la métrica MSSD.

| Métodos | Valor mínimo | Valor máximo | Media | Desviación típica |
|---|---|---|---|---|
| k-means plus | 15,213 | 148,777 | 59,726 | 36,916 |
| HRMF | 18,608 | 138,074 | 56,601 | 35,947 |
| SOM | 16,025 | 143,77 | 64,42 | 43,842 |

Los resultados obtenidos en el cálculo de la distancia máxima de superficie simétrica (MSSD) se interpretan de manera similar a la métrica ASSD, donde los valores óptimos son los más pequeños. Por

consiguiente, se puede afirmar que, según esta métrica, el método *HMRF_EM* presentó los mejores resultados para segmentar el hígado, seguido de k-*means plus.*

**Eficiencia computacional de los métodos**

El método *k-means plus* tuvo un costo computacional ligeramente por debajo de los 14 minutos por paciente, para las prestaciones computacionales utilizadas, mientras que *HRMF_EM* tardó 15,33 minutos y *SOM* 118,19 minutos. Es apreciable que el método *k-means plus* fue 1,11 veces más veloz que el *HRMF_EM* y 8,7 veces más rápido que el *SOM*.

La decisión de escoger un método eficaz y eficiente para una rutina clínica depende de varios factores, como la capacidad de tener mayor o menor precisión, según el objetivo médico que se persigue, y además, las condiciones de procesamiento de que se disponga. Con un procesador más avanzado y la ayuda de una moderna tarjeta gráfica, se reduciría significativamente el tiempo de cómputo de los tres métodos, sin tener que sacrificar precisión.

## 4. DISCUSIÓN GENERAL

Para obtener una buena segmentación es necesario contar con una buena calidad de la imagen a analizar, o sea que posea bajos niveles de ruido, un alto contraste, alta resolución espacial, poca distorsión y que no contenga artefactos [1]. Las imágenes procesadas presentan una resolución espacial estándar de 512x512 píxeles a 16 *bpp*, sin la presencia de artefactos visibles. En cada método antes de realizar la segmentación se realizó un suavizado de la imagen para disminuir ruido y facilitar todo el procedimiento posterior.

En el caso de las imágenes con contraste muy bajo entre estructuras, esto influyó en el rendimiento de los métodos, pues en algunos casos se segmentaron estructuras no deseadas junto al hígado, como el vaso, el cual presenta un rango de valores de Hounsfield similares a los del hígado [1]. En los pacientes con una complejidad morfológica alta, como el caso en los que el hígado estaba particionado, los métodos probados solo segmentaron una parte. Este aspecto se considera una limitación de la presente investigación. Como posible solución se plantea optimizar todos los parámetros de cada método, buscando su mejor desempeño, incluido el número de iteraciones. Esto, por supuesto, requiere de controlar el tiempo de cómputo, porque para rutina clínica estos dos factores deben tener una buena relación de compromiso.

Otra limitación se relaciona con el relativo pequeño tamaño de la muestra empleada. Aunque se segmentaron más de 2000 cortes 2D por método, pertenecen a solo 20 pacientes, por lo que pudiera esperarse que no hay una alta variabilidad de casos en la muestra. Deben realizarse en el futuro implementaciones de todos los métodos para volúmenes de datos mucho mayores.

Por otra parte, a la hora de incluir los métodos en un software libre para rutina clínica, se deben incluir todos los métodos que sean factibles en un tiempo de cómputo aceptable. De este modo, ante la falla de uno, se puede probar otro, buscando la eficacia en la tarea. La implementación además debe hacerse en un software de código libre como por ej. Python.

Es interesante hacer notar que el método que incorporó aprendizaje de máquinas, fue el de peor desempeño y mayor tiempo de cómputo. Este aspecto guarda relación, no solo con los parámetros de desempeño mínimos establecidos para que cumpliera mínimamente con la tarea, que se alejan de los óptimos, sino con las prestaciones computacionales utilizadas en CPU. Este método para lograr un desempeño cercano a *k-means plus* y *HMRF_EM,* tardó 8 veces más tiempo. Es de esperar que, de utilizarse una GPU para su corrida, pueda incrementarse su tasa de aprendizaje y con ello su eficacia, para un tiempo de cómputo que sea competitivo con los otros dos métodos. Hacia esta meta deberán dirigirse los esfuerzos futuros.

A partir de la complejidad de la segmentación de hígado, se han realizado muchas investigaciones con distintos niveles de éxito, sin embargo, problemas como los apreciados en la presente investigación son

comunes en esta área de investigación [2]-[19]. Por esta razón puede afirmarse que aún no se ha logrado un método exitoso para todos los casos. En ocasiones realizar combinaciones con varios de ellos, puede sr la solución de la tarea.

Comparar en resultados los métodos expuestos respecto a su implementación por otros autores es complejo, puesto que al revisar los artículos, no se utiliza la misma base de datos ni las mismas métricas de evaluación de desempeño. Por ejemplo, en [24] se presenta un modelo de convolución basado en un algoritmo adaptativo *k-means* modificado, para obtener una mejor respuesta a la segmentación que el método *k-means* normal.

En la investigación [22] se aplicó el método *HMRF_EM* y sugieren que se utilice principalmente, para refinar la salida de la segmentación directa de algunos otros algoritmos como el *k-means*.

En el estudio [25] se utilizó el método *SOM*. El mismo arrojó resultados satisfactorios en varios conjuntos de prueba, pero siempre se presentaron fallos. Esto sugiere que su implementación futura en rutina clínica es aún un campo abierto a la investigación, coincidiendo con lo que se plantea en el presente trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

En la investigación realizada, el método *k- means plus* presentó el mejor desempeño desde el punto de vista de 3 métricas objetivas que evalúan la calidad de la segmentación así como mediante análisis visual experto comparativo respecto a la referencia considerada como *groundtruth.*

Las métricas Coeficiente de Dice, Distancia promedio de superficie promedio y Distancia superficial simétrica máxima, para para *k- means plus* siempre estuvieron en un rango correcto de valores y con baja desviación típica, mostrando tanto buena precisión como exactitud para la tarea con la base de datos utilizada y su tasa de fallos fue la menor.

El método *k-means plus* presentó además entre los comparados, la mayor eficiencia computacional para las prestaciones utilizadas.

## REFERENCIAS

1. SUETENS, Paul. Fundamentals of medical imaging. Cambridge University Press, p. 66-98. New York, 2017.
2. SENGUN, K: CETIN, Y; GUZEL, M; CAN, S; BOSTANCI, E. Automatic Liver Segmentation from CT Images Using Deep Learning Algorithms: A Comparative Study. Engineering and Robotics Department, Ankara University, arXiv:2101.09987, 2021.
3.LI, Y; ZHAO, Y; ZHANG, F; LIAO, M; YU, B; CHEM, B; WANG, Y. Liver segmentation from abdominal CT volumes based on level set and sparse shape composition. Computer Methods Programs in Biomedicine, 2020, Vol 195: 105533.
4. LE, D; CHINNASAN, J; KEERATIBHARAT, N; HORKAEW, P. Semi-automatic liver segmentation based on probabilistic models and anatomical constraints. Scientific Reports, 2021 Vol 11(1), pp 1-19.
5. CONSE, P.H: KAVUR, AE, CORNEC-LE, Gall, GESER, N.S, MEUR, Y; SELVER, Rousseau Abdominal multi-organ segmentation with cascaded convolutional and adversarial deep networks. Artificial Intelligence in Medicine, 2021., Vol 117, pp 102-108.
6. CHOWDHARY, C.L; MOTTAL, M; PATTANAIK, P: MARSZALEK, Z. An efficient segmentation and classification system in medical images using intuitionist possibilistic fuzzy C-mean clustering and fuzzy SVM algorithm. Sensors 2020, Vol 20(14), pp 3903-3909.
7. JIMENES, D; CARRETERO, D, FERNANDEZ, Manuel, PASCAU, ,L, GONZALES GARZON, J, TELLADO, J; M,. Ramón, DESCO MENENDEZ, E; et al.. Algoritmo Level-Set para segmentación hepática en TAC con restricciones de curvatura local. In Libro de actas del XXIX Congreso Anual de la Socieda Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB) (pp. 207-210). Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón. 110: 33-69, 2011.
8. ZHOU, X; KITAGAWA, T; OKUO, K; HARA, T. et al. Construction of a probabilistic atlas for

automated liver segmentation in non-contrast torso CT images, in International Congress Series, 1281: 1169-1174, 2005.
9. PLA, Alemany. Desarrollo de un método de segmentación automática del hígado en sus segmentos de Couinaud y los vasos hepáticos mediante un atlas probabilístico a partir del análisis de imágenes de Tomografía Computarizada. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 2020.
10. KAUR, R; KAUR, J. Current methods in medical image segmentation: a review. Commun Comput Syst 2014, Vol 199, pp99-200.
11. CHUAH, T. LIM, Poh. Group average difference: a termination criterion for active contour. Journal of digital imaging 2012, Vol .25 (2), pp 279-293.
12. TANG, F. The Intelligent Medical Imaging System: The Use of Cloud Technology and Computer-aided Methods. Int J Radiol Med Imag 2017, Vol 3, pp 120-126.
13. LONG, J; SHELHAMER, E, DARREL, T. Fully convolutional networks for semantic segmentation, in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, United States, pp. 3431-3440, 2015.
14.DOU, Q; LEGUAN, Y; CHEN, H; YUEMING, J. et al. 3D deeply supervised network for automated segmentation of volumetric medical images. Medical image analysis 2017, Vol 41, pp 40-54.
15. LU F; WU, P; HU, P. PENG D; KONG, D. Automatic 3D liver location and segmentation via convolutional neural network and graph cut. Int. Journal of Computer Assisted Radiology Surgery 2017, Vol 12 (2), pp 171-182.
16.BOTELLA, J. Estudio y desarrollo de un preproceso basado en la difusión no lineal para la segmentación en imágenes. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
17. LU, X; WU, X, REN, B; ZHANG Y. The study and application of the improved region growing algorithm for liver segmentation. Optik 2014, Vol 125 (9), pp 2142-2147.
18. TONG, T; WOLZ, R; WANG, Z et al.. Discriminative dictionary learning for abdominal multi-organ segmentation. Medical image analysis2015, Vol 23 (1), pp: 92-104.
19. BAHMANI, B; MOSELEY, B; VATTANI, A. et al. k-means++. Scalable k-means++. *arXiv preprint arXiv:*1203.6402, 2012.
20. BACHEM, O; LUCIC M; HASSANI, A; KRAUSE, A. Fast and provably good seedings for k-means. Advances in Neural Information Processing Systems 2016, Vol 65, pp 55-135.
21. M. A. Mohamed, GADER, P. Generalized hidden Markov models. I. Theoretical frameworks. IEEE Transactions on fuzzy systems 2000, Vol 8 (1), pp 67-81.
22. WANG, Q. HMRF-EM-image: implementation of the hidden Markov random field model and its expectation-maximization algorithm. *ArXiv preprint* 1207: 2035-2040, 2012.
23. HEIMANN, T; VAN GINNEKEN, B; STYNER, M; ARZHAEVA, Y. et al. Comparison and evaluation of methods for liver segmentation from CT datasets. IEEE Trans Med Imaging 2009, Vol 28(8), pp 1251-65.
24. DEBELEE, T. SCHWENKER, F; RAHIMETO, S: J, Yohannes. Evaluation of modified adaptive k-means segmentation algorithm. Computational Visual Media 2019, Vol 5(4), pp 347-361.
25. CUNHA, A.; WATANABE, C; CARVALHO, C. Medical image segmentation using the Kohonen neural network. IEEE Latin America Transactions 2019, Vol 17 (2), pp 297-304.

**Sobre los autores**

Lázaro Ramón Caraballo Rodríguez. Graduado de Ing. en Automática en 2022. Trabaja para Xetid en Control de Sistemas informáticos.
Marlen Pérez Díaz.. DrC Físicas 2003. Profesora titular. Trabaja para el Dpto de Automática de UCLV en temas de Física médica, Procesamiento digital de Imágenes médicas y Sistemas con IA de apoyo al diagnóstico médico. Miembro de AAPM, SCF, IOWS, entre otras.
Rubén Orozco Morales. DrC Técnicas 2001, Profesor titular. Trabaja como asesor del Dpto Docente metodológico de la UCLV.. Investiga en Procesamiento digital de diversos tipos de imágenes. Miembro de SCBio Ing, Soc Cubana de Reconocimiento de patrones, entre otras.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRANSFERENCIA DE DISEÑO DE INTERFACES DE USUARIO A CÓDIGO: REVISIÓN SISTEMÁTICA

**Jonathan Stalin Delgado Guerrero[1], Leandro Antonelli[2], Diego Firmenich[3]**

[1]Facultad de Informática, UNLP, calle 50 esq 120, La Plata, Bs As, Argentina; SENESCYT, Ecuador
[2]Lifia, Facultad de Informática, UNLP, calle 50 esq 120, La Plata, Bs As, Argentina
[2]CAETI - Facultad de Tecnología Informática - Universidad Abierta Interamericana
[3]Departamento de Informática, Facultad de Ingeniería, UNPSJB, Chubut, Argentina.
[1]e-mail: jonathan.delgadog@info.unlp.edu.ar, [2]e-mail: lanto@lifia.info.unlp.edu.ar,
[3]e-mail: dafirmenich@ing.unp.edu.ar

**RESUMEN**

La transferencia de diseño de interfaces de usuario (UI) a código es esencial en el desarrollo web actual. Existen diversos métodos, técnicas y herramientas disponibles para facilitar este proceso, como herramientas de prototipado, frameworks de diseño responsivo y generadores de código. Este estudio realiza una revisión sistemática de la literatura para identificar y analizar los métodos utilizados en la transferencia de diseño de interfaces de usuario web a código. Este aspecto es relevante para los desarrolladores al ser un potencial insumo que se puede usar desde el comienzo del desarrollo con principal impacto en el ahorro de tiempo. Se busca responder a la pregunta clave: ¿Qué métodos, técnicas y herramientas de diseño de interfaces de usuario web permiten la transferencia al código? Se identifican dos categorías principales: a partir de mockups, utilizando herramientas como Figma o Sketch, y a partir de la detección de elementos con algoritmos y redes neuronales. Se discuten los resultados y posibles beneficios de este proceso para futuras investigaciones.

**PALABRAS CLAVES:** diseño de interfaz de usuario, transferencia de diseño, diseño a código, métodos transferencia de diseño a código.

**TRANSFER OF USER INTERFACES DESIGN TO CODE: A SYSTEMATIC REVIEW**

**ABSTRACT**

Transferring user interface (UI) design to code is essential in today's web development. There are various methods, techniques and tools available to facilitate this process, such as prototyping tools, responsive design frameworks and code generators. This study conducts a systematic literature review to identify and analyze the methods used in transferring web user interface design to code. This aspect is relevant for developers as it is a potential input that can be used from the beginning of development with the main impact on time savings. It seeks to answer the key question: What web user interface design methods, techniques and tools allow the transfer to code? Two main categories are identified: from mockups, using tools such as Figma or Sketch, and from the detection of elements with algorithms and neural networks. The results and possible benefits of this process for future research are discussed.

**KEY WORDS:** user interface design, design transfer, design to code, design to code transfer methods.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de software web está estrechamente relacionado con el diseño de interfaces de usuario, permitiendo representar objetos del mundo real en computadoras conectadas en red [1]. Nuevas tecnologías como Ajax, JavaScript y sus frameworks, junto con la evolución de módulos de CSS, han potenciado las mejoras visuales en el desarrollo web, aumentando su popularidad [2] [3] [4]. La constante evolución de los estándares web ha generado enfoques que se centran en el diseño de la interfaz de usuario, brindando oportunidades para investigar y mejorar la usabilidad y experiencia del usuario. Esta

evolución ha transformado el desarrollo de software web y la forma en que interactuamos con la tecnología [5] [6]. Una herramienta usada para representar un diseño de interfaz de usuario lo constituyen los prototipos. Estas son herramientas empleadas para materializar y evaluar diseños de interfaces de usuario (UI) [7].

Algunos tipos comunes de prototipos de UI corresponden al nivel de detalle que ofrecen. Así tenemos prototipos de baja y alta fidelidad. Los primeros son representaciones de UI simples y abstractas, por lo general realizadas a mano o con la ayuda de herramientas de dibujo relativamente simple creadas desde cero. Su propósito principal es capturar la esencia conceptual del modelo y recopilar la retroalimentación temprana sobre su facilidad de uso [8].

Los prototipos de alta fidelidad son similares a la interfaz final, con detalle visual y funcionalidad interactiva. Se usan para validar el diseño y obtener retroalimentación precisa del usuario. Las herramientas permiten exportar a HTML y CSS [9]. Esta función permite tener un recurso inicial que permita transferir el diseño prototipado hacia código que podría ser usado en una etapa temprana de desarrollo de software. Tener un prototipo de alta fidelidad al inicio del desarrollo de software ofrece beneficios al usuario final [10] [11].

Además, este enfoque facilita la detección y corrección de errores o problemas de usabilidad antes de la fase de codificación, lo que ahorra tiempo y recursos a largo plazo. La participación activa de los usuarios en la evaluación del prototipo también contribuye a refinar los requisitos del software, incorporando escenarios y necesidades que podrían no haberse detectado en la etapa inicial de recopilación de información.

Existen trabajos basados en aumentación web como Wamri [12] y Crowdmock [13], donde los usuarios finales definen sus requerimientos utilizando técnicas de aumentación. Estos artefactos son utilizados en el proceso de desarrollo de aplicaciones web tradicionales y en el proceso de desarrollo de artefactos de aumentación.

En este estudio se realiza una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de identificar y analizar los métodos, técnicas y herramientas actuales empleados en el diseño de interfaces de usuario (UI) web y su posterior transferencia a código. La investigación se centra en responder a la pregunta clave: ¿Qué métodos, técnicas y herramientas actuales de diseño de UI web, permiten una transferencia del diseño al código?

A continuación, se expone la metodología empleada, detallando el proceso de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión utilizados y la selección de los artículos relevantes para el análisis.
Posteriormente, se presenta una descripción detallada de los artículos seleccionados, sintetizando los principales hallazgos relacionados con los métodos, técnicas y herramientas actuales para la transferencia de diseño de UI web a código.

Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio, resumiendo los principales aportes y hallazgos relacionados con las metodologías, técnicas y herramientas actuales para la transferencia de diseño de UI web a código. Se discuten las implicaciones prácticas de la investigación, además de proponer trabajos futuros.

## 2. METODOLOGÍA

Para la realización de la revisión sistemática de la literatura, seguimos la metodología propuesta por Kitchenham [14]. Iniciamos definiendo las preguntas de investigación para preparar un protocolo de revisión que se usó como guía para la realización de la revisión y la recopilación de los datos obtenidos de los artículos. Los artículos seleccionados se leyeron completamente.

Finalmente, se sintetizaron los resultados para la presentación del informe. A continuación, se describen las preguntas que orientaron la investigación, la estrategia de búsqueda para la recuperación de artículos y los criterios de selección.

**Preguntas de investigación**

Se estableció como objetivo principal del estudio investigar e identificar los principales métodos, técnicas y herramientas actuales de diseño de interfaces de usuarios. Con base en el objetivo, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

RQ1: ¿Qué métodos existen para la transferencia de diseños de interfaces de usuario en el desarrollo web?
RQ2: ¿Cuáles son las técnicas y herramientas utilizadas para la adaptación de diseños de interfaces de usuario del lado del cliente en el desarrollo web?
RQ3: ¿Qué métodos existen para incorporar patrones de interacción en la recolección de requisitos para el desarrollo de software web?
RQ4: ¿Qué herramientas y tecnologías existen para transferir el diseño y comportamiento de un prototipo de interfaz de usuario web a código HTML/CSS/JS?

**Estrategia de búsqueda**

Se realizaron búsquedas automáticas utilizando las herramientas de búsqueda avanzadas dispuestas sobre las siguientes bases de datos y bibliotecas digitales: Scopus, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect, Web of Science (WoS), ACM Digital Library. También se incorporaron artículos realizando una búsqueda manual con las referencias de los artículos recuperados en la búsqueda automática que tenían coincidencia con el título y el resumen.

Se identificaron términos clave, detallados en la Tabla 1, para establecer cadenas de búsqueda en Scopus y ACM Digital Library. Se incluyeron palabras alternativas para ampliar la búsqueda. Se realizaron dos pruebas piloto para validar los resultados.

Tabla 1: Términos de búsqueda según preguntas de investigación.

| ID | Términos | Términos alternativos | Usado en |
|---|---|---|---|
| T1 | User interface | a) Graphical user interface<br>b) Visual component<br>c) Frontend<br>d) GUI<br>e) UI | RQ1, RQ2, RQ4 |
| T2 | Reusable component | a) Modular component<br>b) Resusable design<br>c) Atomic design<br>d) Reusable elements | RQ4 |
| T3 | Design transfer | a) Design to code<br>b) Code generation<br>c) Code automation | RQ1 |
| T4 | Web development | a) Web based<br>b) Front end development<br>c) Web design<br>d) Web creation<br>e) Web programming | RQ1, RQ2, RQ3, RQ4 |
| T5 | Interaction pattern | a) User interaction pattern<br>b) Design pattern interaction<br>c) Interaction guideline<br>d) Human-computer interaction pattern<br>e) HCI | RQ3 |
| T6 | Requirement gathering | a) Elicitation<br>b) Requirement análisis<br>c) Requirement scoping<br>d) Requirement definition<br>e) Requirement capture | RQ3 |
| T7 | Prototype behavior | a) High Fidelity prototype<br>b) Mockup | RQ4 |
| T8 | Client-side adaptation | a) Client-side personalization<br>b) Cliente-side optimization<br>c) Client-side rendering<br>d) Client-side processing<br>e) Web augmentation<br>f) Web augmented | RQ2 |

**Criterios de selección**

Como criterios de inclusión, se seleccionan artículos que respondan a uno o varias de las preguntas de investigación, de texto completo, que hayan tenido revisión de pares (journals, revistas, conferencias, libros y capítulos de libros) y que hayan sido escritos en idioma inglés. No se aplican filtros por fecha de publicación del artículo para el relevamiento. Además, se escogieron artículos relacionados con el dominio de ciencias de la computación e ingeniería de software con enfoque en el desarrollo de software para ambiente web.

En cuanto a los criterios de exclusión quedaron determinados por aquellos artículos escritos en idioma distinto al inglés, no arbitrados, o que no correspondan a la temática de estudio y no respondan a ninguna pregunta de investigación.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado describe las características clave de los artículos analizados y expone los hallazgos que responden a las preguntas de investigación planteadas.

**Descripción de artículos seleccionados**

En la Fig. 1 se muestra el diagrama PRISMA con los resultados de la estrategia de búsqueda, que recuperó un total de 2347 documentos. Entre ellos, 691 fueron indexados en IEEE, 423 en WoS, 279 en ScienceDirect, 802 en ACM, 136 en SpringerLink y 16 en Scopus. Se identificaron 398 documentos duplicados mediante la comparación de títulos, autores y DOIs. Tras revisar los criterios de inclusión, se descartaron 1830 trabajos.

Se añadieron dos trabajos de forma manual, que se obtuvieron al realizar la revisión de las referencias de los 120 artículos potenciales a través de la herramienta en línea www.connectedpapers.com. La inclusión de [15] se debe a que permite evidenciar la necesidad de cerrar la brecha entre diseñadores y desarrolladores a través de herramientas de prototipado de alta fidelidad. En [16] se sustentan más herramientas de aprendizaje automático que permiten pasar de prototipos manuales a los de alta fidelidad.

Finalmente, se obtuvieron 56 estudios primarios a partir de los cuales se realiza el relevamiento de la investigación.

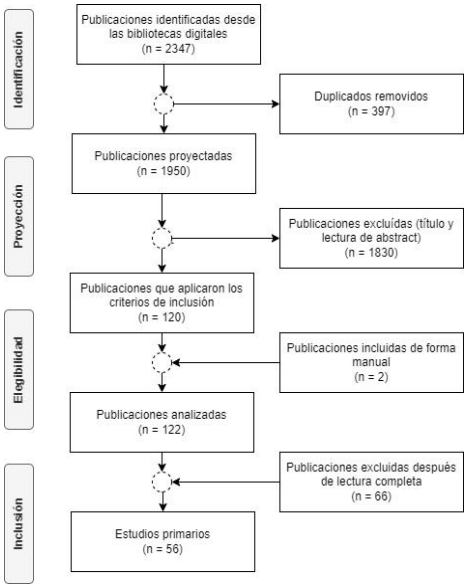



Figura 1: Diagrama PRISMA de la estrategia de búsqueda y criterios de selección.

En la Fig. 2 se establece la demografía de los artículos seleccionados. En esta se evidencia trabajos desde el 2007 hasta el presente año. También se observa que en los últimos cinco años se han venido realizando trabajos mayormente expuestos en Conferencias y journals.

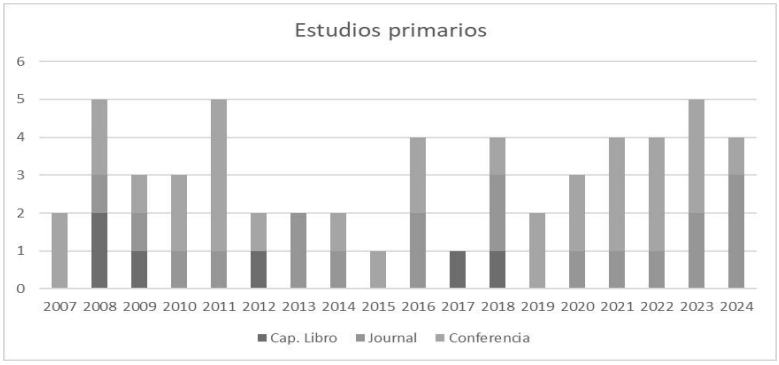



Figura 2: Demografía de los 56 estudios primarios seleccionados en el presente trabajo.

**Validez de los estudios seleccionados**

Con base en la recomendación de Kitchenham se incluye una fase de validación para asegurar la calidad de los estudios primarios seleccionados. Se plantearon tres criterios: 1. Definición o aplicación de métodos relacionados a la transformación de diseño de interfaz de usuario a código, 2. Definición de la motivación del trabajo de investigación, 3. Exposición clara de resultados y trabajos futuros. Se utilizó la escala planteada por Kitchenham [14], esta va de 0 a 3 (0=No; 1=Algo; 2=Casi; 3=Completa), obteniendo un puntaje promedio por cada artículo solicitado. Se evidencia que no todos los artículos seleccionados como primarios cumplen con todos los criterios indicados, sin embargo, al menos 87.5% de los estudios seleccionados cumplen con un puntaje promedio mayor de 2.5 que es un valor indicativo para estudios con bastante buena calidad.

**Transferencia de diseño de interfaces de usuarios web**

La transferencia de diseño de UI hacia código se le denomina a la conversión de una representación visual prototipada hacia código, principalmente HTML y CSS. En la transferencia se procura que el código generado sea el fiel reflejo del diseño del interfaz plasmado en la herramienta de prototipado. Su principal función es la de proveer un insumo inicial que pueda ser usado en las etapas de desarrollo de software. Este recurso al poseer la representación visual definida en etapas previas de levantamiento de requerimientos [17]. La calidad de la transferencia del diseño al código tendrá relación a la fidelidad del prototipo y mientras mayor fidelidad se cuente, más cerca de parecerse al producto final se encuentra, según el proceso de diseño de doble diamante. Existen herramientas especializadas que permiten crear prototipos de alta fidelidad como Adobe XD, InVision, Sketch, o Figma [11].

De acuerdo a la revisión de literatura se pueden determinar los siguientes beneficios de la transferencia de diseño:

Reducción de errores de diseño: al tener código HTML y CSS bien estructurado y que respete el diseño de la interfaz de usuario, puede ayudar a reducir los errores relacionados con la mala aplicación de los estilos. Una correcta aplicación de un diseño especificado en el prototipo debe garantizarse en la etapa de desarrollo [17].

Comunicación entre diseñadores y desarrolladores: la colaboración constituye un factor fundamental al permitir establecer la relación entre la visión creativa de los diseñadores con la especificación funcional de los desarrolladores [7] [11] [15].

Mejora la experiencia de usuario: contar con un diseño funcional validado desde etapas tempranas, puede brindar mayor tiempo para realizar iteraciones que promuevan la introducción de mejoras relacionadas en la experiencia del usuario [18].

Incentiva la participación del usuario final: el tener un prototipo de alta fidelidad y de forma funcional en etapas tempranas puede involucrar la participación del usuario en el proceso de mejoras de la interfaz [10] [11] [19].

**RQ1: Métodos de transferencia de diseño de interfaz de usuario web a código**

En el Anexo 1 se detallan los métodos encontrados que contemplan la transferencia del diseño de interfaces de usuario hacia código. Se permitió determinar que gran parte de las investigaciones (n = 31; 55%) se centran en la aplicación de técnicas como el aprendizaje automático y profundo provistas desde el área de la inteligencia artificial. A partir de la categorización propuesta por [4], se establecen dos categorías para la clasificación de los trabajos estudiados: 1. A partir de mockups creados desde herramientas de diseño, como Figma, Sketch, etc.; 2. A partir de detección de elementos (en papel o captura de imágenes).

Con la revisión de los artículos se puede determinar la presencia de varios métodos donde resaltan aquellos basados en la aplicación de herramientas y técnicas de inteligencia artificial. Estos se concentran en la detección de elementos de interfaz de usuario (diseñados en papel o en imágenes) a través de algoritmos de detección y redes neuronales. Esto posee una limitante ya que la detección correcta está ligada a la calidad del insumo y a la precisión de los algoritmos de detección [1] [15].

Apoyados en la inteligencia artificial existen métodos enfocados en la generación automática de código para elementos específicos de la interfaz (íconos, etiquetas, botones, entre otros [61] [62] [52]) que también pueden lograr a realizar una composición para hacer algo más complejo (inserción de varios de estos componentes a la vez) pero carecen de la posibilidad de reusar código, ya que la generación se hace acotada al contenedor de elementos.

En [65] se discute la necesidad de tener un enfoque orientado a la transformación del diseño de interfaces de usuario hacia código que pueda ser usado directamente en el desarrollo de las aplicaciones. Se propone un método denominado GUIRA que se basa en diseños creados en herramientas como Figma, Sketch, AdobeXD, que se utilizan como insumos que atraviesan por una etapa de Agregación, donde se seleccionan los elementos de la interfaz a pasar para finalmente entregarlos a otra etapa denominada Generador, que es donde finalmente se genera el código con posibilidad de dirigirlo hacia frameworks específicos de JavaScript y TypeScript. Las ventajas incluyen una mayor eficiencia en el tiempo de desarrollo y la capacidad de mantener una alta calidad de código comparable al enfoque tradicional. Una desventaja mencionada es que, aunque el enfoque tradicional puede ofrecer una calidad de código ligeramente superior, la diferencia no es estadísticamente significativa.

**RQ2: Técnicas y herramientas para la adaptación de diseños de interfaces de usuario del lado del cliente**

La adaptación de diseño de interfaces de usuario se define como el mecanismo para modificar y ajustar un diseño de interfaces existente para que funcione en diferentes contextos o dispositivos. Con base en la revisión de literatura se pudo identificar dos técnicas principales para realizar la adaptación del diseño de interfaces de usuario. Estas son: Diseño responsivo (n = 4; 7%) y Aumentación web (n = 8; 14%).

Diseño responsivo: se denomina a la adaptación de páginas HTML utilizando reglas, llamadas media queries, de hojas de estilos (CSS) con base en las dimensiones de la pantalla, adapta su contenido pudiendo dar una variante muy diferente al diseño original. Esta técnica involucra la necesidad de tener un diseño original (generalmente en dimensiones de pantallas de computadoras de escritorio) para poder extenderse. Estas se caracterizan por seguir el enfoque WCAG 2.2 y WAI-ARIA [71] [72].

Aumentación web: se conoce como la extensión de un sitio web existente en uno nuevo sin necesidad de modificarlo. Superpone contenido, diseño o navegación en las páginas web existentes para personalizar la experiencia del usuario [48]. Por ser una técnica del lado del cliente se apoya en tecnologías como JavaScript y extensiones del navegador. Existen trabajos que han extendido esta técnica con la incorporación de métodos y metodologías que la involucran desde etapas tempranas del desarrollo como herramientas para para definir y evolucionar requisitos de aumento web y enfoques dirigido por modelos que maneja el soporte tanto del lado del cliente como del servidor [13] [54].

**RQ3: Métodos para incorporación de patrones de interacción en la recolección de requisitos**

Se encontraron nueve artículos (n = 9; 16%) que hacen mención a la pregunta de investigación. Se determina que existen herramientas como WebSpec que es un lenguaje visual específico de dominio para especificar requisitos de navegación, interacción y UI en aplicaciones web. Facilita la validación automática de requisitos, la simulación de interfaces de usuario y la gestión de cambios [33].

La Arquitectura Dirigida por Modelos (MDA) permite la separación de preocupaciones y el uso de estándares como UML [25]. Existen herramientas como UWE que incorpora factores humanos en el diseño de aplicaciones de software para mejorar la experiencia del usuario. También se proponen el "Modelo de Prototipo Intensivo" para identificar y analizar estos factores [19].

La generación automática de interfaces de usuario (UI) es un área de investigación activa que busca cumplir con los estándares de HCI y asegurar la consistencia de los artefactos a lo largo del SDLC. Quid es una herramienta de modelado web que utiliza un lenguaje específico de dominio (DSL) y un editor WYSIWYG para prototipar componentes web. También se propone el método TRAIN para desarrollar interfaces de usuario de aplicaciones de RIAs de manera estandarizada [31].

**RQ4: Herramientas para transferir diseño y comportamiento de un prototipo de interfaz de usuario**

Con base en la revisión de los trabajos seleccionados, no se evidencian trabajos que involucren la incorporación de patrones de interacción de usuario (comportamiento) como parte de la transformación de diseño a código. Sin embargo, existen trabajos que incorporan patrones de interacción en la etapa del modelado de la aplicación utilizando UML [25] [37] [47]. En estos trabajos, se menciona la importancia de incorporar no solo la abstracción de detalles visuales y técnicos, sino también de los eventos de usuario provocando que se obtenga un entregable más completo y funcional desde etapas tempranas.

## 4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La presente revisión sistemática ha permitido determinar que existen diversidad de métodos y herramientas para facilitar la transferencia de diseño, desde herramientas de prototipado tradicionales hasta soluciones basadas en inteligencia artificial y aprendizaje automático. Esto permite determinar dos principales frentes para la transferencia de diseño: la basada en detección de elementos de interfaz de usuario y aquella basada en mockups transferidos a código. Si bien existen trabajos enfocados en la detección de elementos, estos dependen de una correcta definición del insumo utilizado, así como del algoritmo de detección aplicado.

Se necesitan más métodos y herramientas que puedan automatizar tareas complejas en la transferencia de diseño basados en mockups, reduciendo el tiempo y esfuerzo manual requeridos. La transferencia de diseño desde mockups brinda potenciales beneficios como la reducción de errores al contar con una representación visual detallada del diseño final, se minimiza el riesgo de errores en la implementación, optimizando la calidad del código y reduciendo los tiempos de corrección. En la revisión también se aclara la importación de establecer mejoras en el proceso de comunicación entre los diseñadores y los desarrolladores.

La comunicación efectiva entre ambas partes es esencial para asegurar la traducción precisa de la visión creativa del diseño en código funcional, evitando malentendidos y discrepancias. La transferencia de

diseño también potencia la mejora de la experiencia del usuario al permitir validar y refinar la interfaz de usuario en etapas tempranas del desarrollo, garantizando una experiencia de usuario fluida, intuitiva y satisfactoria.

Finalmente, con base en la revisión de artículos relacionados a la pregunta de investigación RQ4 se logra identificar la necesidad de incorporar patrones de interacción para que la transferencia de diseño no solo deba limitarse a la conversión de elementos visuales, sino que incluya la integración de patrones de interacción que definan el comportamiento de la interfaz de usuario. Esto permite crear interfaces más usables y que respondan a las expectativas del usuario.

**REFERENCIAS**

1. N. A. Shamat, S. Sulaiman, y J. S. Sinpang, «A systematic literature review on user interface design for web applications», *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, vol. 9, n.º 3-4, pp. 57-61, 2017.
2. H. Cao y Y. Gao, «Research and implementation of using AJAX technology to improve the user experience», en *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, IEEE, 2011, pp. 2539-2542.
3. Z. Lin, J. Wu, Q. Zhang, y H. Zhou, «Research on web applications using ajax new technologies», en *2008 International Conference on MultiMedia and Information Technology*, IEEE, 2008, pp. 139-142.
4. T. Kaluarachchi y M. Wickramasinghe, «A systematic literature review on automatic website generation», *Journal of Computer Languages*, vol. 75, p. 101202, jun. 2023, doi: 10.1016/j.cola.2023.101202.
5. C. Crumlish y E. Malone, *Designing social interfaces: Principles, patterns, and practices for improving the user experience*. O'Reilly Media, Inc., 2009.
6. B. Scott y T. Neil, *Designing web interfaces: Principles and patterns for rich interactions*. O'Reilly Media, Inc., 2009.
7. E. Salinas, R. Cueva, y F. Paz, «A systematic review of user-centered design techniques», en *Design, User Experience, and Usability. Interaction Design: 9th International Conference, DUXU 2020, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part I 22*, Springer, 2020, pp. 253-267.
8. B. Suranto, «Software prototypes: Enhancing the quality of requirements engineering process», en *2015 International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET)*, IEEE, 2015, pp. 148-153.
9. F. Staiano, *Designing and Prototyping Interfaces with Figma: Learn essential UX/UI design principles by creating interactive prototypes for mobile, tablet, and desktop*. Packt Publishing Ltd, 2022.
10. I. Rodríguez-Calero, S. R. Daly, G. Burleson, y K. H. Sienko, «Prototyping strategies to engage stakeholders during early stages of design: a study across three design domains», *Journal of Mechanical Design*, vol. 145, n.º 4, p. 041413, 2023.
11. K. K. Feng, T. W. Li, y A. X. Zhang, «Understanding collaborative practices and tools of professional UX practitioners in software organizations», en *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2023, pp. 1-20.
12. L. G. Marticorena, L. A. Morales, L. Antonelli, G. Rossi, y D. Firmenich, «Development iterations based on web augmentation and context tasks», *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, n.º 8, pp. 11793-11817, 2023.
13. D. Firmenich, S. Firmenich, J. Rivero, L. Antonelli, y G. Rossi, «CrowdMock: an approach for defining and evolving web augmentation requirements», *REQUIREMENTS ENGINEERING*, vol. 23, n.º 1, pp. 33-61, mar. 2018, doi: 10.1007/s00766-016-0257-3.
14. B. Kitchenham, «Procedures for performing systematic reviews», *Keele, UK, Keele University*, vol. 33, n.º 2004, pp. 1-26, 2004.
15. M. Bexiga, S. Garbatov, y J. C. Seco, «Closing the gap between designers and developers in a low code ecosystem», en *Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings*, 2020, pp. 1-10.

16. D. de Souza Baulé, C. G. von Wangenheim, A. von Wangenheim, y J. C. Hauck, «Recent Progress in Automated Code Generation from GUI Images Using Machine Learning Techniques.», *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 26, n.º 9, pp. 1095-1127, 2020.
17. M. Bochicchio y R. Paiano, «Prototyping web applications», en *Proceedings of the 2000 ACM symposium on Applied computing-Volume 2*, 2000, pp. 978-983.
18. E. Jongmans, F. Jeannot, L. Liang, y M. Dampérat, «Impact of website visual design on user experience and website evaluation: the sequential mediating roles of usability and pleasure», *Journal of Marketing Management*, vol. 38, n.º 17-18, pp. 2078-2113, 2022.
19. S. Abduljalil y D. -K. Kang, «Analysis of human factors in software application design for effective user experience», en *13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011)*, feb. 2011, pp. 1446-1451.
20. X. Lu, J. Wan, y J. Hou, «A Model Based Heuristic Design of Web User Interface», en *2007 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration*, ago. 2007, pp. 6-11. doi: 10.1109/IRI.2007.4296589.
21. M. Anastassova, C. Mégard, y J.-M. Burkhardt, «Prototype evaluation and user-needs analysis in the early design of emerging technologies», en *Human-Computer Interaction. Interaction Design and Usability: 12th International Conference, HCI International 2007, Beijing, China, July 22-27, 2007, Proceedings, Part I 12*, Springer, 2007, pp. 383-392.
22. A. G. Cuesta, J. C. Granja, y R. V. O'Connor, «A Model Driven Architecture Approach to Web Development», en *Software and Data Technologies*, vol. 22, J. Filipe, B. Shishkov, M. Helfert, y L. A. Maciaszek, Eds., en Communications in Computer and Information Science, vol. 22. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 101-113. doi: 10.1007/978-3-540-88655-6_8.
23. P. Dolog, «Designing Adaptive Web Applications», en *SOFSEM 2008: Theory and Practice of Computer Science*, vol. 4910, V. Geffert, J. Karhumäki, A. Bertoni, B. Preneel, P. Návrat, y M. Bieliková, Eds., en Lecture Notes in Computer Science, vol. 4910. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 23-33. doi: 10.1007/978-3-540-77566-9_3.
24. S. Lukosch y M. Bourimi, «TOWARDS AN ENHANCED ADAPTABILITY AND USABILITY OF WEB-BASED COLLABORATIVE SYSTEMS», *INTERNATIONAL JOURNAL OF COOPERATIVE INFORMATION SYSTEMS*, vol. 17, n.º 4, pp. 467-494, dic. 2008, doi: 10.1142/S0218843008001944.
25. R. A. C. de Souza y R. S. M. de Barros, «A Model-Driven Method for the Development of Web Applications User Interaction Layer», en *2008 2nd IFIP/IEEE International Symposium on Theoretical Aspects of Software Engineering*, jun. 2008, pp. 91-98. doi: 10.1109/TASE.2008.11.
26. T. Memmel, H. Ziegler, R. Oed, y H. Reiterer, «User interface specification in complex web-based information spaces», en *Proceedings of the Third IASTED International Conference on Human Computer Interaction*, en HCI '08. USA: ACTA Press, feb. 2008, pp. 180-185.
27. G.-J. Houben, N. Koch, y A. Vallecillo, «Model-Driven Web Engineering (MDWE 2008)», en *Models in Software Engineering*, vol. 5421, M. R. V. Chaudron, Ed., en Lecture Notes in Computer Science, vol. 5421. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 151-152. doi: 10.1007/978-3-642-01648-6_16.
28. J. Ginzburg, D. Distante, G. Rossi, y M. Urbieta, «OBLIVIOUS INTEGRATION OF VOLATILE FUNCTIONALITY IN WEB APPLICATION INTERFACES», *JOURNAL OF WEB ENGINEERING*, vol. 8, n.º 1, pp. 25-47, mar. 2009.
29. M. Linaje, J. C. Preciado, R. Morales-Chaparro, R. Rodríguez-Echeverría, y F. Sánchez-Figueroa, «Automatic generation of rias using rux-tool and webratio», en *Web Engineering: 9th International Conference, ICWE 2009 San Sebastián, Spain, June 24-26, 2009 Proceedings 9*, Springer, 2009, pp. 501-504.
30. P. Fraternali, S. Comai, A. Bozzon, y G. Carughi, «Engineering Rich Internet Applications with a Model-Driven Approach», *ACM TRANSACTIONS ON THE WEB*, vol. 4, n.º 2, abr. 2010, doi: 10.1145/1734200.1734204.
31. F. J. Martínez-Ruiz, «The triad-based design of rich user interfaces for internet applications», en *Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems*, en EICS '10. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, jun. 2010, pp. 345-348. doi: 10.1145/1822018.1822077.
32. J. M. Rivero, G. Rossi, J. Grigera, J. Burella, E. R. Luna, y S. Gordillo, «From mockups to user interface models: an extensible model driven approach», en *Current Trends in Web Engineering:*

*10th International Conference on Web Engineering ICWE 2010 Workshops, Vienna, Austria, July 2010, Revised Selected Papers 10*, Springer, 2010, pp. 13-24.

33. E. Robles Luna, G. Rossi, y I. Garrigós, «WebSpec: a visual language for specifying interaction and navigation requirements in web applications», *Requirements Eng*, vol. 16, n.º 4, pp. 297-321, nov. 2011, doi: 10.1007/s00766-011-0124-1.
34. J. d. Monte-Mor, E. O. Ferreira, H. F. Campos, A. M. da Cunha, y L. A. V. Dias, «Applying MDA Approach to Create Graphical User Interfaces», en *2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations*, abr. 2011, pp. 766-771. doi: 10.1109/ITNG.2011.206.
35. F. Kruger, C. Winkelholz, y C. M. Schlick, «System for a model based analysis of user interaction patterns within web-applications», en *2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, oct. 2011, pp. 1274-1279. doi: 10.1109/ICSMC.2011.6083835.
36. S. Firmenich, G. Rossi, S. Gordillo, y M. Winckler, «A flexible architecture for client-side adaptation», en *International Conference on Web Engineering*, Springer, 2011, pp. 327-331.
37. N. Koch y S. Kozuruba, «Requirements Models as First Class Entities in Model-Driven Web Engineering», en *Current Trends in Web Engineering*, vol. 7703, M. Grossniklaus y M. Wimmer, Eds., en Lecture Notes in Computer Science, vol. 7703. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 158-169. doi: 10.1007/978-3-642-35623-0_16.
38. O. Díaz, J. De Sosa, C. Arellano, y S. Trujillo, «Web-Based tool integration: a web augmentation approach», en *International Conference on Web Engineering*, Springer, 2012, pp. 431-434.
39. L. Rivero y T. Conte, «Using an empirical study to evaluate the feasibility of a new usability inspection technique for paper based prototypes of web applications», *J Softw Eng Res Dev*, vol. 1, n.º 1, p. 2, dic. 2013, doi: 10.1186/2195-1721-1-2.
40. L. Colombo-Mendoza, G. Alor-Hernández, A. Rodríguez-González, y R. Colomo-Palacios, «ALEXANDRIA: A VISUAL TOOL FOR GENERATING MULTI-DEVICE RICH INTERNET APPLICATIONS», *JOURNAL OF WEB ENGINEERING*, vol. 12, n.º 3-4, pp. 317-359, jul. 2013.
41. J. M. Rivero, J. Grigera, G. Rossi, E. Robles Luna, F. Montero, y M. Gaedke, «Mockup-Driven Development: Providing agile support for Model-Driven Web Engineering», *Information and Software Technology*, vol. 56, n.º 6, pp. 670-687, jun. 2014, doi: 10.1016/j.infsof.2014.01.011.
42. D. Firmenich, S. Firmenich, J. M. Rivero, y L. Antonelli, «A platform for web augmentation requirements specification», en *Web Engineering: 14th International Conference, ICWE 2014, Toulouse, France, July 1-4, 2014. Proceedings 14*, Springer, 2014, pp. 1-20.
43. M. Brambilla, «Modeling and execution of software user interfaces», en *2015 3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)*, feb. 2015, p. IS-9.
44. J. Hermida, et al., «XANUI: A TEXTUAL PLATFORM-INDEPENDENT MODEL FOR RICH USER INTERFACES», *JOURNAL OF WEB ENGINEERING*, vol. 15, n.º 1-2, pp. 45-83, mar. 2016.
45. F. P. Basso, R. M. Pillat, T. C. Oliveira, F. Roos-Frantz, y R. Z. Frantz, «Automated design of multi-layered web information systems», *Journal of Systems and Software*, vol. 117, pp. 612-637, jul. 2016, doi: 10.1016/j.jss.2016.04.060.
46. S. Roubi, M. Erramdani, y S. Mbarki, «Modeling and generating graphical user interface for MVC Rich Internet Application using a model driven approach», en *2016 International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD)*, abr. 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/IT4OD.2016.7479249.
47. S. Roubi, et al. «Extending graphical part of the Interaction Flow Modeling Language to Generate Rich Internet Graphical User Interfaces», en *2016 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)*, feb. 2016, pp. 161-167.
48. I. Aldalur, et al., «Web Augmentation as a Promising Technology for End User Development», en *New Perspectives in End-User Development*, F. Paternò y V. Wulf, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 433-459. doi: 10.1007/978-3-319-60291-2_17.
49. J. M. Rivero *et al.*, «Improving Legacy Applications with Client-Side Augmentations», en *Web Engineering*, vol. 10845, T. Mikkonen, R. Klamma, y J. Hernández, Eds., en Lecture Notes in Computer Science, vol. 10845. , Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 162-176. doi: 10.1007/978-3-319-91662-0_12.
50. C. D'Souza, V. Deufemia, A. Ginige, y G. Polese, «Enabling the generation of web applications from mockups», *Software: Practice and Experience*, vol. 48, n.º 4, pp. 945-973, 2018.

51. A. Tarasiev, M. Filippova, K. Aksyonov, y O. Aksyonova, «Developing Prototype of CASE-Tool to Create Automation Systems Based on Web Applications Using Code Generation», en *2018 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, nov. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/Dynamics.2018.8601443.
52. B. Aşıroğlu *et al.*, «Automatic HTML Code Generation from Mock-Up Images Using Machine Learning Techniques», en *2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT)*, abr. 2019, pp. 1-4. doi: 10.1109/EBBT.2019.8741736.
53. P. J. Molina, «Quid: prototyping web components on the web», en *Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, en EICS '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, jun. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1145/3319499.3330294.
54. M. Urbieta, S. Firmenich, G. Bosetti, P. Maglione, G. Rossi, y M. A. Olivero, «MDWA: a model-driven Web augmentation approach—coping with client- and server-side support», *Softw Syst Model*, vol. 19, n.º 6, pp. 1541-1566, nov. 2020, doi: 10.1007/s10270-020-00779-5.
55. M. Xie, S. Feng, Z. Xing, J. Chen, y C. Chen, «UIED: a hybrid tool for GUI element detection», en *Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, en ESEC/FSE 2020. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, nov. 2020, pp. 1655-1659. doi: 10.1145/3368089.3417940.
56. Y. Xu, L. Bo, X. Sun, B. Li, J. Jiang, y W. Zhou, «image2emmet: Automatic code generation from web user interface image», *JOURNAL OF SOFTWARE-EVOLUTION AND PROCESS*, vol. 33, n.º 8, ago. 2021, doi: 10.1002/smr.2369.
57. J. Pacheco, S. Garbatov, y M. Goulão, «Improving Collaboration Efficiency Between UX/UI Designers and Developers in a Low-Code Platform», en *2021 ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems Companion (MODELS-C)*, oct. 2021, pp. 138-147. doi: 10.1109/MODELS-C53483.2021.00025.
58. C. Machado y J. C. Campos, «Towards the integration of user interface prototyping and model-based development», en *2021 International Conference on Graphics and Interaction (ICGI)*, nov. 2021, pp. 1-8. doi: 10.1109/ICGI54032.2021.9655284.
59. S. Reyal *et al.*, «An Investigation into UI generation compliant with HCI standards ensuring artifact consistency across SDLC», en *2021 21st International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICter)*, dic. 2021, pp. 93-98. doi: 10.1109/ICter53630.2021.9774787.
60. D. Firmenich, S. Firmenich, G. Rossi, M. Wimmer, I. Garrigós, y C. Gonzalez-Mora, «Engineering Web Augmentation software: A development method for enabling end-user maintenance», *INFORMATION AND SOFTWARE TECHNOLOGY*, vol. 141, ene. 2022, doi: 10.1016/j.infsof.2021.106735.
61. B. Aşiroğlu *et al.*, «A Deep Learning Based Object Detection System for User Interface Code Generation», en *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, jun. 2022, pp. 1-5. doi: 10.1109/HORA55278.2022.9799941.
62. D. Yashaswini, Sneha, y N. Kumar, «HTML Code Generation from Website Images and Sketches using Deep Learning-Based Encoder-Decoder Model», en *2022 IEEE 4th International Conference on Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications (ICCCMLA)*, oct. 2022, pp. 133-138. doi: 10.1109/ICCCMLA56841.2022.9989298.
63. Y. Wang, L. Luo, y H. Liu, «Bridging the Semantic Gap Between Customer Needs and Design Specifications Using User-Generated Content», *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 69, n.º 4, pp. 1622-1634, ago. 2022, doi: 10.1109/TEM.2020.3021698.
64. M. Arefin, K. M. Hossen, y R. Khan, «pic2code: Generating HTML Code from Handwritten Picture», en *2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, dic. 2023, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICCIT60459.2023.10441098.
65. G. E. Raptis y C. Katsini, «Transforming Ideas into Code: A Novel Approach to Design-to-Development Workflow», en *2023 International Conference on Computer and Applications (ICCA)*, nov. 2023, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICCA59364.2023.10401412.
66. A. S. Chapai y E. J. Rapos, «SkeMo: Sketch Modeling for Real-Time Model Component Generation», en *2023 ACM/IEEE 26th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)*, oct. 2023, pp. 173-183. doi: 10.1109/MODELS58315.2023.00038.

67. T. Kaluarachchi y M. Wickramasinghe, «WebDraw: A machine learning-driven tool for automatic website prototyping», *SCIENCE OF COMPUTER PROGRAMMING*, vol. 233, mar. 2024, doi: 10.1016/j.scico.2023.103056.
68. I. Aldalur, «Web Augmentation: A systematic mapping study», *Science of Computer Programming*, vol. 232, p. 103045, ene. 2024, doi: 10.1016/j.scico.2023.103045.
69. M. Samir, A. Elsayed, y M. I. Marie, «A Model for Automatic Code Generation from High Fidelity Graphical User Interface Mockups using Deep Learning Techniques», *Intl. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, n.º 3, pp. 677-691, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150369.
70. S. R, S. P. K. R, V. R. S, V. W, y L. Srinivasan, «STC (Sketch To Code)-An Enhanced Html & CSS Autocode Generator from Handwritten Text and Image Using Deep Learning», en *2024 2nd International Conference on Networking and Communications (ICNWC)*, abr. 2024, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICNWC60771.2024.10537336.
71. G. Xu, S. Wang, Y. Hu, y X. Shen, «A Multilayer Component Pane 3D Layout Frame Design for Responsive Websites», en *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, oct. 2023, pp. 474-478. doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct60411.2023.00103.
72. S. Wongsalam y T. Senivongse, «Visual Design and Code Generation of User Interface Based on Responsive Web Design Approach», en *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business*, en ICSEB '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, ene. 2020, pp. 51-59. doi: 10.1145/3374549.3374560.

**Sobre los autores**

Jonathan Stalin Delgado Guerrero, estudiante del Doctorado de Ciencias Informáticas de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Es también becario por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador.

Dr. Leandro Antonelli, con grado de Doctor en Ciencias Informáticas por la Universidad Nacional de La Plata. Profesor en materias de grado y postgrado en la Universidad Nacional de La Plata. También es docente de postgrado en la Universidad Abierta Interamericana, como así también profesor visitante de otras Universidades del país (Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Universidad Nacional de Rio Negro, Universidad Nacional de San Juan y Universidad Nacional de Cuyo).

El Dr. Firmenich Diego, obtuvo su doctorado en Ciencias Informáticas en la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Es Profesor Investigador de dedicación exclusiva, en el Departamento de Informática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia, Argentina.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# REFACTORIZACIÓN DEL SOFTWARE CUBANO PARA ANALIZAR RESISTENCIA ANTIMICROBIANA

**Aramays Aimet Morales Durán[1], Wenny Hojas-Mazo[2], Nardo Ramírez Frometa [1]**

[1]Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), Avenida 25, Esquina 21-A, No. 15202, Cubanacán, Playa, La Habana 11600, Cuba; {aramays.morales, nardo.ramirez}@cnic.cu
[2]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Calle 114 #11901, entre 119 y 127, CUJAE, Marianao, La Habana 19390, Cuba; whojas@ceis.cujae.edu.cu;

## RESUMEN

La resistencia a los antibióticos es uno de los mayores retos para la salud pública en el siglo XXI, ya que compromete la efectividad de los tratamientos y aumenta la mortalidad. Para combatir este desafío, es esencial un seguimiento riguroso de la resistencia antimicrobiana en las instituciones de salud. En Cuba, se desarrolló el software Mapa Microbiológico con el objetivo de centralizar y analizar los resultados de los antibiogramas, proporcionando estadísticas sobre la resistencia antimicrobiana. Sin embargo, la implementación inicial del software presentaba varios problemas: carecía de una estructura bien definida, la base de datos no estaba normalizada, existía redundancia y duplicación de información, se emplearon malas prácticas en el diseño de los componentes y la interfaz de usuario resultaba poco intuitiva. Estas deficiencias afectaban la escalabilidad, el rendimiento y la usabilidad del sistema. Este trabajo propone una refactorización completa del software, basada en una nueva arquitectura en capas, enfocada en la responsabilidad y la reutilización de componentes, además de la normalización de la base de datos a la tercera forma normal. También se rediseñó la interfaz gráfica, adoptando un enfoque moderno y accesible. La evaluación de la nueva versión del software incluyó pruebas funcionales, de rendimiento y de usabilidad, además de su despliegue en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Los resultados mostraron una mejora en el rendimiento y un incremento del 19.5% en la satisfacción de los usuarios. El despliegue final del software proporcionó información valiosa para la toma de decisiones en los servicios de atención médica.

**PALABRAS CLAVES:** resistencia antimicrobiana, antibiogramas, análisis estadístico, toma de decisiones, refactorización de software.

## REFACTORIZATION OF CUBAN SOFTWARE TO ANALYSE ANTIMICROBIAL RESISTANCE

## ABSTRACT

Antibiotic resistance is one of the greatest challenges to public health in the 21st century, compromising treatment effectiveness and increasing mortality rates. To address this challenge, rigorous monitoring of antimicrobial resistance in healthcare institutions is essential. In Cuba, the Mapa Microbiológico software was developed to centralize and analyze antibiogram results, providing statistics on antimicrobial resistance. However, the initial implementation of the software faced several issues: it lacked a well-defined structure, the database was not normalized, there was data redundancy and duplication, poor practices were used in component design, and the user interface was not intuitive. These shortcomings negatively affected the system's scalability, performance, and usability. This paper proposes a complete refactor of the software, including a new layered architecture focused on responsibility and component reuse, and database normalization to the third normal form. The user interface was also redesigned, adopting a modern and accessible approach. The evaluation of the new software version included functional, performance, and usability tests, as well as its deployment at the Centro Nacional de Investigaciones Científicas. The results showed improved performance and a 19.5% increase in user satisfaction. The final deployment provided valuable information for decision-making in healthcare services.

**KEY WORDS:** antimicrobial resistance, antibiograms, statistical analysis, decision-making, software refactoring.

## 1. INTRODUCCIÓN

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) ocurre cuando microorganismos como bacterias, virus, hongos y parásitos logran adaptarse y proliferar en presencia de medicamentos que antes los controlaban [1]. Esta resistencia representa una amenaza grave para los sistemas de salud pública a nivel global, afectando tanto a países desarrollados como en desarrollo [2]. La incapacidad de tratar enfermedades infecciosas con antibióticos plantea un desafío crítico para la atención médica [2]. La falta de conocimiento sobre el comportamiento de la RAM resulta en infecciones graves, hospitalizaciones prolongadas, mayores costos de atención, medicamentos de segunda línea más caros y fracasos terapéuticos [3]. Según el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC), más de 2,8 millones de infecciones resistentes a antimicrobianos ocurren anualmente en ese país, causando más de 35,000 muertes [4].

Para enfrentar esta problemática, es esencial un monitoreo riguroso de la resistencia antimicrobiana en las instituciones de salud. El antibiograma, que muestra el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de bacterias aisladas en un entorno clínico, es una herramienta crítica [5]. Con él, los profesionales de la salud pueden evaluar la efectividad de diferentes antimicrobianos y ajustar sus tratamientos de manera oportuna [6].

No obstante, interpretar los datos de los antibiogramas y detectar patrones de resistencia no es sencillo [6]. Aunque capacitados, los equipos médicos enfrentan dificultades al manejar grandes volúmenes de datos y al identificar tendencias que varían entre instituciones. Esta complejidad se agrava por la naturaleza dinámica de la resistencia bacteriana, que evoluciona rápidamente ante el uso de antimicrobianos [5].

En este contexto, el uso de software especializado aparece como una solución prometedora. Un sistema automatizado capaz de procesar y analizar datos de antibiogramas no solo facilitaría la detección de patrones de resistencia, sino que proporcionaría información clave para la toma de decisiones tanto en la industria farmacéutica como en los servicios de salud [7].

La rápida identificación de tendencias emergentes en la resistencia bacteriana permitiría a los médicos ajustar sus prescripciones de forma más eficiente, mejorando los resultados clínicos y limitando la propagación de bacterias resistentes en las instituciones de salud cubanas [1, 8]. Con este objetivo se desarrolló el software Mapa Microbiológico, diseñado para centralizar y analizar los resultados de los antibiogramas generados por los laboratorios en Cuba. Su propósito es ofrecer datos estadísticos críticos sobre el comportamiento de la resistencia antimicrobiana en el país. Sin embargo, la versión inicial del software presentó varias limitaciones que afectaron su eficacia.

Entre los principales problemas identificados en el Mapa Microbiológico se encuentra un servidor mal estructurado, lo que dificulta su escalabilidad y mantenimiento; una base de datos incorrectamente normalizada, con redundancia y duplicación de información; y una interfaz gráfica mal diseñada, que, debido a malas prácticas en el desarrollo de componentes, era compleja y poco intuitiva, afectando la comprensión de los análisis estadísticos. Estas deficiencias impactaron negativamente en la escalabilidad, rendimiento, usabilidad y mantenimiento del software.

Este trabajo propone una nueva versión del software Mapa Microbiológico, basada en un proceso de refactorización. Las mejoras incluyen una nueva arquitectura en capas, centrada en la responsabilidad y reutilización, la normalización de la base de datos a la tercera forma normal, y el rediseño de la interfaz gráfica para una mayor usabilidad.

El resto del artículo se estructura como sigue: la sección 2 presenta la metodología que se utilizó para el desarrollo de la nueva versión del software Mapa Microbiológico; la sección 3 se presentación los resultados de las evaluaciones realizadas; en la sección 4 se analiza los resultados de la evaluación; y la sección 4 presenta las principales conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## 2. METODOLOGÍA

**Software “Mapa Microbiológico”**

El software "Mapa Microbiológico" es una aplicación web desarrollada para analizar la resistencia antimicrobiana en instituciones de salud cubanas, facilitando la toma de decisiones en los sectores farmacéutico y sanitario. Sus funcionalidades incluyen la gestión de casos, generación de informes sobre microorganismos (microorganismos circulantes, frecuencia de microorganismos y gérmenes aislados por tipo de muestra), análisis de susceptibilidad y reportes históricos de resistencia a antibióticos.

La aplicación tiene una arquitectura de tres capas. La capa de presentación fue desarrollada con ReactJs, una librería de JavaScript que permite crear interfaces de usuario a partir de componentes reutilizables [9]. Sin embargo, todos los componentes de la interfaz se encontraban en el mismo nivel, sin considerar su responsabilidad o capacidad de reutilización. Esto puede dificultar el mantenimiento y escalabilidad del sistema. Además, las llamadas al servidor se realizaban directamente desde los componentes, lo que generaba duplicación de código y operaciones innecesarias, afectando negativamente el rendimiento del software [10].

La experiencia de usuario también era problemática. La interfaz sobrecargada de elementos e información dificultaba la interacción, y la falta de retroalimentación clara (como mensajes de confirmación o de error) generaba confusión e inseguridad entre los usuarios.

En la capa del servidor, el sistema estaba basado en el framework Django, que permite desarrollar proyectos con aplicaciones modulares [11]. Sin embargo, "Mapa Microbiológico" solo utilizaba una aplicación centralizada que gestionaba toda la lógica del negocio, vistas, modelos y controladores. Esta falta de modularidad y desacoplamiento afectaba negativamente la legibilidad del código, el rendimiento y la escalabilidad.

La base de datos PostgreSQL utilizada en la capa de persistencia estaba normalizada solo hasta la segunda forma normal (2FN), lo que provocaba redundancia y duplicación de información. No abordaba dependencias parciales ni transitivas, lo que podía generar inconsistencias y problemas de actualización de datos.

El análisis del software "Mapa Microbiológico" revela deficiencias importantes en cada capa del sistema. La falta de modularidad en la arquitectura, la duplicación de código en la interfaz y el servidor, junto con una base de datos insuficientemente normalizada, afectan el rendimiento, la escalabilidad y la experiencia de usuario. Estas limitaciones hacen necesaria una refactorización integral del software, con un enfoque en la mejora de la modularidad, optimización del código y normalización adecuada de la base de datos.

**Nueva versión del software Mapa Microbiológico**

En esta sección se propone una nueva arquitectura para el software Mapa Microbiológico, diseñada para respaldar el análisis de la resistencia antimicrobiana en instituciones de salud cubanas. El enfoque está altamente personalizado y adaptado a las necesidades específicas de cada usuario e institución. La **Fig. 1** ilustra la arquitectura sugerida, que se basa en servicios web.

La arquitectura consta de un conjunto de modelos y servicios que proporcionan soporte tecnológico y metodológico a la estrategia de asistencia. Esto permite la creación ágil y eficiente de servicios que mejoren el análisis de la resistencia antimicrobiana en las instituciones de salud de Cuba. El esquema propuesto sigue un enfoque de capas. El objetivo es equilibrar el número de servicios formulados para que sean funcionalmente independientes, pero sin crear una estructura excesivamente fragmentada que complique el mantenimiento a futuro. La arquitectura sigue el estilo de N-capas, organizando sus elementos en niveles y capas [12]. Cada elemento se define como un servicio y sigue un patrón basado en arquitecturas orientadas a servicios (SOA) [12].

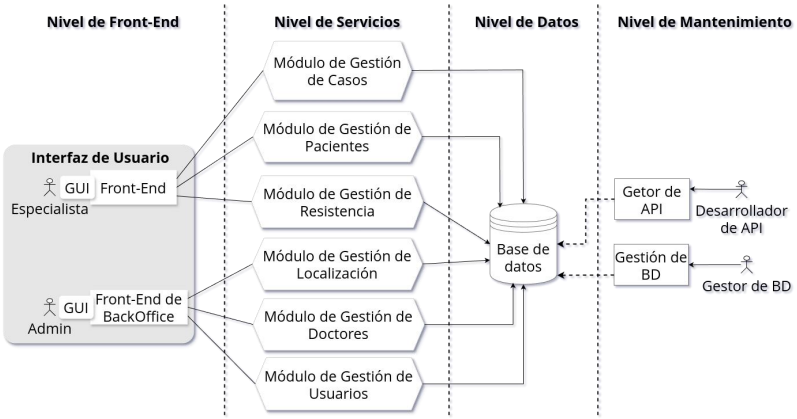



**Figura 1: Arquitectura de la nueva versión del Mapa Microbiológico**

Este enfoque arquitectónico tiene un impacto significativo en la prestación de servicios, definiendo no solo cómo se implementarán, sino también la estrategia de operación más adecuada. Se busca que la arquitectura sea versátil, con capacidad de adaptación y ajuste a las necesidades cambiantes del servicio de análisis de resistencia antimicrobiana [12].

**Nivel de Front-End**

Para resolver las deficiencias en el diseño de la interfaz de usuario, se desarrolló una nueva interfaz gráfica. El proceso comenzó con la simplificación de la navegación, reorganizando la arquitectura de la información para hacerla más intuitiva. Los menús fueron estructurados de manera lógica y jerárquica, utilizando categorías claras y evitando términos técnicos o confusos. Se optimizó la interfaz reduciendo la sobrecarga visual y simplificando la cantidad de elementos en pantalla. La información se organizó en secciones claras y diferenciadas visualmente, empleando espacios en blanco para mejorar la legibilidad. Además, se mejoró la retroalimentación mediante la implementación de mecanismos inmediatos y claros, incluyendo cambios de color que indicaran el estado de las acciones del usuario.
El nivel front-end define los elementos que interactúan con los usuarios, agrupados bajo el concepto de interfaz de usuario. Se identificaron dos tipos de interfaces: una para el personal de la institución, basada en una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) accesible desde cualquier navegador web, y otra para el BackOffice, diseñada para los administradores técnicos, que acceden a funciones de gestión, configuración, alertas y análisis del sistema.
Para abordar la falta de estructura en la capa de presentación, o frontend, se utilizó un patrón de arquitectura de software genérico y reutilizable, adecuado para satisfacer las necesidades del negocio [13]. Dado el enfoque en ReactJs (la tecnología usada en el frontend) [9], el patrón adoptado favorece la reutilización. Los cambios realizados en la arquitectura de la capa de presentación se detallan en la **Fig. 2**.

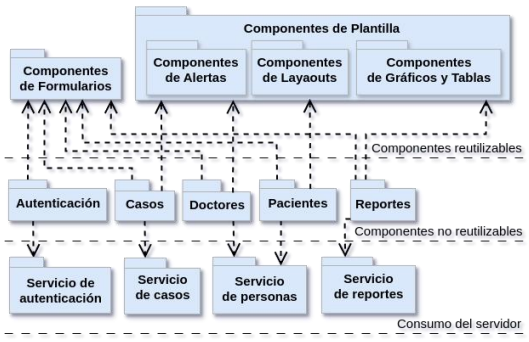



**Figura 2: Nueva arquitectura de la capa de frontend**

La primera capa de la arquitectura está compuesta por componentes reutilizables, como tablas, formularios, botones, menús e inputs. Estos elementos encapsulan patrones comunes de interfaz de usuario y se diseñan de forma independiente de casos de uso específicos. Su objetivo principal es ofrecer una biblioteca robusta de componentes que puedan reutilizarse en varias partes de la aplicación, reduciendo la duplicación de código y garantizando la consistencia en la interfaz.
La segunda capa está formada por componentes no reutilizables, diseñados para casos de uso específicos. Estos componentes integran la lógica de presentación y gestión de estados para cumplir necesidades concretas, como la inserción de casos o la visualización de reportes de microorganismos. Utilizan los elementos reutilizables de la primera capa y los combinan con la lógica de negocio, gestionando eventos del usuario e interacciones con capas subyacentes, como la capa de servicios.
La tercera capa está compuesta por servicios que manejan la comunicación con el servidor. Esta capa desacopla la lógica de comunicación de los componentes, facilitando el mantenimiento del código. Además, centraliza la lógica de errores, autenticación y caché, mejorando la consistencia y reduciendo la redundancia.
Estos cambios en la capa de presentación corrigieron malas prácticas, redujeron la repetición de código y favorecieron la reutilización, modularidad y desacoplamiento, lo que facilita la escalabilidad y el mantenimiento futuros.

**Nivel de servicios**

El nivel de servicios, diseñado de manera modular, organiza la funcionalidad de la aplicación en varios servicios independientes. Estos incluyen: gestión de casos, gestión de pacientes, gestión de localización, gestión de resistencia, gestión de usuarios y gestión de doctores.

Servicio de gestión de casos

Este módulo almacena, actualiza y recupera los datos relacionados con los casos clínicos registrados. Cada caso incluye información del paciente, el área de servicio, el lugar de toma de muestra y los resultados de las pruebas de laboratorio. Como se muestra en la **Fig. 3**, el módulo permite la inserción, seguimiento y actualización continua de los casos. Médicos especialistas, como laboratoristas y doctores, gestionan estos casos. El laboratorista, encargado del análisis de laboratorio, es el único autorizado para insertar un nuevo caso. Los administradores, por su parte, gestionan antibióticos, microorganismos y juegos de antibióticos, mientras que los especialistas médicos registran los resultados y visualizan los reportes de resistencia antimicrobiana.

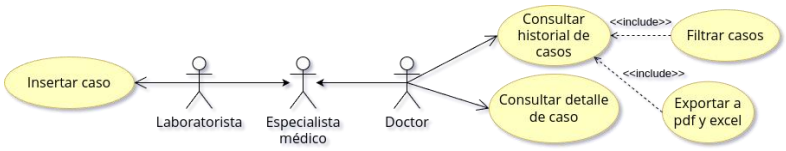



**Figura 3: Diagrama de Casos de Uso del servicio de gestión de casos**

Servicio de gestión de pacientes

Este servicio administra toda la información de los pacientes registrados en el sistema. Facilita la creación de perfiles de pacientes, el almacenamiento seguro de datos clínicos y el seguimiento de su evolución. Además, se integra con otros módulos para vincular a los pacientes con los casos y los resultados de laboratorio, proporcionando una vista unificada de su situación clínica. Los doctores son los responsables de gestionar los perfiles de los pacientes.

Servicio de gestión de localización

Este módulo gestiona la información geográfica y organizacional relacionada con los pacientes y sus entornos médicos. Los administradores gestionan hospitales, centros médicos, especialidades y áreas internas, como terapia intensiva o pediatría. También gestiona el lugar anatómico de la toma de muestras

(ej. nariz, piel). Dado su impacto en los análisis y reportes de resistencia, este módulo es accesible solo para administradores, quienes garantizan la precisión y confiabilidad de los datos.

Servicio de resistencia

Como se muestra en la **Fig. 5**, este módulo administra y analiza la información relacionada con la interacción entre antibióticos y microorganismos, además de los resultados de laboratorio que determinan los patrones de resistencia. Es fundamental para monitorear la efectividad de los tratamientos antimicrobianos y la evolución de la resistencia a nivel clínico.




**Figura 4: Diagrama de Casos de Uso del servicio de resistencia**

Servicio de gestión de usuarios

Este servicio maneja la autenticación y autorización dentro del sistema. Administra roles y permisos, asegurando que cada usuario acceda a los módulos adecuados según su perfil (doctor, laboratorista, administrador). Además, garantiza que los datos clínicos sean accesibles solo por personal autorizado, cumpliendo con los requisitos de seguridad y privacidad.

Servicio de gestión de doctores

Gestionado por los administradores, este módulo permite registrar y actualizar los perfiles de doctores y laboratoristas, incluyendo su especialidad. Permite visualizar a los doctores disponibles para asignación de casos y cambiar el estado de un médico a inactivo en situaciones como vacaciones o certificados médicos. Estos cambios mejoran la modularidad y limpieza del código, facilitando la escalabilidad, mantenimiento y futuras actualizaciones de la aplicación.

Estos cambios en la capa de servicios han mejorado la modularidad y claridad del código, facilitando su escalabilidad, mantenimiento y actualización futuros.

**Nivel de datos**

Cada servicio en el nivel de servicios accede al nivel de datos a través de los servicios de persistencia en la capa de servicios. La **Fig. 1** ilustra la relación entre los servicios y sus principales fuentes de datos, utilizando líneas discontinuas para señalar que esta relación es indirecta. La base de datos almacena toda la información necesaria para la funcionalidad de la aplicación, incluyendo usuarios, antibióticos y el historial de casos clínicos.
Inicialmente, la base de datos estaba normalizada solo hasta la segunda forma normal (FN), lo que generaba problemas que se solucionan al llevarla a la tercera FN. La tercera FN elimina dependencias funcionales entre atributos que no son clave, creando nuevas relaciones para estos atributos que no dependen transitivamente de la clave primaria. Así, los atributos que dependían de la clave a través de otro atributo se separan en nuevas relaciones, donde la clave primaria de estas nuevas relaciones es el atributo que anteriormente generaba la dependencia transitiva [15].
Después de este proceso, la estructura de la base de datos se representa como en la **Fig. 6**. En esta figura, se observa la adición de nuevas tablas como "área", "provincia", "municipio", "lugares de muestra" y "especialidad", cuyos atributos previamente estaban distribuidos en otras tablas.

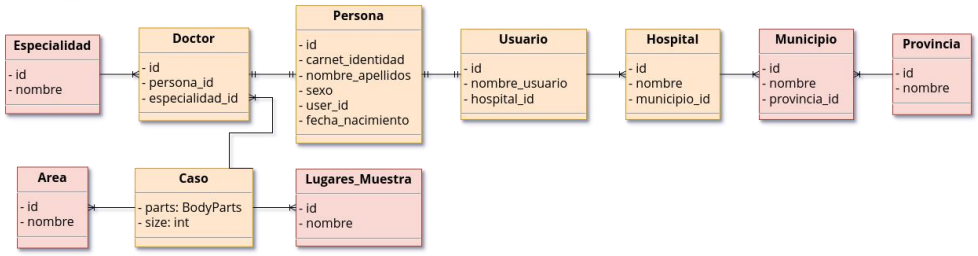



**Figura 5: Diagrama entidad-relación BD normalizada**

Los beneficios de esta normalización incluyen la reducción de la redundancia de datos, mayor flexibilidad, mejora de la integridad y el rendimiento en las consultas, así como una mayor facilidad de mantenimiento.

**Nivel de mantenimiento**

Aunque existen varios tipos de tareas de mantenimiento, dos son especialmente importantes para el correcto funcionamiento del sistema. El primero es el gestor de API. Dado que la propuesta se basa en una arquitectura de servicios con un servidor completamente desacoplado del front-end, es crucial contar con un mecanismo eficiente para gestionar los servicios. El gestor de API permite crear y mantener puntos de entrada, generar y actualizar documentación y código, así como gestionar versiones. El segundo es el gestor de la base de datos, encargado de optimizar su rendimiento, asegurando que las consultas sean rápidas y eficientes, ajustando índices y configuraciones del servidor según las necesidades de la aplicación.

## 3. Resultados

La validación de la nueva versión del Mapa Microbiológico incluyó pruebas funcionales, de rendimiento y de usabilidad. Las pruebas de rendimiento y usabilidad se aplicaron tanto a la versión anterior como a la nueva, permitiendo comparar los resultados. Para ajustar las pruebas lo más posible al entorno real de uso, se realizó un despliegue a pequeña escala en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La **Fig. 7**muestra el diagrama del despliegue.

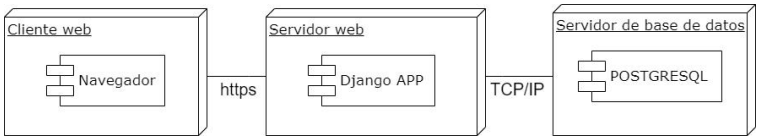



**Figura 6: Diagrama de despliegue de Mapa Microbiológico**

El despliegue consta de tres componentes: el cliente web, accesible desde cualquier navegador, que se conecta mediante peticiones HTTPS al servidor web, el cual a su vez se comunica con el servidor de base de datos a través de TCP/IP. A continuación, se describen las pruebas realizadas para evaluar las mejoras en la solución propuesta.

**Pruebas funcionales:**

Las pruebas de caja negra, también llamadas pruebas de comportamiento o funcionales, se enfocan en los requerimientos funcionales del software; es decir, permiten derivar conjuntos de condiciones de entrada que revisarán por completo todas las funcionalidades de un programa [14]. A pesar, de que se realizaron pruebas para las 15 funcionalidades de la aplicación, en esta sección, por brevedad, solo se expondrá la de añadir caso, obtener listado de casos y gestionar pacientes. Las dos primeras fueron de las funcionalidades que más cambios sufrieron con la refactorización y, la de gestionar paciente constituye una nueva funcionalidad luego de los cambios realizados. Además, para cada funcionalidad, una condición de entrada válida y al menos una inválida, como se relaciona en la **Tabla 1**, **Tabla 2** y **Tabla 3**.

**Tabla 1: Caso de Prueba "Añadir caso"**

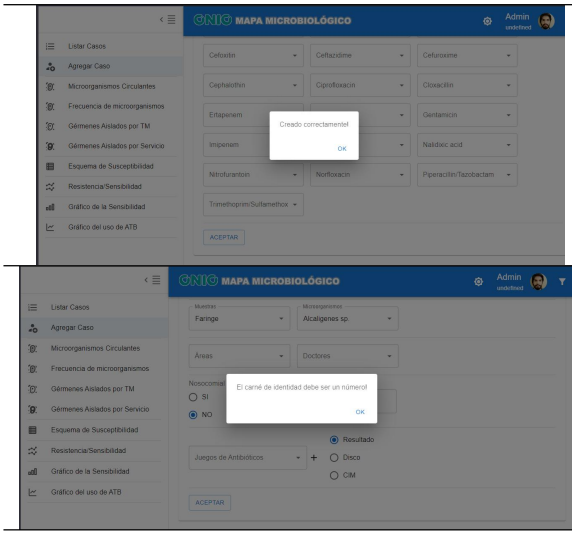
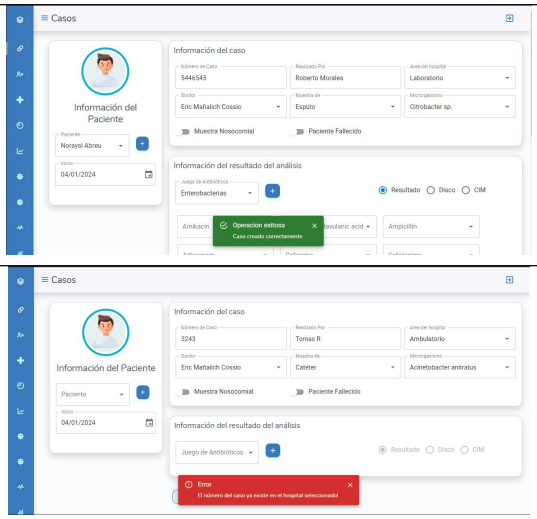
| **Objetivo** | |
|---|---|
| Comprobar que se puede añadir un caso al sistema, y que se guardan correctamente todos los datos. | |
| **Descripción de la prueba** | |
| El proceso inicia al seleccionar "Casos" y luego "Nuevo", lo que dirige a la pantalla de registro. El usuario introduce los datos del paciente, hospital, residencia, médico, microorganismo y resultados de pruebas. Al guardar, el sistema redirige a la lista de casos, mostrando el nuevo registro. | |
| **Resultados** | |
| **Versión anterior** | **Versión nueva** |
|  |  |

**Tabla 2: Caso de prueba "Obtener listado de casos filtrados"**

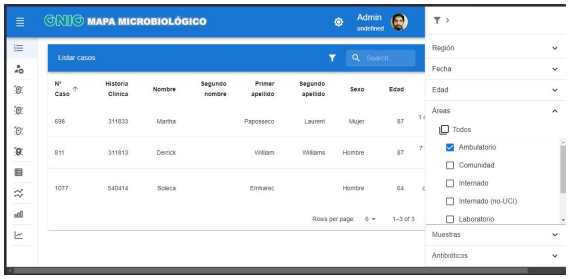
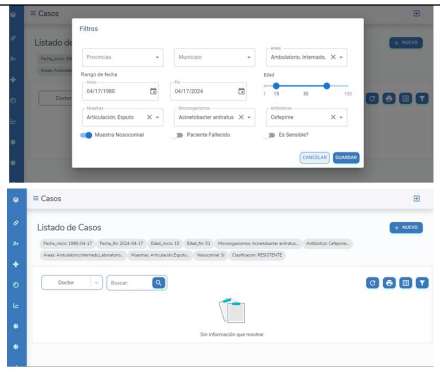
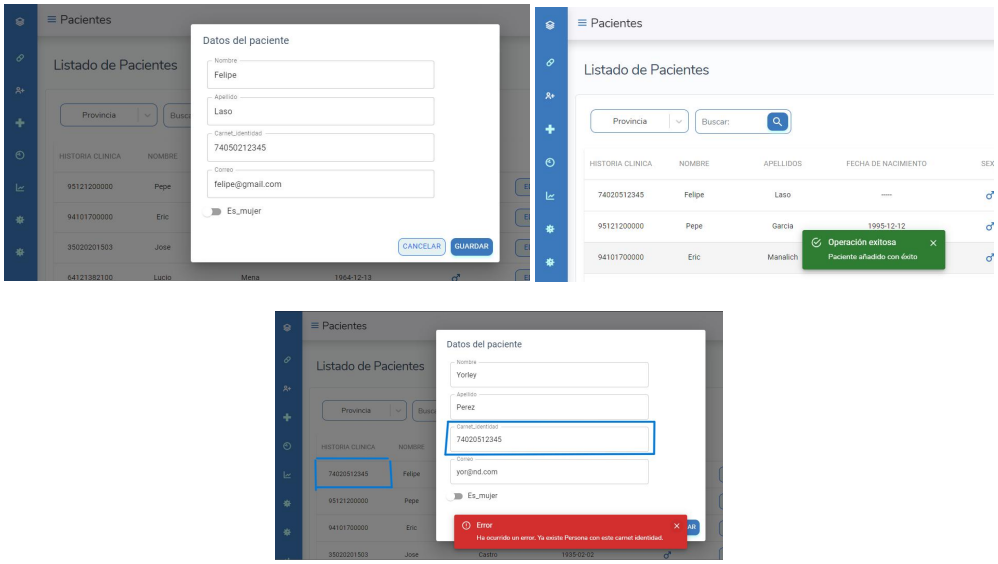
| **Objetivo** | |
|---|---|
| Comprobar que se obtienen los casos que corresponden con los filtros seleccionados, y que estos siempre están visualizados. | |
| **Descripción de la prueba** | |
| El proceso comienza al acceder al menú "Casos", seleccionar el icono de filtros, elegir los parámetros de filtrado y guardar los cambios. El sistema lista entonces los casos que corresponden a los criterios seleccionados. | |
| **Resultados** | |
| **Versión anterior** | **Versión nueva** |
|  |  |

**Tabla 3: Caso de prueba "Gestionar pacientes del área de salud"**

| **Objetivo** |
|---|
| Comprobar que se lista, añade, edita y da baja a los pacientes que corresponden al área de salud establecida. |
| **Descripción de la prueba** |
| El proceso comienza seleccionando "pacientes" y luego "Nuevo", abriendo una pantalla emergente para ingresar datos. Al guardar, se muestra el listado con el nuevo paciente visible. Al seleccionar "Editar", se abre una pantalla emergente para modificar los datos, y tras guardarlos, el paciente aparece actualizado. Al "Eliminar", aparece una alerta de confirmación, y al confirmar, el paciente se elimina del listado. |
| **Resultados** |




Los casos de pruebas relacionados en la **Tabla 1**, **Tabla 2** y **Tabla 3** y el resto de los realizados, demostraron que el despliegue de la aplicación fue exitoso en el centro. Además, se observaron las mejoras del diseño gráfico luego de los cambios realizados en cuanto la retroalimentación al usuario indicando con colores descriptivos el éxito o fracaso luego de cada operación, la utilización del espacio negativo y la reorganización del componente de los filtros para hacerlo más legible.

**Pruebas de rendimiento:**

Es fundamental evaluar el rendimiento de la aplicación tras los cambios realizados para asegurar que cumple con los parámetros adecuados y presenta mejoras en comparación con la versión anterior. Se analizaron diferentes tipos de pruebas de rendimiento, como las pruebas de carga, estrés, escalabilidad y resistencia. Finalmente, se optó por realizar una prueba de resistencia que evaluará la capacidad del sistema para manejar una carga de procesamiento sostenida durante períodos prolongados.
La prueba consistió en generar 3,000 casos con datos aleatorios utilizando la herramienta [15]. A continuación, se solicitó a 4 usuarios, con distintas configuraciones de red e infraestructura, que simultáneamente revisaran 5 reportes estadísticos, aplicando los filtros disponibles en el sistema. En la **Tabla 4** se muestran las características de red e infraestructura de cada usuario, junto con los filtros seleccionados por cada uno.

**Tabla 4 Prueba de rendimiento**

| Filtros | Velocidad de internet | Microprocesador |
|---|---|---|
| Área de salud: UCI. Muestra: Nariz | 120kb/s | Intel I3-6ta Generación |
| Muestra: Nariz, sangre. Microorg.: Candida nivariensis | 200kb/s | Intel I3-8va Generación |
| Municipio: La Habana. Área: Comunidad. Muestra: | 101kb/s | AMD A9 |

Sangre, oreja. Microorg.: Candida nivariensis.
Antibiótico: Ampicillin

Área de salud: Todas. Lugar de muestra: Todos. 150kb/s Celeron
Microorg.: Todos. Antibióticos: Todos

Los reportes estadísticos chequeados fueron: gérmenes por servicio, gérmenes por tipo de muestra, microorganismos circulantes, esquema de suceptibilidad y el reporte de resistencia/sensibilidad. A continuación, se relacionan los tiempos de respuesta de cada solicitud de cada usuario por cada reporte, donde en el eje "y" se observa el tiempo en milisegundos y en el eje "x" cada reporte, en el mismo orden en que se mencionaron anteriormente. En la **Fig. 7(A)** se muestran dichos resultados en la versión inicial del sistema y en la **Fig. 7(B)** los de la nueva versión con los cambios realizados.

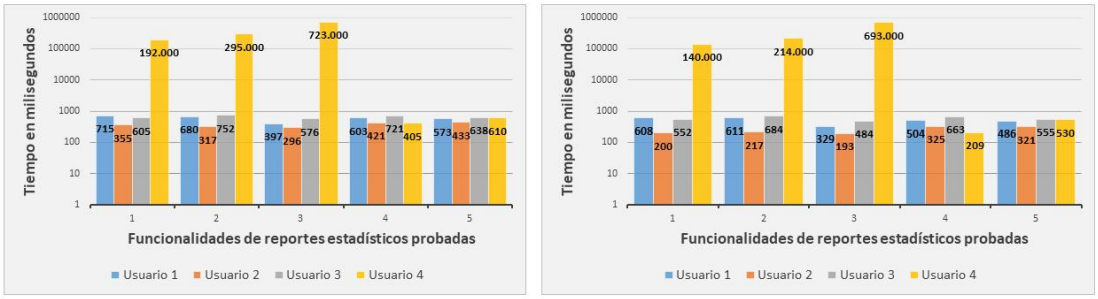



**Figura 7: (A) Rendimiento en versión anterior. (B) Rendimiento en versión nueva.**

Como se puede observar en la **Fig. 7(A)**, el tiempo máximo de una operación en la versión inicial, fue de 7.23 segundos y el mínimo de 0.3 segundos. Sin embargo, como muestra la **Fig. 7(B),** en la versión nueva refactorizada, el tiempo máximo de una operación fue de 6.93 segundos y el mínimo fue de 0.2 segundos. Por lo tanto, los cambios en la arquitectura del sistema y la normalización de la base de datos influyeron de manera positiva en el rendimiento de la operación.

**Pruebas de usabilidad:**

Para comprobar si la experiencia de usuario es mejoró luego de este proceso de refactorización y rediseño de la interfaz, se desarrolló una prueba de usabilidad de las dos versiones del sistema, para un grupo de 5 usuarios, utilizando la Escala de Usabilidad del Sistema, basado en [16]. Se basa en 10 afirmaciones que los usuarios califican en una escala de cinco puntos que va desde "Totalmente en desacuerdo" (1) hasta "Totalmente de acuerdo" (5). Las afirmaciones se enumeran a continuación:

A1. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.
A2. Considero que el sistema es innecesariamente complejo.
A3. Considero que el sistema es fácil de utilizar.
A4. Considero que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema.
A5. Considero que las distintas funciones de este sistema están bien integradas.
A6. Considero que el sistema presenta demasiadas incoherencias.
A7. Me imagino que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar este sistema muy rápidamente.
A8. Considero que este sistema es muy complicado de utilizar.
A9. Me sentí muy seguro al utilizar el sistema.
A10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a utilizar este sistema.

Luego de que los usuarios califiquen cada afirmación, para calcular la puntuación, primero se suman las contribuciones de puntuación de cada elemento. La contribución de puntuación de cada elemento oscilará entre 0 y 4. Para los elementos 1, 3, 5, 7 y 9, la contribución de puntuación es la posición de la escala menos 1. Para los elementos 2, 4, 6, 8 y 10, la contribución es 5 menos la posición de la escala. Luego, se multiplica la suma de las puntuaciones por 2,5 para obtener el valor total de satisfacción de usabilidad. A su vez, con estos totales se obtiene el nivel de satisfacción del usuario al utilizar el sistema. Se califica en tres niveles, representados por colores en este caso. Si, el valor total de satisfacción se encuentra entre 0 y 51 la experiencia de usuario fue horrible (color rojo), si esta entre 51 y 66 fue pobre (color naranja), si fue

de 67 fue normal (color gris), si esta entre 68 y 80.2 fue buena (color azul), y, si es mayor que 80.3 fue excelente (color verde) según [17]. En la **Tabla 5** se muestran los resultados ofrecidos por los usuarios evaluados.

**Tabla 5 Escala de Usabilidad del Sistema**

| Afirmaciones | Usuarios probando la versión inicial | | | | | Usuarios probando la versión nueva | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A1** | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| **A2** | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **A3** | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| **A4** | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **A5** | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| **A6** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **A7** | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| **A8** | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **A9** | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| **A10** | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Totales** | **60** | **35** | **85** | **97.5** | **80** | **72.5** | **100** | **95** | **90** | **97.5** |

Como se pudo observar en la **Tabla 5**, la calificación de los usuarios encuestados con la versión inicial del sistema fue de horrible, pobre, buena y dos de excelente. La media de la calificación en este caso es de 71.5 contraria a la de los usuarios encuestados con la versión nueva, que fue de 91 y en la cual, además, 4 de 5 usuarios dieron una calificación de excelente al sistema. Con lo cual, se puede observar que los usuarios se sienten más cómodos y prefieren utilizar la nueva versión del sistema, según [16].

## 4. Discusión

Los resultados obtenidos después de la implementación de una nueva arquitectura en capas en el servidor y la normalización de la base de datos demuestran una mejora significativa en la integridad y eficiencia del sistema. Las pruebas de rendimiento indicaron que las consultas a la base de datos son ahora más rápidas y menos propensas a errores, eliminando problemas de redundancia e integración y mejorando la experiencia del usuario.

Una de las principales contribuciones de este trabajo fue la implementación de una nueva interfaz gráfica, que facilitó la comprensión de los datos estadísticos por parte de los usuarios, los cuales demostraron su satisfacción en la encuesta de usabilidad que se les realizó luego de probar la aplicación con los nuevos cambios. Esto es particularmente relevante en el contexto clínico, donde la rapidez y precisión en la interpretación de datos pueden influir directamente en las decisiones médicas.

Sin embargo, aunque las mejoras han sido sustanciales, el sistema aún enfrenta desafíos en términos de rendimiento para su posible implementación a nivel nacional. Aunque los resultados de las pruebas de rendimiento fueron satisfactorias para el volumen de datos tomados, con un aumento significativo de estos, como ocurrirá cuando se implemente a nivel nacional, los valores de rendimiento podrían ser desfavorables. Además, la integración con otras plataformas de datos de salud podría presentar nuevos retos que no fueron abordados en este estudio.

## 5. Conclusiones

El proceso de refactorización y mejora del software “Mapa Microbiológico” ha sido fundamental para superar las limitaciones de la versión inicial y ofrecer una herramienta más robusta y eficiente para el análisis de datos de resistencia antimicrobiana en instituciones de salud cubanas. La implementación de una arquitectura en capas, junto con la normalización de la base de datos a la tercera forma normal, ha

mejorado significativamente la integridad y el rendimiento del sistema, resolviendo problemas críticos de redundancia y escalabilidad.

La nueva interfaz gráfica de usuario, diseñada con un enfoque moderno y accesible, ha optimizado la experiencia del usuario, facilitando la navegación y la interpretación de los datos estadísticos. Esto no solo mejora la funcionalidad del software, sino que también contribuye a un uso más eficaz y racional de los antimicrobianos en la práctica clínica.

En futuras investigaciones resultaría interesante evaluar la integración con otros sistemas del sector de la salud para mejorar la eficiencia en la recopilación y análisis de datos. Además, valdría la pena investigar la implementación de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para analizar los patrones de resistencia antimicrobiana de manera automatizada, lo que podría facilitar la detección temprana de tendencias emergentes.

En resumen, la refactorización del software "Mapa Microbiológico" ha logrado no solo solucionar los problemas técnicos de la versión anterior, sino también ofrecer una solución más alineada con las necesidades actuales de las instituciones de salud. Este trabajo sienta las bases para futuras expansiones y mejoras, con miras a enfrentar los desafíos en la lucha contra la resistencia antimicrobiana.

**REFERENCIAS**

1. Tang, K.W.K., B.C. Millar, and J.E. Moore, *Antimicrobial resistance (AMR).* British Journal of Biomedical Science, 2023. **80**: p. 11387.
2. Ikhimiukor, O.O., et al., *A bottom-up view of antimicrobial resistance transmission in developing countries.* Nature Microbiology, 2022. **7**(6): p. 757-765.
3. Morrison, L. and T.R. Zembower, *Antimicrobial resistance.* Gastrointestinal Endoscopy Clinics, 2020. **30**(4): p. 619-635.
4. Enfermedades, C.C.p.e.C.y.l.P.d., *Antibiotic resistance: a global threat*. 2020.
5. Truong, W.R., et al., *The antibiogram: key considerations for its development and utilization.* JAC-Antimicrobial Resistance, 2021. **3**(2): p. dlab060.
6. Abushaheen, M.A., et al., *Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance.* Disease-a-Month, 2020. **66**(6): p. 100971.
7. Zeggil, T., et al., *Development of a national web-based antibiogram tool.* Canadian Pharmacists Journal/Revue des Pharmaciens du Canada, 2022. **155**(4): p. 200-205.
8. Morales-González, M., et al., *Consumo de antibacterianos en tres hospitales de Santiago de Cuba en el período 2019-2020.* Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research, 2022. **10**(6): p. 986-994.
9. Source, M.O. *ReactJs*. 2024 Agosto, 2024]; Available from: https://react.dev.
10. O'rinboev, A., *ANALYZING THE EFFICIENCY AND PERFORMANCE OPTIMIZATION TECHNIQUES OF REACT. JS IN MODERN WEB DEVELOPMENT.* Инновационные исследования в современном мире: теория и практика, 2023. **2**(24): p. 54-57.
11. Foundation, D.S. *Django*. Agosto, 2024]; Available from: https://www.djangoproject.com/.
12. Sommerville, I., *Software Engineering, 9/E*. 2011: Pearson Education India.
13. Richards, M., *Software architecture patterns*. Vol. 4. 2015: O'Reilly Media, Incorporated 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA ….
14. Pressman, R.S., *Software Engineering: a practitioner's approach.* Pressman and Associates, 2005.
15. *Generate Data*. 2024 [cited 2024 20-08-2024]; Available from: https://generatedata.com.
16. Brooke, J., *SUS: A quick and dirty usability scale.* Usability Evaluation in INdustry/Taylor and Francis, 1996.
17. Sasmito, G.W. and M. Nishom. *Usability testing based on system usability scale and net promoter score*. in *2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*. 2019. IEEE.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY
cujae

# MODERN DRONE CONTROL SYSTEMS DEVELOPMENT DIRECTIONS

**Viacheslav Pshikhopov, Mikhail Medvedev, Leshchev-Romanenko Andrey**

Southern Federal University, Russia, 347923, Taganrog, Shevchenko Str., 2.

e-mail: pshichop@rambler.ru

**ABSTRACT**

The report contains a basic overview of the main directions of development of unmanned aerial vehicle control systems. The first section discusses the prospects for the development of unmanned aerial vehicles (UAV). The applications and problems of remote control in the civil and military spheres are considered. A roadmap for the development of unmanned systems and supporting technologies is proposed. The second section is devoted to the current state of аке in the field of unmanned systems. The classification scheme of the main elements of unmanned system is given. A block diagram of the intelligent motion control system in conditions of uncertainty and the results of the study of various methods of intelligent control are presented. The results of flight experiments confirming the effectiveness of the methods used are also presented. The report describes the developments of the Southern Federal University in the field of unmanned systems. Intelligent robotic platforms of sea and land-based, a system for group motion control by ground robots, a robotic aeronautical platform for near space and a system for the group application of autonomous UAVs for agriculture are presented. Developments in the field of digital modeling and design, as well as virtual tests of robotic complexes are also presented.

**KEY WORDS:** unmanned systems, mobile robots, unmanned aieral vehilces, group control, motion control.

## 1. Unmanned aerial systems (uas) development prospects.

The most common applications of UAVs are exploration, monitoring, cargo delivery, and mapping. Currently, most UAVs operate in remote control mode [1, 2]. Automatic functions include stabilization of the UAV in the air, maintaining altitude according to the altimeter, movement according to the program set by the operator, automatic landing or return to the starting point in case of an emergency, bypassing an obstacle or stopping in front of an obstacle [3, 4].

The main problems of using remotely controlled UAVs are the high load on the operator, termination of operation when communication between the control station and the UAV is lost, limitation of the range by the range of the communication channel, strict requirements for communication channels. These problems

are especially acute with the group use of UAVs, since the operator is not able to control a large number of mobile robots at the same time.

Today, there are four generations of unmanned systems, shown in Fig. 1. The first generation includes remotely controlled unmanned systems. In this generation, the functions described above are performed automatically. The second generation includes autonomous unmanned aerial vehicles that are used without interaction with other UAVs. In these UAVs, the functions of motion control and planning, navigation functions and object detection by the vision system are performed automatically [5]. In the last few years, the transition from remotely controlled to autonomous UAVs has been underway.

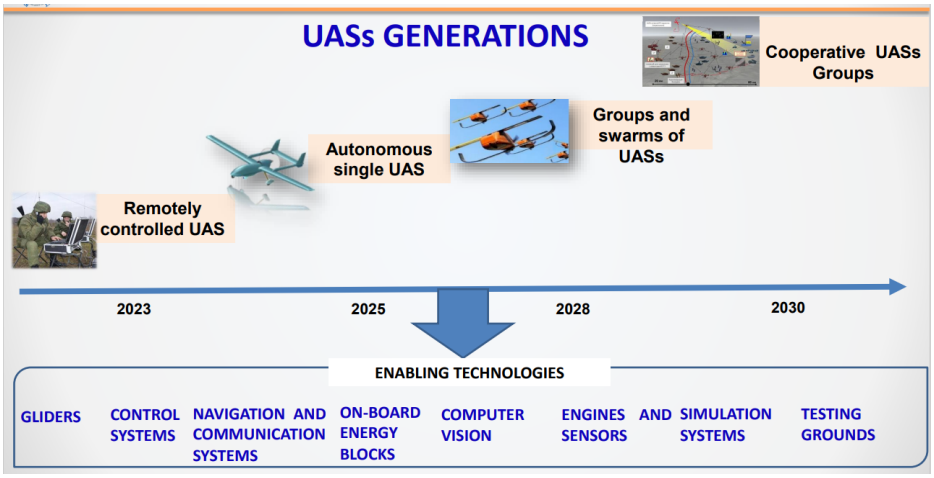



Figure1: Four generations of unmanned systems

The third generation of unmanned aerial vehicles is designed for group and swarm applications. Such an application can significantly increase the efficiency and reliability of tasks solved with the help of UAVs. In the third generation of UAVs, it is required to solve the tasks of group communication and navigation, as well as coordination of the actions of individual UAV in the group. Currently, developments are underway aimed at creating systems for the group and swarm use of UAVs [6 – 9].

The fourth generation of unmanned aerial vehicles is designed for use in a non-segregated space with manned vehicles and people. In such UAVs, the most critical issues are interaction with the environment, people and manned objects and issues of ensuring the safety of operation. Today, there are no unmanned aerial systems that can be operated in an unsegregated space, for example, in an urban environment. However, there are examples of the introduction of self-driving cars into the urban environment.

For the development of unmanned aerial systems, the most critical technologies are autonomous control and motion planning, decision-making, navigation, communication and computer vision technologies, flight safety technologies, virtual modeling and testing technologies, information processing technologies on board and energy supply.

## 2. Current state of art in UASs technologies.

Classification scheme of basic UASs elements is presented in Fig. 2.

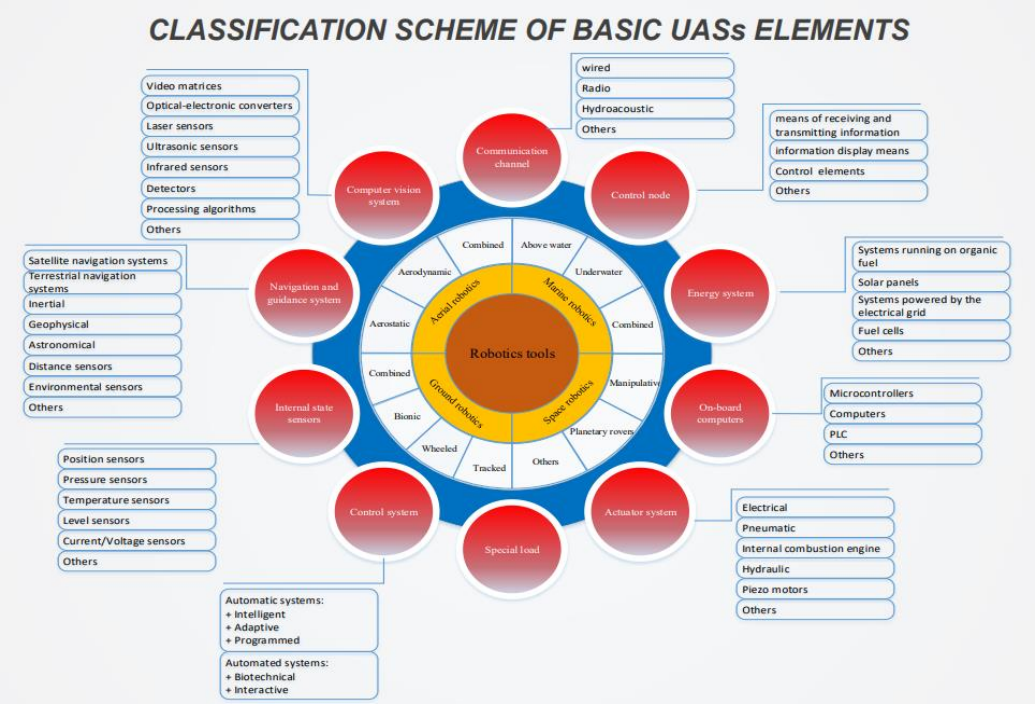



Figure2: Classification scheme of basic UASs elements

In general, an unmanned system includes a control system, internal state sensors, a navigation system, a vision system, a communication system, a control station, on-board computers, an energy supply system, actuators and a special load designed to perform target tasks. Southern Federal University specializes in the development of UAV control systems, so let's take a closer look at this element.

To develop autonomous UAVs, it is necessary to solve the problem of automatic planning and motion control in an uncertain environment. To solve this problem, the structure of the control system is used, as shown in Fig. 2 [10]. This structure includes a computer vision system, a motion planning system in an environment with a partially unknown map, and an actuators of control system that tracking the planned trajectory. The structure of the control system shown in Fig. 2, it has been used to study various motion planning technologies in an uncertain environment [10].

Neural network methods, Combined planning method using unstable modes and a virtual target point, genetic search, potential field method, control method using fuzzy systems, reactive navigation method, voronoi diagram method, based on evolutionary computation mathod, etc. are studied. The proposed procedure for hybridization of planning methods for complex environments increases the quality of functioning of autonomous objects by 1.5 times.




Figure3: Classification scheme of basic UASs elements

Figure 4 presents the results of a comparative study of the hybrid method proposed in [10] and the method of potential fields. The experiments were performed at the landfill of the Southern Federal University. The hybrid method reduced the flight time by about 20% and the trajectory length by about 15%.

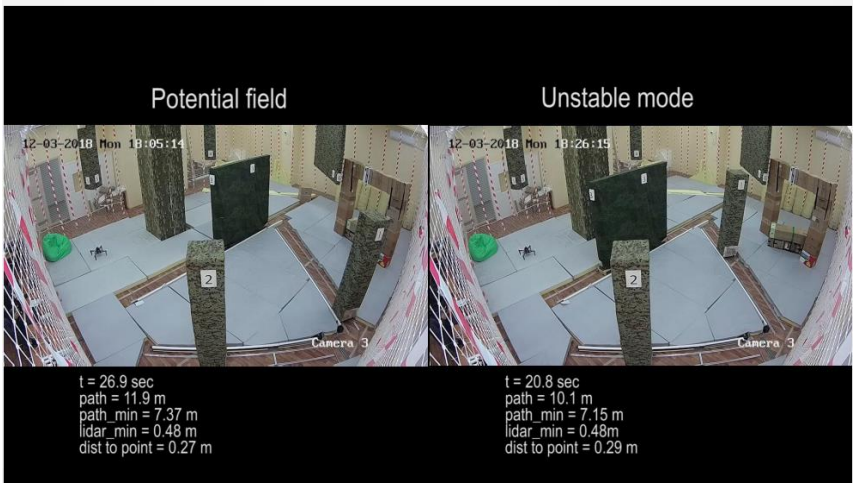



Figure4: Results of Experimental Comparison of Methods

## 3. Developmented dy Southern Federal University unmanned systems.

The Southern Federal University has experience in the development of unmanned systems for sea, land and air basing. A distinctive feature of the developments is the presence of an intelligent control system that provides a high degree of autonomy of movement. Movement is possible without the participation of an operator.

Figure 5 shows the Sigul robotic boat, which implements the functions of automatic motion planning in the aquatic environment. The boat implements the functions of remote, automatic and supervisory control. It is equipped with a vision system that allows you to detect obstacles in the way of movement. The motion planning and control system is implemented on the Intel Atom on-board computer. The boat is capable of reaching a maximum speed of 4 meters per second and carrying a payload of up to 80 kg. The length of the boat is 1.8 meters.



| | |
|---|---|
| **On-board computer** | Intel Atom N270 (1.6 GHz, 512 kB L2 cache, FSB 533 MHz) |
| **Microchip** | AVR-CRUMB2560, ATmega2560 |
| **Doppler lag** | RD instruments ExplorerDVL |
| **Inertial navigation system** | Companav 2 |
| **Acoustic Modem** | Evo Logic S2C R 48/78 USBL Acoustic Modem |
| **Modes** | Remote, automatic, semi-automatic (cruise control, autonomous execution of individual functions) |
| **Maximum speed** | 4 m/s |
| **Length** | 1,8 m |
| **Displacement** | 80 kg |

Figure5: Intelligent robotic boat "Sigul"

Several projects have been implemented in the field of ground-based robotics. One of the most important is the project of the Marker Foundation for Advanced Research. Within the framework of this project, a group motion control system for wheeled and tracked robotic platforms has been implemented. The Marker platform, shown in Fig. 6, weighs about 4 tons and measures 2×4 meters. The group control system provides planning of the general trajectory and individual trajectories, the construction of ground robots in a given formation, movement while maintaining the formation, performing maneuvers during re-alignment and obstacle avoidance.



Figure6: Robot "Marker"

Southern Federal University has also implemented more than 10 projects in the field of creating unmanned air-based systems. Figure 7 shows a prototype of a robotic near-space platform for the Chinese space Agency. In this project, the Southern Federal University implemented a control system, navigation and telecommunications, as well as a ground control point. The system provides automatic takeoff, climb, movement along a given trajectory, automatic descent and landing.




Figure7: Autonomous airship control system

Another project is the development of an autonomous multirotor UAV control system for uncertain environments. This drone is shown in Fig. 8. The control system provides autonomous indoor navigation, environment mapping, path planning and following along the planned path. In 2019, this project became the winner of the "Aerobot" competition, which is held by the Foundations for Advanced Research of the Russian Federation.



Figure8: Mulirotor UAV

An important part of the research of the Southern Federal University is the development of simulators of robotic complexes. Currently, Southern Federal University has experience in the development of simulators

for the development and testing of forms and methods of application of land-based, water-based and air-based robots. The simulators use physical modeling based on the Unity system and are cross-platform. It is possible to use similar systems under Windows and Linux.

## 4. Conclusions.

This report presents the experience of the Southern Federal University in the field of development of unmanned robotic systems for land-based, air, and water environment. The developments are aimed at creating control systems that provide a high level of autonomy, including automatic motion planning, information processing and decision-making on board, and the ability to operate as part of a group. The development experience shows that the exclusion of the operator from the control loop makes it possible to improve the quality of operation of unmanned systems. Effective group application of unmanned systems in an uncertain environment is possible only by ensuring autonomous control and adaptation to a dynamic situation.

Acknowledgments.

The work is supported by Advanced Engineering School "Cyberplatform Engineering" of Southern Federal University.

**References.**

1. Hervas J.R.; Reyhanoglu M.; Hui Tang. “Automatic landing control of Unmanned Aerial Vehicles on moving platforms”. *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2014, pp. 69-74, doi: 10.1109/ISIE.2014.6864588.

2. Finaev V.I.; Medvedev M.Yu.; Pshikhopov V.K.; Pereverzev V.A.; Soloviev V.V. “Unmanned Powerboat Motion Terminal Control in an Environment with Moving Obstacles”. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2021, vol. 22, num 3, pp. 145-154. https://doi.org/10.17587/mau.22.145-154

3. Cai H.; Wu Z.; Chen M. “Design of STM32-based Quadrotor UAV Control System”. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 2023, vol. 17, num. 2.

4. Ren Z.; Tang Z.; Wang R. “Research on key technologies of four-rotor UAV flight control system based on STM32 microcontroller”. *2023 IEEE 6th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)*, 2023, pp. 1106-1112.

5. Kostyukov Vladimir; Medvedev Mikhail; Pshikhopov Viacheslav. “Global path planning algorithm in a two-dimensional environment with polygonal obstacles on the class of piecewise polygonal trajectories”. *Unmanned Systems*, 2024, https://doi.org/10.1142/S2301385025500438.

6. Arteaga-Escamilla C.M.; Castro-Linares, R.; Álvarez-Gallegos J. “Leader-follower formation with reduction of the off-tracking and velocity estimation under visibility constraints”. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2021, vol. 18, num. 610.

7. Bezruk G.; Martynova L.; Saenko I. “Dynamic method of searching anthropogenic objects in use of seabed with autonomous underwater vehicles”. *SPIIRAS Proceeding*, 2018, vol. 3, num 58, pp. 203–226.

8. Gaiduk A.R.; Martjanov O.V.; Medvedev M.Y.; Pshikhopov V.K.; Hamdan N.; Farhood A. “Neural network based control system for robots group operating in 2-d uncertain environment”. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie,* 2020, vol. 21, num. 8, pp. 470–479.

9. Hu J.; Bhowmick P.; Lanzon A. “Group coordinated control of networked mobile robots with applications to object transportation”. *IEEE Transactions on Vehicle Technology*, 2021, vol. 70, num. 8, pp. 8269–8274.

10. Pshikhopov, V.Kh. et. al. *Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments*. Elsevier, Butterworth-Heinemann. 2017. 312 pp. ISBN: 978-012-812-305-8.

**About the authors.**

**Viacheslav Pshikhopov** received the PhD degree in Control Engineering from Taranrog Radio Engineering University, Taganrog, in 1997. He received the Doctor of Science in Control Engineering from Don State Technical University, Rostov-on-Don, in 2009. He is currently a Head of R&D Institute of Robotics and Control Systems, Southern Federal University, Rostov-on-Don. His research interests include planning and control of autonomous robots and manipulators with the focus of time optimal-control, control in obstructed unmapped environment, intellectual and group control. Prof. Pshikhopov is member of the editorial board ща Informatics and Automation, and Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. Hi is member of expert Council of the Russian Science Foundation and expert of United Nations on autonomous lethal systems. Hi is author of more than 300 publications.

**Milhail Medvedev** received the PhD degree in Control Engineering from Taranrog Radio Engineering University, Taganrog, in 1999. He received the Doctor of Science in Control Engineering from Southern Federal University, Rostov-on-Don, in 2011. He is currently a Leading Researcher of R&D Institute of Robotics and Control Systems, Southern Federal University, Rostov-on-Don. His research interests include planning and control of autonomous robots with the focus of adaptive and robust control, path planning methods, neural network planning. Prof. M. Medvedev is area Editor of EAI Endorsed Transactions on Energy Web Energy, expert of the Russian Science Foundation. Hi is author of more than 250 publications.

**Leshchev-Romanenko Andrey** is is a student of the Southern Federal University. He is studying in the field of Robots, mechatronics and robotic systems. He is the head of the laboratory of unmanned agricultural systems at the Advanced Engineering School of the Southern Federal University.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SOFTWARE PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVO *WEARABLE DEVICE* BASADO EN SENSORES INERCIALES

**Ing. Mario Bernal Pérez[1], Dr C. Fidel Ernesto Hernández Montero[2]**
[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
Calle 114 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba[2]
[1]e-mail: mayitobp99@gmail.com, [2]e-mail: fhernandez@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Este trabajo propone una nueva versión del software para el manejo del dispositivo MPU-9250 con el propósito de emplearlo en estudios de la marcha en personas mayores. Para ello se abordan los aspectos relacionados con el estudio de la marcha humana y de los diferentes métodos para la obtención de sus parámetros, particularmente los sensores inerciales se han destacado como dispositivos eficientes y apropiados por sus diversas ventajas a la hora de realizar pruebas de movimiento. La operación con los mismos requiere de un software que sea capaz de brindarle al usuario una serie de herramientas y funcionalidades que le permitan obtener información valiosa. Por consiguiente, utilizando el lenguaje de programación Python se realiza una propuesta de nuevo software para el dispositivo MPU-9250. Esta cuenta con las funcionalidades requeridas para la nueva versión, dentro de las cuales se encuentra: la visualización en tiempo real de las señales, la posibilidad de reconfiguración del dispositivo a diferentes modos de trabajo, la gestión del nivel de acceso al software, el almacenamiento de los datos recibidos del IMU y el diseño de una interfaz más intuitiva y óptima para el usuario. El resultado final proporciona un programa con un diseño sencillo, robusto y confiable dado que se corrigen los errores y fallas comunes durante su trabajo y se garantiza la seguridad del programa desde el primer momento.

**PALABRAS CLAVES:** Unidades de Medición Inercial (IMUs), Python, PyQt, Matplotlib, Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).

# SOFTWARE FOR THE CONTROL OF WEARABLE DEVICES BASED ON INERTIAL SENSORS

**ABSTRACT**

This work proposes a new version of the software for managing the MPU-9250 device with the aim of using it in gait studies in older adults. To this end, aspects related to the study of human gait and the different methods for obtaining its parameters are addressed, particularly inertial sensors have stood out as efficient and appropriate devices due to their various advantages when performing movement tests. Operating with them requires software capable of providing the user with a series of tools and functionalities that allow them to obtain valuable information. Consequently, using the Python programming language, a new software proposal is made for the MPU-9250 device. This includes the required functionalities for the new version, among which are: real-time signal visualization, the possibility of reconfiguring the device to different working modes, management of software access levels, storage of data received from the IMU, and the design of a more intuitive and optimal user interface. The final result provides a program with a simple, robust, and reliable design as common errors and failures during its operation are corrected and the security of the program is guaranteed from the outset.

**KEY WORDS:** Inertial Measurement Unit(IMU), Python, PyQt, Matplotlib, Graphical User Interface(GUI).

## 1. INTRODUCCIÓN

Realizar el estudio de la marcha humana es posible gracias a los grandes avances tecnológicos que se han producido en el ámbito de la captura de movimiento. Esta evolución ha dado lugar a nuevas técnicas y

dispositivos que permiten una evaluación objetiva de los diferentes parámetros de los que se compone la marcha, permitiendo obtener mejor calidad de las medidas tomadas y ayudando a los especialistas a diagnosticar mejor a los pacientes. De esta forma el margen de error se reduce de manera considerable.

La mayoría de las aplicaciones importantes del análisis de la marcha se han desarrollado en entornos clínicos, con el fin de desarrollar el diagnóstico de enfermedades y la toma de decisiones sobre tratamientos. Los parámetros medidos de la misma son considerados una herramienta útil para el diagnóstico de enfermedades del sistema nervioso, tales como Alzhéimer, parálisis cerebral, la enfermedad de Parkinson, artrosis, lesiones medulares etc. Además, en el perfil de biomédica los parámetros de marcha son la base para diseñar prótesis, exosqueletos y robots de rehabilitación [1].

Los nuevos métodos basados en sensores inerciales han mostrado excelentes resultados para realizar dicho estudio. Se componen con acelerómetros y giroscopios que permiten grabar la cinemática de los miembros inferiores durante la marcha. Los sensores inerciales son colocados en los segmentos corporales para medir la aceleración y velocidad relativa a un marco de referencia. Las mediciones reflejan la intensidad y frecuencia de los movimientos en la marcha [2]. Estos generan grandes cantidades de datos que deben ser procesados y analizados para su interpretación. Esto implica la necesidad de utilizar herramientas y software especializados para la visualización, procesamiento y análisis de los datos.

En el caso de Cuba se realizan investigaciones sobre la marcha en el adulto mayor con la finalidad de diagnosticar las dificultades locomotoras en la tercera edad. Según [2] estos procedimientos se realizan visualmente y tienen un carácter subjetivo lo que favorece la ocurrencia de errores a la hora de implementarlo. Por lo tanto, es importante la aplicación de técnicas objetivas para la estimación de dichos parámetros, que permitan identificar de manera más eficiente y exacta a los adultos mayores vulnerables y con mayor riesgo de discapacidad.

Por ello se ha desarrollado un dispositivo electrónico basado en sensores inerciales (IMU’s) y, asociado a este, un software sencillo que, en conjunto conforman un módulo capaz de digitalizar las señales de los sensores inerciales, transmitirlos vía Bluetooth, y almacenarlas en una base de datos para su posterior estudio y análisis. Dicho software fue desarrollado en Python como lenguaje de programación base y consta de una ventana con dos botones, una para iniciar la comunicación con el dispositivo y otra para detenerla
La falta de cumplimiento de los requerimientos necesarios en el software para el control del dispositivo integrado con IMU's, MPU-9250 puede generar una serie de limitaciones en su aprovechamiento, lo que a su vez reduce significativamente las prestaciones que puede brindar al usuario.

El entorno del software es bastante pobre, no brinda información alguna sobre el proceso que se está ejecutando ni tampoco de las señales que va recibiendo. El usuario no dispone de opciones para reconfigurar el modo de trabajo del equipo desde el propio software, lo que puede afectar su desempeño en diferentes situaciones y además no es capaz de mostrar las señales en tiempo real. Por tanto, el objetivo de este trabajo es desarrollar una nueva versión del software que resuelva las deficiencias de la versión anterior permitiendo aprovechar al máximo las prestaciones del dispositivo y brinde además una mejor experiencia al usuario durante su trabajo con el mismo.

Por tanto, las contribuciones científicas fundamentales que se hacen en este trabajo radican en la mejora de la objetividad en el análisis de la marcha al emplear técnicas más objetivas de medición, en este caso mediante el empleo de un dispositivo electrónico basado en sensores inerciales (IMU's) y el diseño de un software asociado al mismo, que permite controlar y gestionar el funcionamiento del dispositivo, digitalizar las señales de los sensores y mediante comunicación vía Bluetooth recibir y almacenar en una base de datos las muestras tomadas para su posterior estudio y análisis. Además, esta nueva versión del software desarrollado aborda las deficiencias identificadas en la versión anterior. Proporciona una interfaz más amigable para el usuario, brinda información sobre el proceso en ejecución y las señales recibidas, permite reconfigurar el modo de trabajo del dispositivo desde el propio software y muestra las señales en tiempo real. Estas mejoras contribuyen a maximizar las prestaciones del dispositivo y a proporcionar una experiencia más satisfactoria al usuario durante su trabajo.

## 2. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS.

Este proyecto, a fin de lograr un software más completo y eficiente, se rigió por una serie de requisitos necesarios para poder presentar la aplicación como una herramienta para manejar el dispositivo MPU-9250. Estos requerimientos fueron elaborados principalmente a partir de las incapacidades antes mencionadas del software primitivo y de consideraciones de varios especialistas. A continuación, se mencionarán los requisitos a los cuales se les dio solución en esta investigación:

- Mostrar señales de los sensores en tiempo real.
- Gestionar el nivel de acceso de la aplicación.
- Gestionar parámetros de configuración de los sensores.
- Almacenar los datos agregando la opción de editar el nombre del archivo a guardar.
- Diseñar una interfaz más intuitiva y factible para el usuario.

## 3. ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO.

Para desarrollar el algoritmo del nuevo software se tomó como base el funcionamiento del software primitivo que se elaboró para manejar el dispositivo MPU-9250. Dicho software, una vez levantada la aplicación en la computadora, ejecutaba automáticamente un hilo, que no es más que una función que corre independiente a la ventana principal del programa y paralela a los otros procesos que vaya a ejecutar la aplicación. Esta función se encargaba de escanear los dispositivos que tuvieran habilitada la comunicación por bluetooth, entonces si el nombre del dispositivo en cuestión estaba entre los anteriores, establecía la comunicación con él y definía los parámetros de configuración que estaban por defecto en el cuerpo del código del programa, que luego serían enviados al IMU en el método de muestreo.

Una vez establecida la conexión entre la PC y el dispositivo, el programa entraba en un estado de espera en el que no realizaba ninguna operación adicional. Permanecía a la espera de la señal de iniciar, la cual se activaba al presionar el botón correspondiente. Al presionar dicho botón, se ejecutaba la función de muestreo en un hilo independiente, que funcionaba de manera paralela a la ventana principal.

Correr estas funciones en hilos de programación, los cuales se ejecutaban en momentos diferentes, garantizó un manejo más robusto y fluido del software, evitando bloqueos o retrasos en la ejecución de las operaciones de muestreo y facilitando la interacción del usuario con la aplicación. En la figura 1 se ha mostrado el algoritmo antes descrito, en líneas discontinuas se indican los procesos que ocurren de forma paralela a la ventana principal del programa y transparentes al usuario.

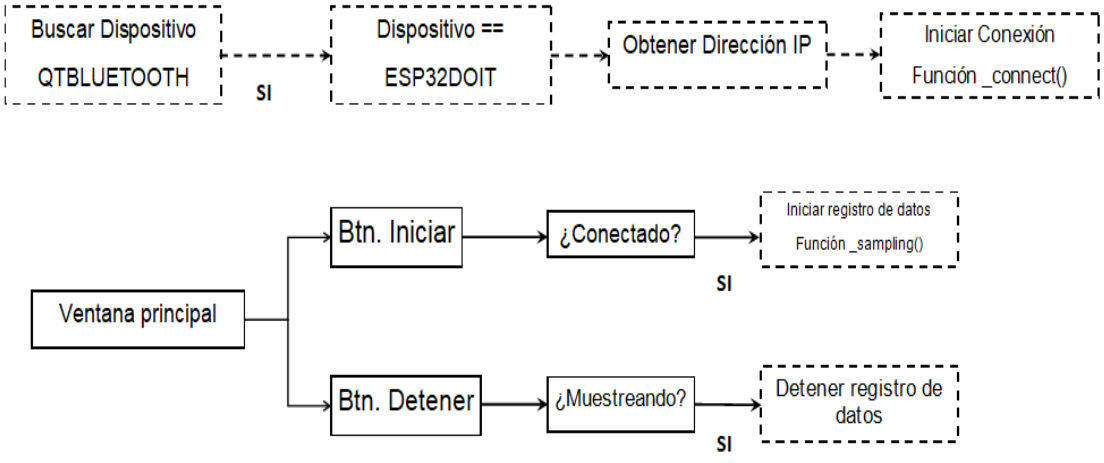



Figura 1: Algoritmo del software primitivo.

Independientemente de esto, el software ofrecía una ventana (ver figura 2), del tipo QMainWindow del módulo de PyQt la cual mostraba dos botones; uno para iniciar la transmisión y recepción de los datos que resultaban del muestreo del dispositivo cuando estuviera conectado al PC, y otro botón para detener este proceso. Además de eso contaba con un menú y una barra de estado para indicar el proceso que se estaba ejecutando. Esta versión se realizó para satisfacer la urgencia de trabajo con el dispositivo IMU. Consta de dos métodos fundamentales: el de conexión y el de muestreo.




Figura 2: Interfaz gráfica del software anteriormente.

El método de conexión: **_connect()**, crea un socket de comunicación, en este caso de la familia AF_BLUETOOTH, la cual es para sockets de comunicación por bluetooth; protocolo de transporte SOCK_STREAM (TCP), y dentro de la familia antes mencionada el protocolo BTPROTO_RFCOMM [3]. Entonces como anteriormente fueron escaneados los dispositivos disponibles, y se tomó la dirección IP del que tuviera el nombre ESP32DOIT, se crea un canal de comunicación y finalmente se proporcionan estos dos valores como una tupla de dirección y canal como argumentos para la el socket que fue creado.

Para la ejecución de este método se habilitó un botón en la ventana principal del programa, así el usuario tendría un mayor control de cuando establecer la conexión con el dispositivo y no que fuese un proceso automático al ejecutar el programa.

Por otro lado, el método de muestreo, el cual se ejecuta al presionar el botón iniciar si se está conectado con el dispositivo, envía el comando al chip en conjunto con los valores de configuración de los sensores a través del socket de comunicación para que el dispositivo comience a tomar muestras y a transmitirlas al PC. Para que el usuario pudiera modificar dichos parámetros desde la ventana del software se desplegaron en la misma, unos combo boxes, los cuales le permiten al usuario escoger de una lista suministrada con el rango tanto para el acelerómetro como para el giroscopio. Además, se añadió un espacio para seleccionar la frecuencia de muestreo con la que se desea realizar las pruebas.

Después de la configuración, se inicia un bucle que realiza el tratamiento de los bytes recibidos. En cada iteración del bucle, se espera un tiempo determinado para recibir los datos del dispositivo. Durante cada recepción se procesa y almacena la información recibida en diferentes variables. Al detener el muestreo, presionando el botón “Detener”, se sale del bucle y se guarda la información recopilada en las variables en un archivo CSV. El nombre del archivo CSV a guardar no podía ser editado por el usuario en la primera versión y para resolver esto se habilitó una pequeña opción donde el usuario pudiera definir el nombre de dicho archivo.

## 4. ALGORITMO DE LAS NUEVAS FUNCIONALIDADES.

Uno de los objetivos importantes de este trabajo era lograr que la nueva versión del software permitiera *mostrar en tiempo real las muestras* que se recibían de cada uno de los sensores. Esta capacidad de mostrar en tiempo real las muestras recibidas es un aspecto fundamental en los programas dedicados a sensores inerciales. Esta funcionalidad brinda beneficios significativos pues permite a los desarrolladores

de software verificar y validar el correcto funcionamiento de los sensores. Al observar los datos en tiempo real es posible detectar patrones, anomalías o errores que puedan surgir durante la adquisición de datos. Además, la visualización en tiempo real proporciona retroalimentación inmediata y en tiempo real sobre el comportamiento de los sensores. Esto resulta especialmente útil durante el desarrollo de algoritmos y técnicas de procesamiento de señales, ya que permite evaluar su rendimiento y ajustar los parámetros en función de los datos en tiempo real.

En aplicaciones de monitoreo de actividad física o deportiva, la visualización en tiempo real de los datos del acelerómetro, giroscopio o magnetómetro permite a los usuarios realizar un seguimiento de su rendimiento y obtener retroalimentación en tiempo real. Esto puede resultar motivador y útil para ajustar la técnica, mejorar el rendimiento o prevenir lesiones.

Para desarrollar esta funcionalidad, en esta versión del software se hizo uso de la librería **Matplotlib** de Python, la cual es una biblioteca de visualización de datos en Python que ofrece herramientas y capacidades para crear gráficos y visualizaciones de alta calidad [4]. Para el procesamiento y visualización de datos en tiempo real contiene una clase llamada **FuncAnimation**, la cual permite generar una secuencia de imágenes en un bucle, actualizando los datos y redibujando el gráfico en cada iteración [5]

Para utilizar la clase FuncAnimation, se requiere de varios parámetros esenciales para crear una instancia que represente la animación generada. Estos parámetros permiten definir la figura en la cual se realizará la animación, especificar la función encargada de actualizar los datos y redibujar el gráfico en cada iteración, establecer el número de frames a generar, controlar el intervalo de tiempo entre cada frame, determinar si la animación se repetirá después de completar todos los frames, y habilitar la opción de actualizar solo las partes modificadas del gráfico en lugar de redibujar todo el gráfico en cada iteración [6].

Pero antes de describir el funcionamiento del método, primeramente, se retomó la función de muestreo mencionada en la Sección III agregándole una modificación importante que luego sería útil en la función para graficar en tiempo real. Esta modificación no fue más que incluir en el bucle donde se recibían los datos y se almacenaban en las variables los valores, unos nuevos arreglos en los cuales siempre se tendrían los últimos datos recibidos de cada sensor. La cantidad de datos de dichos arreglos estaba determinada según la frecuencia de muestreo que se le configura al dispositivo antes de iniciar la recepción.

Luego, en el método para graficar, se crea una figura con tres subgráficos, uno para cada eje del sensor a mostrar en tiempo real. Cada subgráfico mostrará una línea 2D, que resultaría de enlazar los valores de los arreglos antes mencionados. Se definió además, en este método, los parámetros necesarios para utilizar correctamente la clase FuncAnimation, especialmente la función **def _animate(),** la cual se llama en cada cuadro (frame) de la animación y se encarga de actualizar los datos de las líneas de los subgráficos. La figura 3 muestra dicha función. En esta figura, la 'x' no es más que un arreglo de números desde el 0 hasta la cantidad de muestras que se reciben por segundo. Estos valores serían las abscisas y los valores de los arreglos con los últimos datos serían las ordenadas, y ambas cosas conformarían las líneas 2D.

```
def animate(i):

    x=np.linspace(0,self.frec_int,self.frec_int)

    line1.set_data(x,self.lastdataAx)
    line2.set_data(x,self.lastdataAy)
    line3.set_data(x,self.lastdataAz)
```

Figura 3: Función *animate* del algoritmo para graficar en tiempo real.

Finalmente se agregó una opción en el Menú del programa llamada “Gráficos”, que desplegaba una opción para cada sensor, y cada opción estaba conectada a su respectivo método para mostrar en tiempo real. La figura 4 muestra el funcionamiento completo del método antes mencionado.

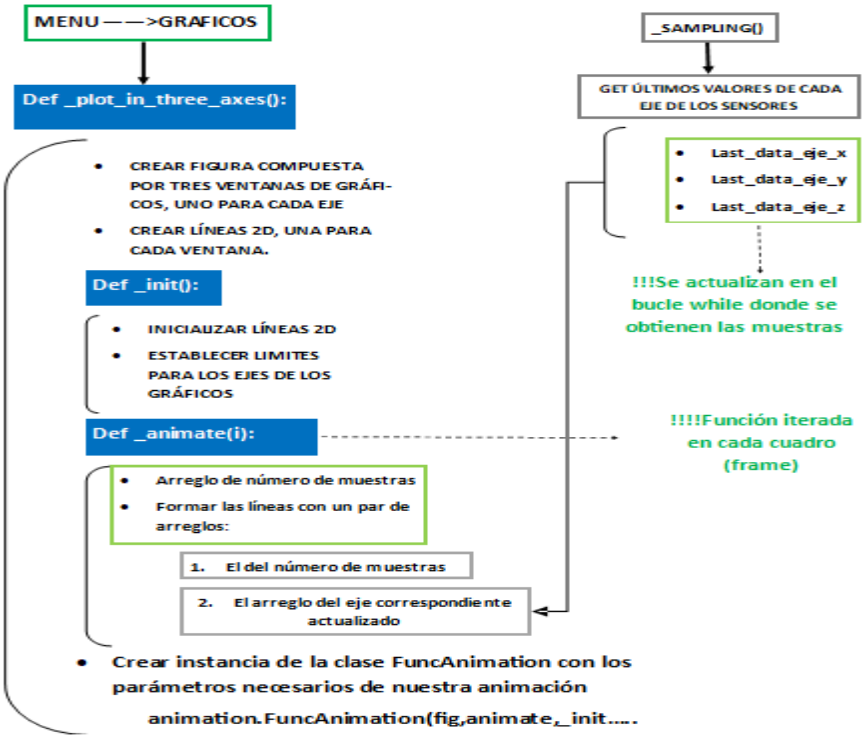



Figura 4: Algoritmo para mostrar señales en tiempo real.

Otro aspecto importante era poder *gestionar el nivel de acceso al software* y esto no es más que implementar mecanismos que permiten controlar qué usuarios o roles pueden acceder y utilizar determinadas funcionalidades o recursos del programa. El objetivo principal de esta gestión es garantizar la seguridad y la privacidad de los datos y proteger las funcionalidades sensibles del programa [7].

Para llevar a cabo la gestión del nivel de acceso, es común utilizar sistemas de autenticación y autorización. La autenticación se encarga de verificar la identidad del usuario, generalmente mediante credenciales como nombre de usuario y contraseña. Una vez que el usuario ha sido autenticado, la autorización determina los permisos y privilegios que se le asignan, definiendo qué recursos o acciones puede utilizar [8]

En este contexto se pueden establecer diferentes niveles de acceso: como administrador, usuario regular o invitado, y asignar a cada nivel los permisos correspondientes. Esto implica controlar el acceso a ciertas funcionalidades sensibles del programa, restringir la modificación o eliminación de datos importantes y permitir únicamente las acciones adecuadas para cada nivel de usuario.

En el software quedo desarrollado el nivel de acceso de la siguiente manera: se definieron dos roles el de administrador y el de usuario, se creó una base de datos de manera local, donde se registrarán los usuarios con sus contraseñas y sus roles respectivos, para funcionar offline y no depender de ningún servidor y como último elemento se desarrolló un método para encriptar y desencriptar la contraseña de cada uno de los usuarios. Este último proceso es completamente transparente al usuario, pero brindan la seguridad necesaria al software.

Luego se diseñó una ventana de autenticación como nivel de seguridad para acceder a la ventana principal de software y, en caso de haber ingresado como administrador, el Menú del programa tendrá habilitada una opción para gestionar la base de datos de usuarios y contraseñas del programa, permitiendo así añadir o eliminar usuarios.

A continuación, se explica de manera detallada cómo funciona este mecanismo:

1. Encriptación y desencriptación de la información: Se utilizó la biblioteca cryptography.fernet., la cual ofrece cifrado simétrico. Esto permitió proteger las contraseñas almacenadas en la base de datos.
2. Creación de la base de datos: Se empleó la librería sqlite3 para desarrollar algoritmos para que el software tuviera la capacidad de crear una base de datos local automáticamente, la cual estaría conformada por una tabla que almacenaría los usuarios, sus contraseñas y sus roles.
3. Diseño de la ventana de gestión de la base de datos: Se diseñó una ventana específica en la interfaz gráfica del software para gestionar la base de datos de usuarios. Esta ventana solo es accesible como administrador, incluye dos funciones principales: agregar usuario y eliminar usuario.
4. Función de agregar usuario: Se implementó una función en Python que se conectaba a la base de datos utilizando sqlite3. Esta función permite agregar registros a la tabla de usuarios, encriptando la contraseña antes de almacenarla en la base de datos.
5. Función de eliminar usuario: Se creó otra función en Python para eliminar registros de la tabla de usuarios en la base de datos. Esta función se encarga de eliminar usuarios específicos según su identificador.
6. Ventana de autenticación: Se desarrolló una ventana de autenticación en la interfaz gráfica del software. Esta es la primera que se muestra al ejecutar el programa. Al ingresar un usuario y contraseña, se realiza una consulta a la tabla de usuarios en la base de datos utilizando lenguaje SQL con sqlite3. Si se encuentra el usuario, se desencripta la contraseña almacenada en la base de datos y se compara con la contraseña ingresada en el campo de la ventana de autenticación. Si las contraseñas coinciden, se permite el acceso a la ventana principal del programa.

La figura 5 muestra cómo queda el mecanismo antes descrito para gestionar el nivel de acceso del software.

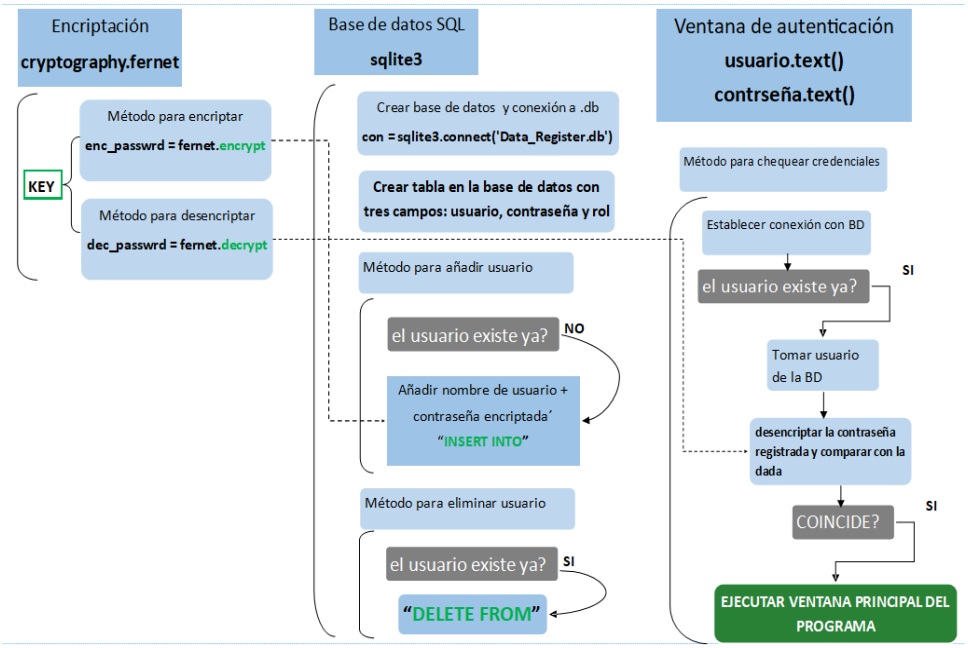



Figura 5: Mecanismo para gestionar el nivel de acceso al software.

## 5. RESULTADOS

La ventana de autenticación del software fue desarrollada como una clase del tipo QDialog de la librería de PyQt. La clase QDialog esencialmente se emplea para desarrollar ventanas de diálogos, las cuales se utilizan comúnmente de forma independiente en aplicaciones con estilo de ventana principal para comunicarse e interactuar brevemente con el usuario [9]. En este caso, la interacción está dada, debido a que se requieren las credenciales del usuario para utilizar el programa. La figura 6 muestra el diseño de dicha ventana. La ventana de diálogo presenta un diseño intuitivo y sencillo.

En ella se encuentran dos líneas de texto destinadas a ingresar los datos de usuario, permitiendo así la autenticación en el software. Además, se proporcionan dos opciones para indicar el rol del usuario, brindando flexibilidad en los permisos y funcionalidades que estarán disponibles.

Los botones presentes en la ventana, tales como el botón "Login" y el botón "Exit", desempeñan un papel fundamental en la interacción con el usuario. Al hacer clic en el botón "Login" se ejecuta el método para chequear las credenciales, (ver figura 5), que se encarga de realizar las acciones correspondientes para iniciar sesión y acceder a las funcionalidades del programa. Por otro lado, al presionar el botón "Exit" se activa el método "close()" que cierra la ventana de diálogo.




Figura 6: Ventana de autenticación.

Antes de pasar a la ventana principal del programa, cabe destacar que, al ejecutar el software por primera vez en un ordenador, se crea automáticamente una base de datos para almacenar los usuarios y contraseñas. Como medida de seguridad y para garantizar la independencia del software de herramientas externas, se estableció un usuario y contraseña de administrador por defecto. Estas credenciales son exclusivas para el primer inicio del programa y se proporcionan únicamente a aquellos usuarios que utilicen el software por primera vez.

Esta estrategia elimina la necesidad de configurar manualmente una base de datos y brinda una capa adicional de seguridad desde el inicio. El administrador predeterminado se utiliza como punto de partida para el acceso inicial al programa, permitiendo la posterior creación de usuarios personalizados y sus respectivas contraseñas.

Una vez autenticado el usuario, se presenta la ventana principal del programa, la cual ha sido diseñada para ofrecer al usuario el espacio necesario para acceder a todas las acciones y opciones disponibles. Su tamaño está adecuado para lograr una disposición equilibrada de los elementos.

La figura 7 muestra como quedó el diseño de la interfaz de esta ventana. La presencia de una imagen y un título destacado en la ventana contribuyen a su atractivo visual y proporcionan un aspecto más agradable y asociativo a la función que ejerce el programa. La imagen en particular se escogió para representar la identidad visual del software.




Figura 7: Ventana principal del programa.

En la barra de herramientas ubicada en la parte superior de la ventana, se han incluido opciones claves como la visualización en tiempo real de las señales “Gráficos” y gestionar la base de datos de usuarios del programa “Users_DB” (ver figura 7). Esta decisión se debe a que ambas son herramientas de apoyo fundamental, una en el proceso de análisis y seguimiento de datos y la otra, para controlar quién puede acceder al programa y con qué permisos. Es común encontrar estas opciones en la barra de herramientas ya que facilitan su acceso y utilización de forma rápida.

En el centro de la ventana se ha seguido un enfoque de diseño basado en la lectura natural de los usuarios de arriba hacia abajo, que prioriza la disposición de los elementos en este orden, siguiendo el flujo de acciones que el usuario debe realizar, comenzando por ajustar los parámetros de la medición a través de las opciones disponibles y luego proceder a ejecutar acciones mediante los botones para controlar las acciones y funcionalidades del dispositivo, y, por último, una barra de estado en la parte inferior de la ventana, con el propósito de notificar e indicar el proceso que se está ejecutando en cada momento. (ver figura 7).

En la figura 8 se muestra esta ventana con las señales del acelerómetro cuyos valores corresponden al instante donde el sensor se encontraba en reposo apoyado sobre una superficie. Además, se ha proporcionado una leyenda en la parte superior derecha de la ventana que indica a qué eje del acelerómetro corresponde cada línea del gráfico. En esta ventana se pueden utilizar las opciones proporcionadas por la barra de herramientas de Matplotlib, como hacer zoom, desplazarse por el gráfico, guardar la cinemática, entre otras.

La última ventana a la cual el usuario puede acceder es la mostrada luego de tocar la opción en la barra de herramientas “User_DB”: la ventana para gestionar la base de datos, mostrada en la figura 9. Esta se desarrolló siguiendo el mismo principio de la ventana de autenticación, del tipo QDialog solo para interactuar con el usuario y solicitarle los datos necesarios. Los botones “Añadir Usuario” y “Eliminar usuario” están asociados a las funciones correspondientes de agregar o eliminar usuario (ver figura 5).

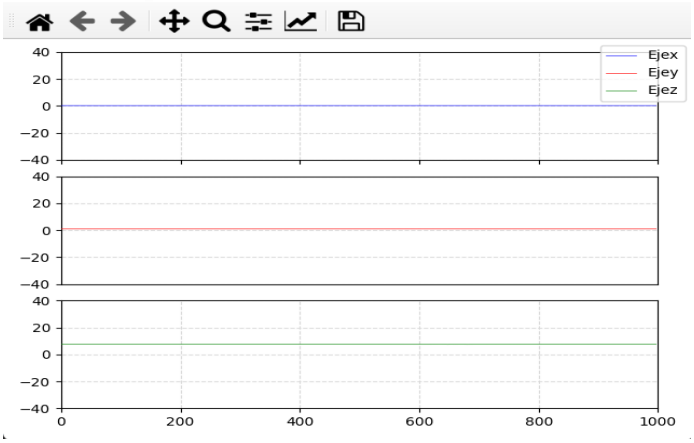



Figura 8: Ventana de gráficos.

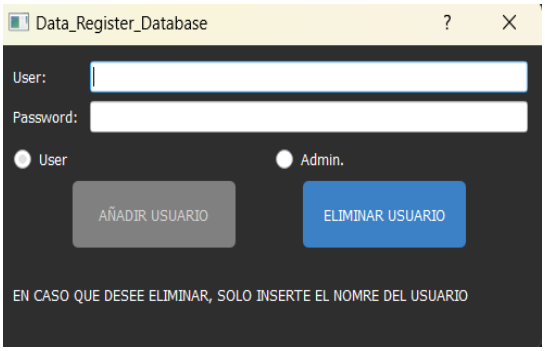



Figura 9: Ventana para la gestion de usuarios.

Por otro lado, se ha puesto un énfasis especial en minimizar los errores al interactuar con las ventanas del software. En la figura 7 se puede observar que los botones "Iniciar" y "Detener" tienen un color diferente al botón "Conectar". Esto se debe a que inicialmente dichos botones están deshabilitados hasta que el programa se encuentre en el estado adecuado para que estos puedan realizar sus funciones correspondientes.

En el caso del botón "Iniciar", permanecerá inhabilitado si la conexión con el dispositivo aún no se ha establecido. Es imposible iniciar la recepción de muestras si no se está conectado, por lo tanto, el botón permanece desactivado. Una vez que los dispositivos estén enlazados, el botón "Iniciar" se habilita y adquiere su color correspondiente. Del mismo modo, el botón "Detener" sigue un principio similar. No es posible detener un proceso de muestreo que no se ha iniciado previamente, por lo que este botón solo estará habilitado cuando se estén recibiendo los datos del IMU. Una vez iniciado el muestreo, el botón "Iniciar" se desactiva y solo estará disponible nuevamente después de detener la recepción de los datos.
De esta manera, se evita que el usuario intente realizar acciones incompatibles en cada etapa del proceso, brindando una interfaz más intuitiva y reduciendo la posibilidad de cometer errores.

En el desarrollo tanto de la ventana de autenticación como de gestión de usuarios, se trabajó en su robustez ante negligencias. Los botones de "Login" y "Añadir usuario" permanecerán deshabilitados hasta que tanto el campo de usuario como el de contraseña no estén vacíos. Esta implementación tiene un impacto significativo en la experiencia del usuario, ya que les permite percatarse rápidamente de la falta de datos requeridos antes de intentar iniciar sesión o agregar un nuevo usuario. Esto evita el intento de iniciar sesión sin las credenciales necesarias o de añadir usuarios incompletos.

En la figura 10 se ilustra de manera visual el comportamiento previamente mencionado en la ventana de autenticación. Esta imagen captura dos momentos claves: a) la persistencia de los botones en un estado bloqueado incluso cuando el campo de usuario ha sido ingresado, y b) la habilitación de dichos botones una vez que todos los datos requeridos han sido completados. Esta funcionalidad permite al usuario verificar visualmente si se han proporcionado todos los datos necesarios y se ha implementado con el objetivo de evitar intentos de inicio de sesión inválidos y la adición de usuarios incompletos a la base de datos.

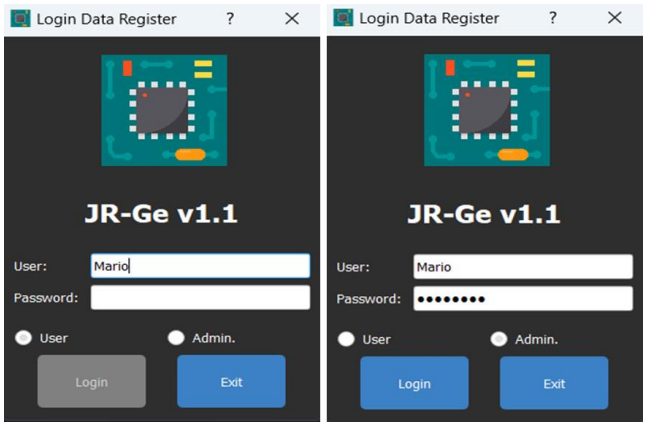



Figura 10: Comportamiento de los botones ventana de autenticación.

En el proceso de autenticación, se implementaron mecanismos para notificar al usuario sobre posibles errores al ingresar sus credenciales. Si los campos de usuario y contraseña son completados, pero contienen información incorrecta debido a que no coincide con ningún registro de la tabla de la base de datos, se muestra una etiqueta indicando "Usuario y/o contraseña incorrectos". En caso de que el error radique en la selección incorrecta del rol correspondiente, se desplegará la etiqueta "Seleccione correctamente su Rol".

Algo parecido a lo anterior sucede a la hora de añadir o eliminar un usuario de la base de datos. Se buscó brindar una experiencia intuitiva al usuario, asegurándose de que el software le notifique el resultado de sus acciones y evitando que se sienta desorientado. En la ventana correspondiente se incluyeron etiquetas que informan sobre el éxito o fracaso de las operaciones realizadas.

Al intentar agregar un nuevo usuario, si se completan todos los campos requeridos y se selecciona la opción correspondiente, aparecerá una etiqueta en la parte inferior de la ventana con el mensaje “Usuario añadido exitosamente”, confirmando que el proceso se ha llevado a cabo correctamente. Sin embargo, si el usuario que se intenta agregar ya existe en la base de datos, se mostrará el mensaje “El usuario ya existe”, lo cual se verifica previamente en la estructura de gestión de usuarios. En el caso del proceso de eliminación, que solo requiere indicar el nombre de usuario a eliminar de la base de datos, se notifica al usuario si el campo permanece vacío o si se ingresa un nombre de usuario que no existe en la base de datos, mostrando en ambos casos el mensaje “El Usuario no existe”. Si se proporciona un nombre registrado con anterioridad en la base de datos, cuando la operación termina se indicará que dicho usuario ha sido eliminado.

De esta manera, se mantiene una comunicación clara y transparente con los usuarios, proporcionándoles información sobre sus acciones, lo que deben hacer y los resultados obtenidos después de cada acción ejecutada en el software.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso un nuevo software para el trabajo con el dispositivo *wearable device* basado en sensores inerciales desarrollado en conjunto por el Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales, Cujae, y el Centro de Neurociencias de Cuba, con el objetivo de realizar estudios de la marcha humana. Para ello se desarrollaron algoritmos para establecer la comunicación con el dispositivo, mostrar en tiempo real las señales, gestionar parámetros de configuración de los sensores, controlar las acciones del dispositivo desde el propio software y gestionar el nivel de acceso de la aplicación entre otros.

Empleando el lenguaje de programación Python en conjunto con las librearías Matplotlib, sqlite3, cryptography, socket, PyQt y otras, fue posible implementar estas funcionalidades en el programa, brindarle un diseño más atractivo e intuitivo para el usuario y dando como resultado final Se elabora un software altamente funcional y confiable en su uso dado que se eliminaron los errores y fallas que pudieran ocurrir ante posibles equivocaciones del usuario al trabajar con el mismo.

## REFERENCIAS

1. GONZALEZ-ISLAS, J. C.; DOMINGUEZ-RAMIREZ, O. A.; CASTILLEJOS-FERNANDEZ, H.; CASTRO-ESPINOZA, F. A. J. P. B. C. d. C. B. e. I. d. I. *"Human gait analysis based on automatic recognition: A review."* Vol. 10, No. Especial 3, 2022, pp. 13-21.
2. MENDEZ, H. M. R.; MARTINEZ, R. *"Uso de sensores inerciales en la medición y evaluación de movimiento humano para aplicaciones en la salud."* Vol. 20, 2013, p. 21.
3. PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Low-level networking interface* [en línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/3/library/socket.html>.
4. LAVANYA, A.; SINDHUJA, S.; GAURAV, L.; ALI, W. *"A Comprehensive Review of Data Visualization Tools: Features, Strengths, and Weaknesses."* 2023.
5. GEEKSFORGEEKS. *Matplotlib.animation.FuncAnimation class in Python* [en línea]. Disponible en: <https://www.geeksforgeeks.org/matplotlib-animation-funcanimation-class-in-python>.
6. MATPLOTLIB. *Matplotlib 3.7.1 documentation* [en línea]. Disponible en: <https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.animation.FuncAnimation.html>.
7. MCGRAW, G. J. D. u. D.-D. *"Software security: Building security in."* Vol. 36, No. 9, 2012, pp. 662-665.
8. WHITMAN, M. E.; MATTORD, H. J. *Principles of information security.* Cengage Learning, 2021.
9. RAMOS, L. P. *Python and PyQt: Building a GUI Desktop Calculator* [en línea]. Disponible en: <https://realpython.com/python-pyqt-gui-calculator/>.

## SOBRE LOS AUTORES

Mario Bernal Pérez: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor e investigador de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
Fidel Ernesto Hernández Montero: Dr C. e Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor Titular e Investigador de la Universidad Tecnológica de La Habana. Miembro de la Asociación Internacional de Reconocimiento de Patrones (IAPR) y a la Asociación Cubana de Reconocimiento de Patrones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SOFTWARE PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN LA ACTIVIDAD DE VIGILANCIA Y LUCHA ANTIVECTORIAL

**Yudisel Santana Pacheco[1],**

[1]Yudisel Santana Pacheco, Km ½ Carretera Blanquizal, Manzanillo, Granma
[1]yudisel@gmail.com

**RESUMEN**

La transformación acelerada de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ha proporcionado al sector de la salud pública en Cuba un conjunto de técnicas, procederes y herramientas capaces de elevar la calidad del servicio en entidades y programas de todas las especialidades. La presente investigación expone el desarrollo de un sistema informático para la gestión de información en la actividad de Vigilancia y Lucha Antivectorial e implementación de los resultados en el Policlínico Docente Ángel Ortiz Vázquez. La gestión manual de datos en esta área ha causado pérdida de información importante y retrasos en la toma de decisiones críticas. El sistema propuesto digitaliza este proceso, mejorando la eficiencia y rapidez en la gestión de registros diarios, focos y cargas. Se utilizaron tecnologías de código abierto como PHP, HTML5 y MySQL, empleando los frameworks CodeIgniter y Bootstrap. La metodología ágil XP guió la implementación, asegurando la entrega de un producto robusto y funcional. Los resultados muestran una reducción significativa en errores y tiempos de procesamiento, aumentando la precisión y disponibilidad de la información. El software incluye funcionalidades como el registro diario, la gestión de focos, la planificación de actividades y la generación de reportes personalizados, además de un sistema de alerta temprana. Estos avances representan un progreso significativo en el control y monitoreo de la actividad antivectorial, mejorando la calidad de vida en la comunidad al optimizar los recursos de salud disponibles.

**PALABRAS CLAVES:** Vigilancia Antivectorial, Sistema de Gestión de Información, Tecnologías de Código Abierto.

## SOFTWARE FOR INFORMATION MANAGEMENT IN SURVEILLANCE AND ANTI-VECTOR FIGHT ACTIVITY

**ABSTRACT**

The present research exposes the development of a computer system for information management in the activity of Surveillance and Anti-Vector Fight and implementation of the results in the Ángel Ortiz Vázquez Teaching Polyclinic. Manual data management in this area has caused loss of important information and delays in making critical decisions. The proposed system digitizes this process, improving efficiency and speed in the management of daily records, lights and loads. Open source technologies such as PHP, HTML5 and MySQL were used, using the CodeIgniter and Bootstrap frameworks. The agile XP methodology guided the implementation, ensuring the delivery of a robust and functional product. The results show a significant reduction in errors and processing times, increasing the precision and availability of information. The software includes functionalities such as daily registration, focus management, activity planning and the generation of personalized reports, as well as an early warning system. These advances represent significant progress in the control and monitoring of anti-vector activity, improving the quality of life in the community by optimizing available health resources.

**KEY WORDS:** Vector Surveillance, Information Management System, Open Source Technologies.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los avances en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han transformado numerosos sectores, incluyendo la salud pública. En particular, la Vigilancia y Lucha Antivectorial se

beneficia significativamente de estos avances, dada la necesidad crítica de gestionar grandes volúmenes de datos con precisión y rapidez [1]. Tradicionalmente, la gestión manual de datos en este ámbito ha sido propensa a errores, pérdida de información y retrasos en la toma de decisiones, lo que puede tener graves consecuencias para la salud pública.

La gestión manual de datos ha sido una práctica común en muchos sistemas de salud, pero esta metodología presenta diversas limitaciones. La naturaleza repetitiva y propensa a errores del manejo manual puede resultar en la pérdida de datos críticos y la ineficiencia en la toma de decisiones. Además, la falta de un sistema centralizado dificulta el seguimiento y análisis de información a lo largo del tiempo, lo cual es esencial para la detección temprana y respuesta a brotes epidémicos.

Existen varios sistemas de software desarrollados para la gestión de información en salud pública y control de vectores. Sin embargo, muchos de estos sistemas no pueden ser implementados en todos los contextos debido a limitaciones como altos costos de licenciamiento, complejidad en la implementación, y falta de adaptación a las especificidades locales. Además, algunos sistemas existentes carecen de la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios rápidos y requerimientos específicos de cada región [2].

En el caso del Policlínico Docente Ángel Ortiz Vázquez, la gestión manual de datos ha resultado en problemas significativos como la pérdida de información, retrasos en la respuesta a brotes y errores en la recopilación de datos. Estas insuficiencias en el proceso de gestión han motivado el desarrollo de un sistema informático que aborde estas deficiencias y mejore la eficiencia y precisión en la vigilancia y lucha antivectorial.

En este contexto, se justifica el desarrollo de un sistema informático en el Policlínico Docente Ángel Ortiz Vázquez para mejorar la eficiencia y precisión en la gestión de datos relacionados con casos febriles, control de focos y planificación de actividades de lucha antivectorial. La motivación detrás de este trabajo radica en optimizar los recursos disponibles y mejorar la capacidad de respuesta ante brotes epidémicos. El objetivo general de esta investigación es diseñar e implementar un sistema informático que facilite la gestión de información en la vigilancia y control de vectores, utilizando tecnologías de código abierto y metodologías de desarrollo ágiles.

## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

El proceso de desarrollo comenzó con la identificación de los requerimientos del sistema mediante historias de usuario que detallaron las funcionalidades necesarias. Estas historias se priorizaron y planificaron en iteraciones, permitiendo una entrega incremental del producto.

El diseño del sistema se fundamenta en tecnologías de código abierto por su flexibilidad, robustez y coste reducido. Se utilizaron lenguajes como PHP, HTML5, XML, CSS y JavaScript, y los frameworks CodeIgniter y Bootstrap para la arquitectura del sistema. La base de datos fue gestionada con MySQL y el servidor web configurado con Xampp. La metodología ágil XP (Extreme Programming) fue seleccionada por su enfoque en la satisfacción del cliente y su capacidad para adaptarse a cambios rápidos y continuos [3]. El producto se enfocó en la usabilidad, utilizando Bootstrap para desarrollar interfaces intuitivas y fáciles de usar, mejorando la aceptación entre los usuarios y su adopción.

La arquitectura del sistema sigue un modelo cliente-servidor, donde el servidor web maneja las solicitudes de los clientes y procesa los datos almacenados en la base de datos MySQL. El uso de frameworks como CodeIgniter permitió la organización del código en módulos reutilizables, facilitando el mantenimiento y escalabilidad del sistema. Bootstrap se utilizó para diseñar interfaces de usuario responsivas y accesibles, asegurando una experiencia de usuario coherente en diferentes dispositivos.

La seguridad es un aspecto crítico del diseño [4]. Se implementaron medidas como el cifrado de contraseñas utilizando algoritmos de hash, controles de acceso basados en roles y la validación exhaustiva de datos de entrada para prevenir ataques comunes como la inyección SQL y el cross-site scripting (XSS). Además, se configuraron copias de seguridad automáticas de la base de datos para garantizar la integridad y disponibilidad de los datos en caso de fallos del sistema.

La arquitectura del sistema también incluye mecanismos de auditoría para rastrear cambios en los datos y accesos al sistema, asegurando la transparencia y responsabilidad en la gestión de la información. Los roles de usuario se definen claramente, limitando el acceso a funcionalidades críticas según el nivel de autorización, lo cual minimiza el riesgo de manipulación indebida de datos.

Cada iteración incluyó pruebas exhaustivas para identificar y corregir errores, asegurando que cada componente del sistema cumpliera con los estándares de calidad esperados.

## 3. PRINCIPALES RESULTADOS

El software para la gestión de información en la Actividad de Vigilancia y Lucha Antivectorial brinda un conjunto de funcionalidades implementadas mediante un diseño basado en la experiencia de usuario e interfaces intuitivas. Los especialistas, luego de acceder mediante usuario y contraseña encuentran un espacio de trabajo inicial donde pueden visualizar en el panel izquierdo todas las funcionalidades y un acceso directo de aquellas que se consideraron por los especialistas como fundamentales.

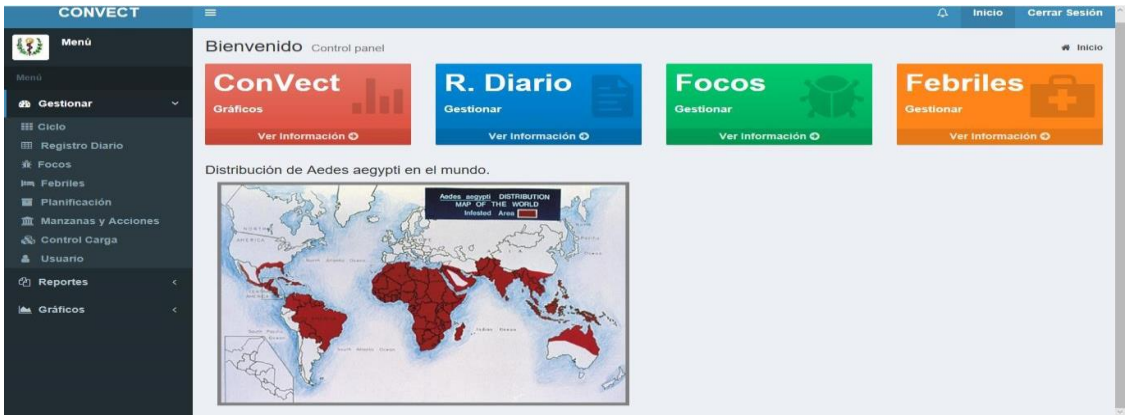



Figura 1: Interfaz principal luego del acceso al sistema.

**Registro Diario**

La funcionalidad Registro Diario, permite la inserción sistemática de actividades y observaciones desempeñadas por el grupo de control de vectores, asegurando que toda la información relevante esté actualizada y accesible para el equipo de salud. La información se agrupa en 4 aspectos: Viviendas, Depósitos, Operarios, Supervisores y Muestras. Otorgando un formulario para cada uno de estos registros.

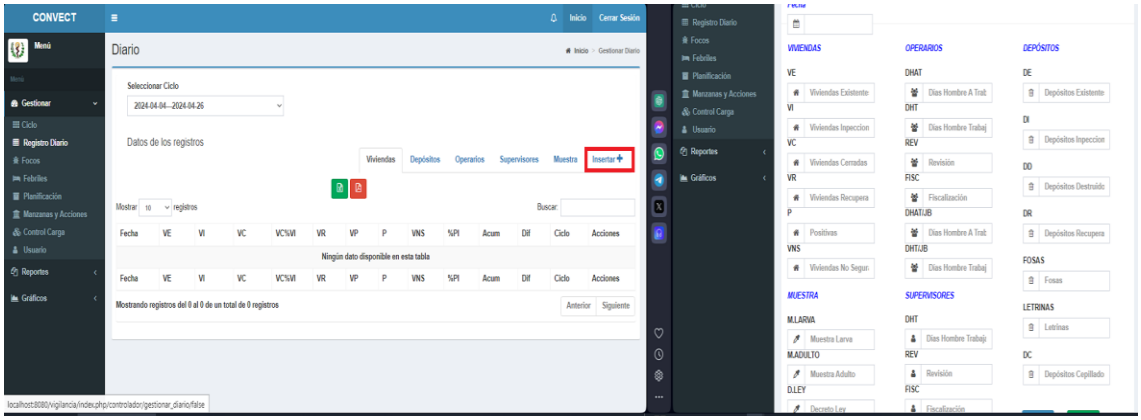



Figura 2: Funcionalidad para la gestión de la actividad diaria.

**Registro de Casos Febriles**

El sistema permite registrar y almacenar información detallada de los casos febriles detectados en el área de influencia del policlínico. Esto incluye datos del paciente, fecha de inicio de síntomas, y posibles fuentes de contagio. La digitalización de este proceso reduce los errores de transcripción y mejora la precisión de los datos.

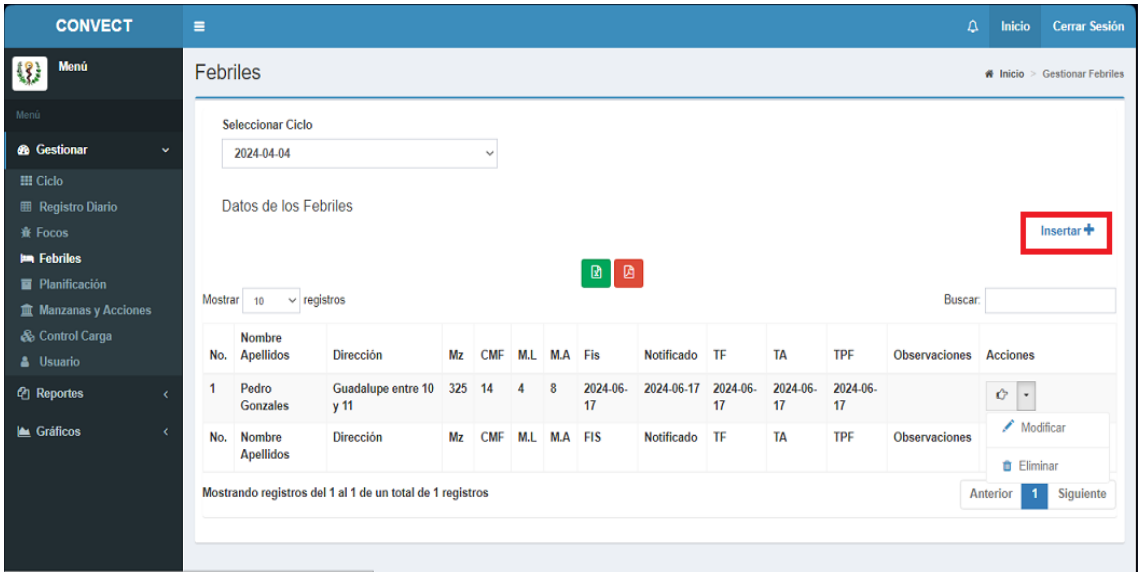



Figura 3: Funcionalidad para gestionar casos febriles existentes.

**Gestión de Focos**

Una de las funcionalidades más destacadas del sistema es la gestión de focos, precisándose como foco el lugar de aparición de una enfermedad transmitida por un vector [5]. El software permite registrar la ubicación geográfica de los focos, el tipo de vector identificado, y las acciones de control realizadas. Esto facilita el monitoreo y seguimiento a lo largo del tiempo, permitiendo una respuesta más rápida y efectiva.

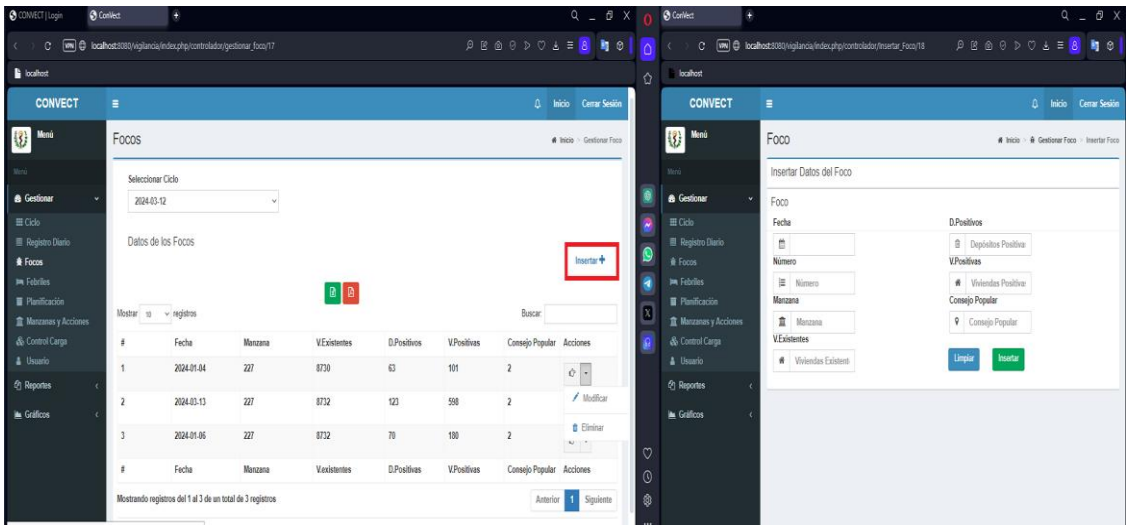



Figura 4: Funcionalidad para gestionar focos existentes.

**Planificación de Actividades**

El sistema incluye una herramienta para la planificación de actividades de lucha antivectorial. Los usuarios pueden programar visitas de inspección, fumigaciones, y otras actividades de control, asignando recursos de manera eficiente y evitando la duplicación de esfuerzos.

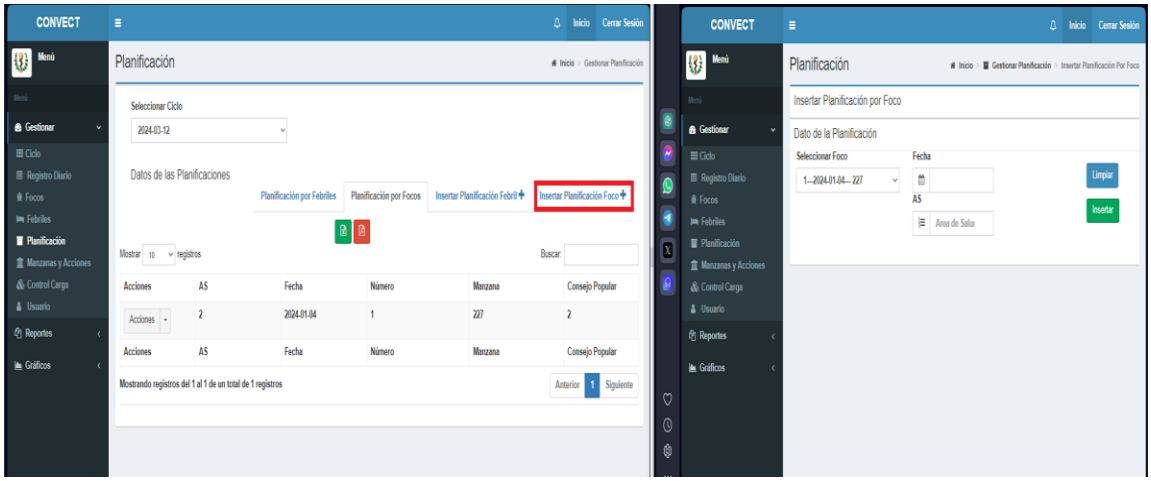
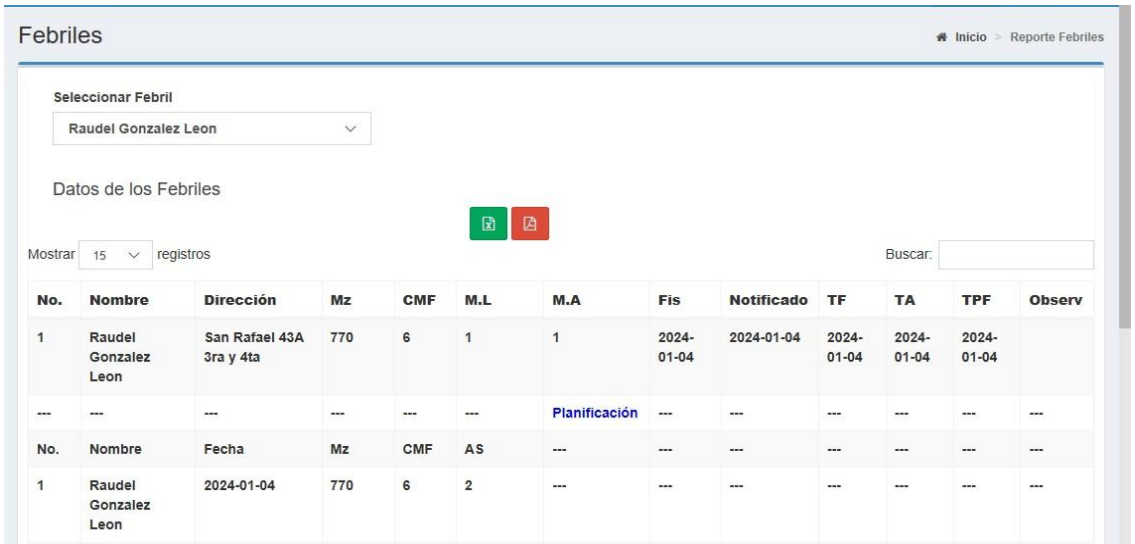



Figura 5: Funcionalidad para gestionar focos existentes.

**Generación de Reportes**

El sistema puede generar reportes personalizados sobre diferentes aspectos de la vigilancia y control de vectores. Estos reportes pueden incluir estadísticas sobre casos febriles, focos identificados, y actividades de control realizadas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y la planificación estratégica.




| No. | Nombre | Dirección | Mz | CMF | M.L | M.A | Fis | Notificado | TF | TA | TPF | Observ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Raudel Gonzalez Leon | San Rafael 43A 3ra y 4ta | 770 | 6 | 1 | 1 | 2024-01-04 | 2024-01-04 | 2024-01-04 | 2024-01-04 | 2024-01-04 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | Planificación | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Nombre | Fecha | Mz | CMF | AS | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Raudel Gonzalez Leon | 2024-01-04 | 770 | 6 | 2 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

Figura 6: Reporte de todos los datos y acciones de un determinado caso febril reportado.

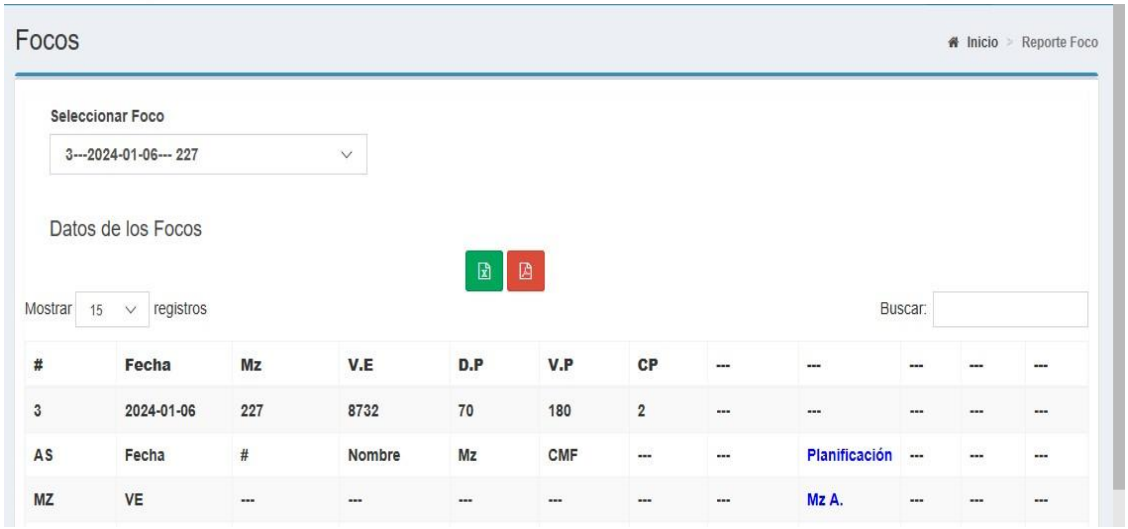



Figura 7: Reporte de todos los datos y acciones de los focos reportados en una fecha determinada.

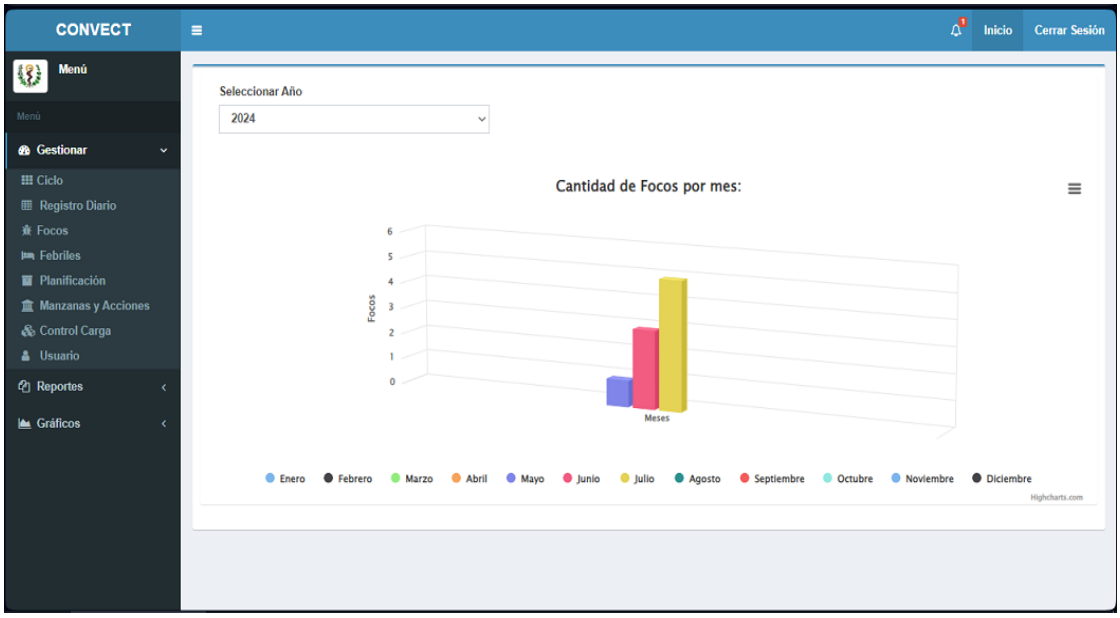



Figura 8: Reporte mensual de la cantidad de focos reportados.

**Alerta Temprana**

Otra funcionalidad clave es el sistema de alerta temprana, que notifica a los especialistas responsables cuando se detecta un aumento inusual en el número de casos febriles o focos de vectores. Existen alertas también, para el cumplimiento de algunos indicadores diarios como la cantidad de casas cerradas y casas inspeccionadas. Esto permite una intervención oportuna y reduce el riesgo de brotes epidémicos.

**Mejoras en la Gestión de Información**

La digitalización del registro y manejo de datos eliminó los errores comunes asociados con la transcripción manual, asegurando una mayor precisión en la información recolectada.

La automatización de tareas administrativas, como la generación de reportes y la planificación de actividades, resultó en una reducción significativa del tiempo necesario para completar estas tareas, permitiendo a los trabajadores de salud concentrarse en actividades más críticas.

El acceso a datos actualizados en tiempo real mejoró la capacidad de los gestores para tomar decisiones informadas rápidamente, lo cual es crucial en situaciones de emergencia sanitaria.

La planificación centralizada y el registro diario facilitaron una mejor coordinación entre los diferentes equipos y departamentos, optimizando el uso de recursos y esfuerzos.

La capacidad de acceder al sistema de manera remota ha sido una ventaja significativa, permitiendo a los usuarios consultar y actualizar la información desde cualquier lugar con conexión a internet. Esto ha mejorado la flexibilidad y capacidad de respuesta del equipo de salud.

## 4. CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación de un sistema de gestión de información para la Vigilancia y Lucha Antivectorial ha demostrado ser una solución eficaz para los problemas asociados con la gestión manual de datos. Los resultados indican una mejora significativa en la precisión, eficiencia y rapidez de los procesos de gestión de información. Las funcionalidades del sistema, como el registro de casos febriles, la gestión de focos de vectores, la planificación de actividades y la generación de reportes, han optimizado los recursos disponibles y mejorado la capacidad de respuesta ante brotes epidémicos. La metodología ágil XP y el uso de tecnologías de código abierto han permitido una implementación flexible y adaptable a las necesidades del usuario.

**RECONOCIMIENTOS**

La autora desea agradecer a todos los especialistas del departamento de Higiene y Epidemiología del Policlínico 2 Ángel Ortiz Vázquez por la colaboración y dedicación prestada al presente trabajo de investigación.

**REFERENCIAS**

1. MINSAP. "Normas nacionales para el control de vectores Cuba". Dirección Nacional de Higiene del Ambiente. 2013.
2. OCHOA O, Esperanza. " Modelajes de Vigilancia y Lucha Antivectorial en Cuba ". Dirección Nacional de Estadísticas, Unidad Nacional Vigilancia y Lucha Antivectorial, 2016.
3. Beck, K., et al. (2001). Manifesto for Agile Software Development. Agile Alliance.
4. GARCÍA PIERRAT, Gonzalo; VIDAL LEDO, María. "La informática y la seguridad. Un tema de importancia para el directivo". *INFODIR*, 2016, vol 22, pp. 47 - 58.
5. JAMES L, Hadler, LYLE R, Petersen. "Surveillance for vector-borne diseases. In: Infectious disease surveillance. Am J Epidemiol". 2013.

**sobre los autores**

El autor de la investigación es Máster en Informática Aplicada y profesor asistente de la Universidad de Granma. Labora como docente en el Departamento de Informática e imparte docencia a la carrera de Ingeniería Informática.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS DURANTE LA IMPLANTACION DEL ERP ZOOM LC

**Ing. Yaneisy Morales Merencio[1], Dra.C Yeleny Zulueta Véliz [2], Dr.C Edistio Yoel Verdecia Martínez [3]**

[1] Empresa de Aplicaciones Informáticas Desoft, calle 24 entre 23 y 25, Vedado, Plaza de La Revolución, La Habana, Cuba, [2] Universidad de las Ciencias Informáticas, UCI, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2½, Reparto. Torrens, La Habana, Cuba, [3] Empresa de Aplicaciones Informáticas Desoft, calle 24 entre 23 y 25, Vedado,Plaza de La Revolución, La Habana, Cuba,
[1]e-mail: yaneisy.morales@desoft.cu, [2]e-mail: yeleny@uci.cu , [3]e-mail: edistio.verdecia@desoft.cu

## RESUMEN

Cuba se encuentra en un momento crucial de cambio tecnológico y los Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) se han convertido en un factor estratégico para el desarrollo de la transformación digital en la sociedad cubana. Los ERP son sistemas que integran toda la información de las diferentes áreas de una organización. Uno de los ERP que sobresale a nivel internacional es Odoo. Zoom LC es una localización cubana del ERP Odoo desarrollada por la Empresa de Aplicaciones Informáticas Desoft. Su proceso de implantación presenta riesgos que no han sido identificados y mitigados, siendo necesaria esta gestión para estabilizar y hacer perdurar el ERP. A partir de investigaciones que se están llevando a cabo, los autores se han propuesto proponer un modelo para la gestión de riesgos durante la fase de implantación con el objetivo de desarrollar un procedimiento para la gestión de riesgos durante la implantación del ERP Zoom LC, utilizando el proceso base de gestión de riesgos del Modelo de Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas (MCDAI). La aplicación del procedimiento para la gestión de riesgos contribuye a una implementación exitosa y al logro de los objetivos del proyecto. Este trabajo es realizado en el marco de la Maestría en Calidad de Software de la autora principal.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión de Riesgos, Modelo de Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas, Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales, Odoo, Zoom LC.

## PROCEDURE FOR RISK MANAGEMENT DURING THE IMPLEMENTATION OF THE ZOOM LC ERP

## ABSTRACT

Cuba is at a crucial moment of technological change and Enterprise Resource Planning Systems (ERP) has become a strategic factor for the development of digital transformation in Cuban society. ERPs are systems that integrate all the information from the different areas of an organization. One of the ERPs that stand out internationally is Odoo. Zoom LC is a Cuban localization of the Odoo ERP developed by the Computer Applications Company Desoft. Its implementation process presents risks that have not been identified and mitigated, making this management necessary to stabilize and make the ERP last. Based on research that is being carried out, the authors have proposed to propose a model for risk management during the implementation phase with the objective of developing a procedure for risk management during the implementation of the ERP Zoom LC, using the basic risk management process of the Quality Model for the Development of Computer Applications (MCDAI). The application of the risk management procedure contributes to successful implementation and achievement of project objectives. This work is carried out within the framework of the main author's Master's Degree in Software Quality.

**KEY WORDS:** Risk Management, Quality Model for the Development of Computer Applications, Enterprise Resource Planning Systems, Odoo, Zoom LC.

## 1. INTRODUCCIÓN

La introducción y la generalización de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TICs) ha alcanzado un alto impacto en todos los ámbitos de la sociedad, aumentando a su vez, la necesidad de comercializar aplicaciones informáticas con calidad. “La calidad es el grado en que un conjunto de características inherentes de un producto, servicio o resultado cumple con los requisitos. La calidad incluye la capacidad de satisfacer las necesidades declaradas o implícitas del cliente” [1] Para que un proyecto culmine con la calidad requerida es necesario realizar una adecuada Gestión de Riesgos (GR) durante todo el ciclo de vida del software.

Los riesgos deben ser identificados y gestionados ya que “un riesgo es un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos.” [1] “La GR es particularmente importante para los proyectos de software, debido a la incertidumbre inherente que enfrentan la mayoría de proyectos.” [2] “La GR del proyecto incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, análisis, planificación de respuesta, implementación de respuesta y monitoreo de los riesgos de un proyecto. Los objetivos de la GR del proyecto son aumentar la probabilidad y/o el impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad y/o el impacto de los riesgos negativos, a fin de optimizar las posibilidades de éxito del proyecto.” [3] En cada una de las etapas de los proyectos la GR es crucial para garantizar la seguridad y el éxito de las operaciones.

Cuba se encuentra en un momento crucial de cambio tecnológico, donde el proceso de transformación digital es una puerta abierta al uso de las TICs para el aprovechamiento de los datos y a la producción de nuevas aplicaciones informáticas, con el objetivo de satisfacer las necesidades de la sociedad. Las empresas cubanas de la industria del software han demostrado la capacidad para desarrollar soluciones innovadoras utilizando tecnologías avanzadas. Esto incluye el desarrollo de aplicaciones móviles, sistemas de gestión empresarial, soluciones de comercio electrónico, entre otros. Sin embargo, es importante no olvidar la pertinente GR en cada de ellas.

Dentro de las empresas del sector que deben apoyar las estrategias del país para la soberanía tecnológica y la ampliación del uso de las TICs se encuentra La Empresa de Aplicaciones Informáticas (Desoft). Es una empresa nacional que cuenta con más de 20 años de experiencia informatizando para la sociedad cubana. [4] Desoft decidió apostar por el desarrollo de un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP[1], por sus siglas en inglés) que cumpliera con las normativas cubanas debido a la tendencia mundial del empleo de estos modernos sistemas informáticos. Para ello se tomó como base el ERP Odoo, que es uno de los ERP que sobresale a nivel internacional.

Los autores concuerdan con Villarino [4] cuando plantea “Un ERP es un sistema que automatiza y gestiona de forma integrada los procesos empresariales de distintas áreas.” Se componen por módulos entrelazados que abarcan las diferentes funciones del sistema empresarial y todos los procesos se relacionan entre sí. Entre sus funciones principales se puede encontrar la gestión económica, logística, comercial y de recursos humanos. Estos sistemas pueden ayudar a mejorar la eficiencia, lograr una disminución de los costos y un mejor control de los recursos. Además, ayudan a los directivos en el proceso de toma de decisiones.

El ERP Odoo[2] es una solución integral de código abierto desarrollada por la empresa belga de igual nombre, destinada a cubrir los procesos principales de una organización, independientemente del sector al que pertenezca, con bajos costos de implementación. Es una solución modular, integrada, adaptable y totalmente escalable, se pueden ir añadiendo o eliminando funcionalidades, en función de las necesidades del cliente. Un elemento que marca la diferencia es que evoluciona mucho más rápido que cualquier otra solución, gracias a la comunidad de desarrolladores que lo respalda en todo el mundo. [5]

“Desoft lanza al mercado en marzo 2020, en la Feria de Informática 2020, un nuevo producto denominado Zoom LC, Localización Cubana de Odoo.” [4] El sitio de noticas Cubadebate en uno de sus

[1] Enterprise Resource Planning
[2] www.odoo.com

artículos técnicos dedicados al ERP Zoom LC plantea que es una aplicación web que sobre Odoo integra y automatiza una parte importante de los procesos de una organización, cumpliendo con las normas cubanas de la contabilidad, adaptable para la mayoría de los actores económicos del país. [6] El ERP Zoom LC es adaptable a las características propias de cada organización, su modularidad permite instalar los módulos que necesite el cliente, personalizando el sistema a sus necesidades.

El ERP Zoom LC lleva en explotación desde su presentación, aunque su momento de explotación más importante comenzó luego de la pandemia asociada al COVID 19. Su proceso de implantación presenta riesgos que no han sido identificados y mitigados, el objetivo de esta GR es estabilizar y hacer perdurar el ERP. El proceso de implantación del producto se ha visto afectado por eventos que impactan de manera negativa, y para los cuales no se ha previsto una gestión o respuesta oportuna ante su ocurrencia. La falta de GR durante el ciclo de vida del ERP ha causado problemas significativos durante su despliegue que comprometen el éxito y la calidad del proyecto. Implementar una adecuada GR desde el principio del proceso de implantación permitiría identificar y mitigar muchos de los problemas a los que se enfrenta actualmente el equipo de implantación del ERP Zoom LC. Sin embargo, debido a la presión por cumplir con los plazos, no se dedicó, ni en la actualidad se dedica el tiempo suficiente a la GR. Estos problemas no solo retrasan el despliegue, sino también afectan negativamente la operación diaria del cliente, su satisfacción y la percepción general del producto.

A partir de investigaciones que se están llevando a cabo, los autores se han propuesto proponer un modelo para la GR durante la fase de implantación con el objetivo de desarrollar un procedimiento para la GR durante la implantación del ERP Zoom LC, utilizando el proceso base de GR del Modelo de Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas (MCDAI). El modelo promueve un marco cubano de referencia que contribuye a alcanzar mayor nivel de madurez a las organizaciones y obtener producciones de calidad. La aplicación del procedimiento propuesto contribuirá a una implantación exitosa y al logro de los objetivos del proyecto.

## 2. LA GESTIÓN DE RIESGOS EN LA IMPLANTACION DEL ERP ZOOM LC

**Breve caracterización del ERP Zoom LC**

El ERP Zoom LC está desarrollado sobre la versión comunitaria del ERP Odoo, tecnología de código abierto con más de 12 millones de usuarios y una amplia comunidad internacional de desarrolladores que la respalda. “La propuesta única de valor de Odoo es ser muy fácil de usar y totalmente integrado” [5]. Odoo está desarrollado como una aplicación web lo que permite acceder desde cualquier equipo independientemente del sistema operativo, asimismo para dispositivos móviles. Abarca una amplia gama de aplicaciones, incluyendo gestión de proyectos, económica, comercial, logística y de recursos humanos, por solo mencionar algunas. Automatiza y simplifica los procesos en cada una de las áreas de cualquier tipo de organización ajustándose a las necesidades independientemente de su tamaño.

El ERP Zoom LC está adaptado a las normas y regulaciones nacionales fundamentalmente en materia contable financiera, permite a las entidades cubanas integrar en un sistema único todos los procesos asociados con los aspectos estratégicos, operativos o productivos. Cumple con la Resolución 166-17 del Ministerio de Comunicaciones que regula el procedimiento para la obtención del certificado del grado de correspondencia de los sistemas contables-financieros soportados sobre las TICs con los requisitos informáticos que garantizan la seguridad y calidad de su utilización. Cumple con la Resolución 340 del Ministerio de Finanzas y Precios que regula el procedimiento para dictaminar sobre el grado de adaptación a las normas contables cubanas de los sistemas contables-financieros soportados sobre las TICs y cumple con la Resolución conjunta 1-2004 MFP-MIC sobre sistemas contables-financieros. Además, se encuentra certificado por Segurmatica, Calisoft y Canec en materias de seguridad informática, calidad de software y normas contables cubanas respectivamente.

Desoft comercializa el ERP Zoom LC alojado en su nube pública, brindando una solución escalable, adaptable, segura y modular. Permite a sus clientes el beneficio del acceso permanente a la información desde cualquier dispositivo tecnológico, permitiendo ahorros en infraestructura y personal dedicado elemento fundamental en las condiciones actuales de Cuba. [7]. Actualmente se comercializa un paquete

básico de once (11) módulos que cubren los procesos contables, para la gestión de recursos humanos y los necesarios para que las organizaciones puedan interactuar son sus propios clientes. El resto de los módulos pueden ser implantados de forma gradual según las necesidades del cliente. Desoft además es capaz de ofrecer verticalizaciones que permitan incluir procesos no incluidos en la versión comercializada.

El ERP Zoom LC tiene como objetivos proporcionar soporte a las empresas cubanas para explotar todas sus potencialidades, integrando herramientas para el desarrollo del comercio electrónico, la promoción de productos y servicios, y el marketing digital. Integrar en un sistema único todos los procesos de la gestión empresarial, que abarque múltiples áreas funcionales de las empresas cubanas. Ofrecer una plataforma flexible y personalizable que se adapte a las necesidades específicas de cada empresa. El proyecto busca ordenar e integrar el flujo en la gestión de los procesos, realizar operaciones con múltiples monedas, y obtener el resultado en la moneda contable predefinida, entre otros objetivos.

En el proyecto se involucran los desarrolladores, implantadores y los usuarios finales. Los desarrolladores son los responsables de la adaptación y mantenimiento del ERP. Los implantadores son los encargados de realizar el despliegue y la puesta en marcha de acuerdo a las necesidades de las organizaciones. Los usuarios finales son las personas que van a manejar el sistema con el objetivo de gestionar la información de la organización a la cual pertenecen.

**El proceso de la Gestión de Riesgos**

La dinámica actual hace que los proyectos deban lidiar con entornos complejos y de alta incertidumbre, exigiendo a los directores y managers de proyectos replantear su estrategia de ejecución para alcanzar los objetivos de forma efectiva [8]. La GR de software es una parte importante de la gestión de proyectos, ya que incluye la identificación, el análisis, la evaluación y el seguimiento de los distintos riesgos presentes en el sistema. Puede aplicarse de diversas maneras, considerando las características y necesidades específicas de cada proyecto.

La GR en el ERP Zoom LC se relaciona con la planificación, identificación, análisis, evaluación y mitigación de posibles riesgos que puedan afectar el desarrollo y la implementación de este sistema de gestión empresarial. La planificación de respuestas a riesgos es fundamental para anticipar y minimizar amenazas, así como para aprovechar oportunidades. Dado que Zoom LC es un ERP es importante considerar las tendencias actuales como la GR relacionada con la integración de sistemas, la migración de datos, la capacitación del personal y la gestión del cambio organizacional. Las actividades de GR son fundamentales para garantizar el éxito y la seguridad del proyecto, permitiendo anticipar y abordar proactivamente los posibles desafíos que puedan surgir durante su implementación y operación. En la Tabla 1 se definen los principales procesos de GR que se utilizarán en la propuesta.

Tabla 1: principales procesos de la GR relacionadas con la implantación del ERP Zoom LC

| Procesos de GR | Descripción |
|---|---|
| Planificación de la Gestión de Riesgos | Se define cómo realizar las actividades de gestión de riesgos, así como los responsables. |
| Identificación de Riesgos | Se identifican los posibles riesgos y se documentan sus características. |
| Análisis y Evaluación de Riesgos | Se realiza un análisis detallado de los riesgos identificados, evaluando su probabilidad de ocurrencia y el impacto para poder priorizar los riesgos que deben ser tratados con mayor urgencia. |
| Mitigación de Riesgos | Se desarrollan estrategias y planes para mitigar los riesgos identificados, implementando medidas preventivas y correctivas para reducir su impacto. |
| Seguimiento y Control | Se realiza el seguimiento y control de los riesgos, actualizando y ajustando las estrategias de gestión de riesgos según sea necesario. |

Para asegurar la calidad de los ciclos de desarrollo la empresa Desoft implementa el Modelo de Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas (MCDAI), aplicándolo a los proyectos en todas sus

etapas con equipos propios de calidad y posteriormente certificando el resultado con instituciones externas cubanas. [9]. Cada método, metodología o marco de gestión de riesgos tiene sus propias características y beneficios, por lo que la elección del método más adecuado dependerá de las necesidades y particularidades de cada proyecto. El MCDAI identifica y gestiona los riesgos de la organización y los proyectos, evalúa la consecuencia de los mismos, los controla y lleva a cabo acciones que mitiguen o eliminen su ocurrencia o efecto. Se considera el marco metodológico del proceso de desarrollo de software aprobado por el país para garantizar la calidad de software.

**Caracterización de la Gestión de Riesgos del MCDAI**

En este trabajo se toma como base fundamental el MCDAI por su enfoque hacia las organizaciones desarrolladoras de software y porque es una norma que promueve un marco cubano de referencia que contribuye a alcanzar mayor nivel de madurez a las organizaciones y obtener producciones de calidad. Además, propone niveles de capacidad y de madurez organizacional con el propósito de estandarizar los procesos de desarrollo, definir buenas prácticas y seguirlas sistemáticamente.

En el MCDAI se define riesgo como: “posibilidad de ocurrencia de toda aquella situación que pueda entorpecer el normal desarrollo de las funciones de la organización y le impidan el logro de sus objetivos.” [10] EL MCDAI tiene 12 procesos bases desglosados en 4 Categorías (gestión de la organización, gestión de proyecto, ingeniería y soporte). Cada proceso base debe cumplir los requisitos genéricos para alcanzar los niveles de capacidad (Básico, Intermedio y Avanzado). Según la capacidad alcanzada en cada proceso base implementado más el cumplimiento de los requisitos específicos entonces la organización alcanza un nivel de madurez, que puede ser (Básico, Intermedio y Avanzado) [11]. Como muestra la fig. 1 la GR es un proceso base de la categoría gestión de proyecto del MCDAI.

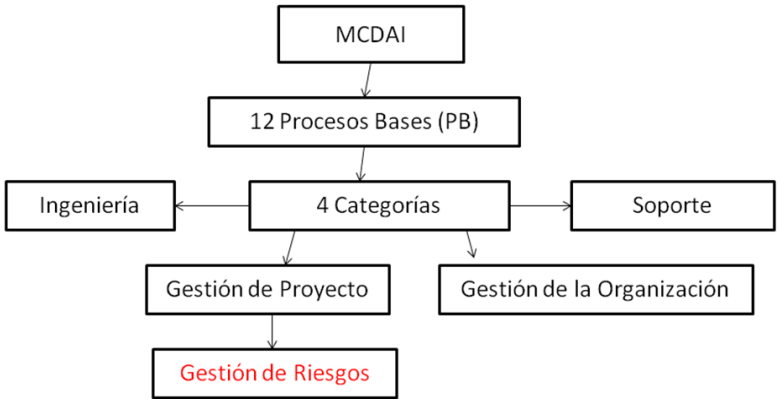



Figura 1. La GR como proceso base de MCDAI.

En la categoría gestión de proyecto se agrupan los procesos base relacionados con la organización y control del trabajo en el proyecto, entre ellos la GR. En cada uno de los niveles de madurez del modelo se realiza una GR con el propósito de identificar y gestionar los riesgos de la organización y los proyectos, evaluar la consecuencia de los mismos, controlarlos y llevar a cabo acciones que mitiguen o eliminen su ocurrencia o efecto. [11]

Para determinar la capacidad de los procesos implantados, se realiza una evaluación guiada por un método de evaluación. A partir de la aplicación del MCDAI, se ha desarrollado el Método de Evaluación de la capacidad y madurez (EVAL-CM). EVAL-CM es el marco de trabajo de la medición para evaluar la capacidad de los procesos base y el nivel de madurez de una organización, la base de evidencias recomendadas por cada requisito del MCDAI [12]. En el nivel básico son identificados y tratados los riesgos a nivel organizacional. Se alcanza un entendimiento sobre los requisitos entre los proveedores de requisitos y el equipo de proyecto, priorizando los mismos y controlando los cambios. En el nivel intermedio son identificados y tratados los riesgos en los proyectos. En el nivel avanzado, el proyecto es gestionado cuantitativamente y también el análisis de los efectos de los riesgos.

## 2. PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE RIESGOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL ERP ZOOM LC

Para la implantación del ERP Zoom LC se propone realizar un procedimiento de GR cíclico basado en el proceso base GR del MCDAI para los proyectos, como muestra la fig. 2.




Figura 2. Propuesta de procedimiento de GR para la implantación del ERP Zoom LC.

Fase 1. Planificación de la GR en la implantación del ERP Zoom LC

Definición de Actividades: Establecer cómo se llevarán a cabo las actividades de GR en la implantación del ERP Zoom LC. Definir las técnicas y herramientas específicas que se usarán para la identificación de los riesgos, su análisis, mitigación, monitorización y comunicación. Definir los roles y responsabilidades del equipo involucrado. Establecer las tareas que se incluirán en el cronograma del proyecto con el fin de cumplir la gestión de los riesgos eficientemente.

Fase 2. Identificación de Riesgos

Documentación: Identificar los posibles riesgos que puedan surgir durante la implantación del ERP, describiéndolos y organizándolos por categorías (riesgos técnicos, organizacionales, y relacionados con el personal), obteniendo el listado de riesgos según las categorías de riesgos identificadas en la implantación del ERP Zoom LC.

Fase 3. Análisis y Evaluación de Riesgos

Definir Parámetros: Analizar cada riesgo identificado para asignarle valores en función su probabilidad de ocurrencia y el impacto que tendría en la implantación del ERP Zoom LC. Asignar una puntuación a cada riesgo. Ordenar los riesgos identificados según su nivel de relevancia. Utilizar la matriz de probabilidad e impacto para poder evaluar y clasificar los riesgos en categóricas como baja, media y alta criticidad. Esto permite evaluar y priorizar los riesgos que requieren atención inmediata, estimar la probabilidad de que cada riesgo ocurra y el impacto que tendría en el proyecto.

Fase 4. Mitigación de Riesgos

Desarrollo de Estrategias: Definir e implementar planes para el tratamiento de los riesgos. Identificar las acciones que se deben tomar para mitigar o evitar que los riesgos ocurran. Esto puede incluir medidas preventivas y correctivas que reduzcan la probabilidad o el impacto de los riesgos. Desarrollar planes de

acción para abordar los riesgos prioritarios en dependencia de si estamos en presencia de una amenaza o una oportunidad. Definir plan de mitigación de los riesgos y/o plan de contingencia.

Fase 5. Seguimiento y Control

Monitoreo Continuo: Definir las medidas para supervisar los riesgos identificados durante la implantación del ERP Zoom LC y periodicidad de supervisión. Esto incluye la actualización y ajuste de las estrategias de gestión según sea necesario. Documentar claramente las acciones y medidas a seguir en el plan de riesgos, de mitigación y/o contingencia. Volver a analizar los riesgos identificados y monitorear el estado de sus parámetros.

Fase 6. Documentación y Comunicación

Registro y Reporte: Mantener un registro detallado de los riesgos identificados durante la implantación del ERP Zoom LC, las evaluaciones realizadas, y las acciones tomadas. Comunicar regularmente el estado de los riesgos al equipo del ERP y a las partes interesadas.

**Roles y responsabilidades**

Los roles y responsabilidades en un proyecto pueden variar dependiendo del tipo de proyecto y de la organización que lo implemente. En la fig.3 se muestran los roles involucrados en el procedimiento de GR que se propone en este trabajo y a continuación las responsabilidades pertenecientes a ellos, utilizando como base los roles y responsabilidades definidos en el proceso base de GR de MCDAI:

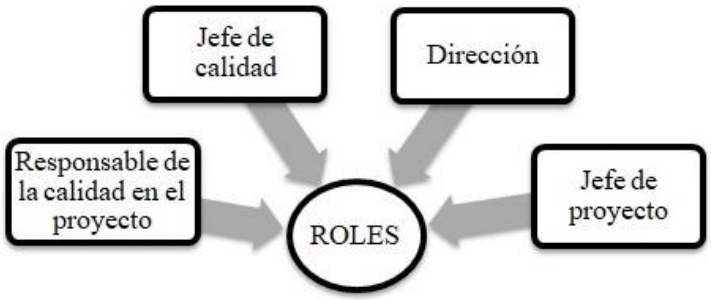



Figura 3. Roles del procedimiento de GR propuesto.

Responsable de la calidad en el proyecto y Jefe de calidad: Definen las herramientas que se usarán para la identificación de los riesgos, su análisis, mitigación, monitorización y comunicación. Establecen las tareas que se incluirán en el cronograma del proyecto. Definen los parámetros de los riesgos, así como la forma en que evaluarán los mismos. Evalúan y clasifican los riesgos. Determinan la prioridad de cada riesgo. Establecen y ejecutan los planes de mitigación y contingencia. Reevalúan y monitorizan los riesgos.

Jefe de proyecto y Dirección: Establecen las tareas que se incluirán en el cronograma del proyecto. Asignan responsables para la ejecución de cada una de las acciones definidas en los planes de mitigación y contingencia. Clasifican los riesgos. Determinan la prioridad de cada riesgo. Elaboran y ejecutan los planes de mitigación y contingencia. Reevalúan y monitorizan los riesgos.

Responsable de la calidad en el proyecto, Jefe de calidad, Jefe de proyecto y Dirección (como en MCDAI) recopilan toda la información necesaria para ejecutar la planificación de la gestión de riesgos del proyecto. Definen el alcance del esfuerzo de la GR, herramientas y fuentes específicas que se usarán para la identificación de los riesgos, su análisis, mitigación, monitorización y comunicación. Definen las técnicas de mitigación a ser utilizadas; medidas para supervisar los riesgos; periodicidad de supervisión y evaluación de los mismos. Establecen las tareas que se incluirán en el cronograma del proyecto con el fin de cumplir la gestión de los riesgos eficientemente.

## 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Para realizar un diagnóstico del problema existente en el ERP Zoom LC se realizó un análisis documental con los expedientes de los proyectos cancelados, se realizaron entrevistas a los especialistas que despliegan el ERP Zoom LC y a una muestra de los clientes de Desoft La Habana que utilizan el sistema. Los resultados obtenidos a partir de la utilización de estos métodos arrojaron a la conclusión que existen riesgos no definidos en el proceso que son necesarios mitigar. A continuación, se presentan algunos problemas detectados, que atentan contra la calidad y éxito del proyecto:

Los problemas que pudieron haberse identificado y corregido durante el desarrollo llegaron a la producción, afectando la funcionalidad y estabilidad del software. Existen módulos que presentan problemas de integración y no tributan a la contabilidad como deberían, debido a un incompleto desarrollo de los módulos. La aparición de problemas no previstos causa retrasos significativos en el cronograma de los proyectos de implantación. La necesidad de realizar trabajos adicionales para corregir problemas compromete al equipo de despliegue a trabajar sin ingresos, provocando insatisfacción en el equipo. El equipo de despliegue se enfrenta a problemas imprevistos y sobrecargas de trabajo que afectan negativamente la motivación del equipo. La insuficiente capacitación del cliente, provoca baja adopción del sistema, errores de usuario, y resistencia al cambio, disminuyendo el valor y la efectividad del ERP. La falta de gestión de riesgos produce la aparición de errores y fallos no anticipados en el software, lo que provoca cancelaciones de los clientes después de adquirir el sistema. El cliente insatisfecho difunde su mala experiencia, dañando la reputación de la empresa desarrolladora.

**Técnicas y herramientas aplicadas**

Sin una gestión adecuada de riesgos, la calidad del proceso de implantación del ERP Zoom LC está comprometida, debido a la acumulación de problemas no resueltos. Resultando en una mala experiencia del usuario y baja satisfacción del cliente, atentando contra el éxito del proyecto. Se procede a aplicar el procedimiento propuesto iniciando por la fase de Planificación de la GR. Para ellos se identificaron las diferentes técnicas y herramientas que pueden ser aplicadas en cada proceso de GR de este caso de estudio y se asignaron los roles definidos en el procedimiento a las personas pertinentes. En la tabla 2 se muestran las técnicas y herramientas aplicadas y se describen a continuación.

Tabla 2: Técnicas y herramientas aplicadas para cada proceso de GR en el ERP Zoom LC

| Procesos | Técnicas y Herramientas |
|---|---|
| Planificación de la Gestión de los Riesgos | Juicio de expertos, habilidades interpersonales y de equipo, tormentas de ideas y reuniones. |
| Identificación de Riesgos | Juicio de expertos, habilidades interpersonales y de equipo, tormenta de ideas, reuniones, entrevistas y análisis de documentos. |
| Análisis y Evaluación de Riesgos | Juicio de expertos, habilidades interpersonales y de equipo, entrevistas, análisis de documentos, evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos y matriz de probabilidad e impacto. |
| Mitigación de Riesgos | Juicio de expertos, habilidades interpersonales y de equipo y estrategias para amenazas y oportunidades. |
| Seguimiento y Control | Auditorias y reuniones |

Juicio de expertos: Se tuvo en cuenta la opinión de expertos con conocimientos especializados en temas de GR a nivel de la empresa y a nivel de las necesidades específicas de un proyecto, así como de expertos en el despliegue y uso del ERP Zoom LC.

Habilidades interpersonales y de equipo: Las habilidades interpersonales y de equipo que se utilizaron incluye entre otras la facilitación. La facilitación mejora la efectividad de muchas de las técnicas utilizadas para identificar riesgos individuales del proyecto.

Tormenta de ideas: Se analizaron y discutieron un grupo de ideas con un fin común (en este caso, la GR).

Por lo general, el equipo del proyecto efectúa tormentas de ideas con un grupo multidisciplinario de expertos que no forman parte del equipo.

Reuniones: El plan de GR se desarrolló como parte de una reunión específica de planificación. Los planes para realizar las actividades de GR fueron definidos en estas reuniones y documentados en el plan de GR. También se realizaron reuniones para la identificación y para darle seguimiento a los riesgos.

Entrevista: El proceso de identificación se basó fundamentalmente en realizar entrevistas a los involucrados en la GR aplicando una serie de preguntas elaboradas que cubren todos los aspectos del proyecto para obtener las definiciones de riesgos que posteriormente fueron analizadas.

Evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos: La evaluación de la probabilidad de los riesgos toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un riesgo específico. La evaluación del impacto de los riesgos toma en cuenta el efecto potencial sobre uno o más de los objetivos del proyecto.

Matriz de probabilidad e impacto: La matriz de probabilidad e impacto permitió evaluar y priorizar los riesgos identificados, basado en dos dimensiones esenciales: la probabilidad de que ocurra un evento y el impacto que este tendría en caso de suceder.

Análisis de documentos: A partir de una revisión estructurada de los documentos del proyecto se pudieron identificar varios riesgos. La incertidumbre o ambigüedad en los documentos del proyecto, así como las inconsistencias dentro de un documento o entre diferentes documentos, pueden ser indicadores de riesgo.

Estrategias para amenazas y oportunidades: Se consideraron tres estrategias para hacer frente a las amenazas, (Aceptar, Mitigar, Evitar) y tres estrategias para hacer frente a las oportunidades (Aceptar, Mejorar, Explotar).

Auditorías: Las auditorías de riesgos se utilizan para considerar la efectividad del proceso de GR. Las auditorías de riesgos se incluyeron en las reuniones de rutina de revisión del proyecto y además forman parte de las reuniones de revisión de riesgos.

**Riesgos identificados**

"A medida que se avanza en la concreción de los proyectos, existe una alta posibilidad de que emerjan riesgos, que se tornan en problemas que es necesario mitigar, e incluso conducen a que la estrategia comercial cambie." [8]. Con la ayuda del procedimiento propuesto en esta investigación se identificaron los riesgos asociados al proceso de implantación del ERP Zoom LC, algunos se muestran en la tabla 3:

Tabla 3: Listado de algunos de los riesgos identificados

| No | Riesgos |
|---|---|
| 1. | Problemas con la conexión a internet |
| 2. | Insuficiente manejo de riesgos |
| 3. | Vulnerabilidades de seguridad informática |
| 4. | Problemas con la gestión del cambio organizacional |
| 5. | Dificultades en la obtención de retorno de la inversión esperado |
| 6. | Recortes de tiempo en actividades importantes |
| 7. | Retrasos en cronograma del proyecto |
| 8. | Errores en la configuración del sistema |
| 9. | Dificultades con la migración de datos |
| 10. | Posibles fallos de rendimiento |
| 11. | Problemas de integración con sistemas existentes |
| 12. | Problemas de integración entre módulos |
| 13. | Desarrollo incompleto de algunos módulos |
| 14. | Insatisfacción y desmotivación del equipo de implantación |
| 15. | Falta de personal para darle soporte al sistema |
| 16. | No disponibilidad de los expertos funcionales |
| 17. | Falta de capacitación adecuada |

| | |
|---|---|
| 18. | Resistencia al cambio por parte de los usuarios |
| 19. | Cancelaciones de los clientes después de adquirir el sistema |
| 20. | Baja adopción del sistema por parte de los usuarios |

**Análisis realizado a los riesgos**

En la fase de análisis y evaluación de riesgos se determinó la prioridad de cada riesgo luego de estimar su probabilidad de ocurrencia y el impacto que el mismo pudiese tener. Con estos datos y a través de reuniones de análisis, se conformó la matriz de probabilidad e impacto de los riesgos, determinando enfocarse en aquellos riesgos que tuviesen probabilidad e impacto mayores que 0.05, como riesgos de media o alta prioridad. Los riesgos que su probabilidad e impacto fueran menores que el 0.05 no se calificaron y pasaron a formar parte de una lista de supervisión para su seguimiento futuro. La fig.4 muestra la matriz de probabilidad e impacto utilizada:

| Matriz de probabilidad e Impacto | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Probabilidad | Amenazas | | | | |
| 0.90 | 0.05 | 0.09 | 0.18 | 0.36 | 0.72 |
| 0.70 | 0.04 | 0.07 | 0.14 | 0.28 | 0.56 |
| 0.50 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.40 |
| 0.30 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.24 |
| 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.08 |
| Impacto | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.40 | 0.80 |

Figura 4. Matriz de Probabilidad e Impacto

Rango para establecer los colores: El color verde indica el rango 0.01-0.05 que se refiere a los riesgos de baja criticidad que solo requieren un seguimiento. El color amarillo indica el rango 0.06-0.14 que se refiere a los riesgos de media criticidad que requieren de un seguimiento y un plan de mitigación. El color rojo indica el rango 0.18-0.72 que se refiere a los riesgos de alta criticidad que requieren de un seguimiento, un plan de mitigación y un plan de contingencias.

Impacto: Efecto que tendría el riesgo sobre los objetivos del proyecto en el caso de presentarse. Cuando el impacto es de 0.80 se clasifica como un impacto muy alto, 0.40 impacto alto, 0.20 impacto moderado, 0.10 impacto bajo y 0.05 impacto muy bajo.

Probabilidad: Probabilidad de ocurrencia del riesgo. Cuando la probabilidad es de 0.90 se clasifica como una probabilidad casi cierta, 0.70 altamente probable, 0.50 probable, 0.30 poco probable y 0.10 muy improbable.

Criticidad: Multiplicación del impacto por la probabilidad.

Se ubicaron los riesgos en la matriz en función de su probabilidad e impacto, lo que permitió priorizarlos y concentrar los esfuerzos y recursos en los riesgos de mayor criticidad. Se ordenaron los riesgos de acuerdo a su exposición para determinar la estrategia de mitigación.

**Respuestas a los riesgos priorizados**

Las respuestas a los riesgos deberían ser adecuadas para la importancia del riesgo, eficientes en costo, realistas dentro del contexto del proyecto, acordadas por los interesados pertinentes, y propiedad de una persona responsable. [1] Durante la fase de planificación se asignaron los responsables y en esta fase se estableció un cronograma para llevar a cabo las acciones de respuesta a los riesgos. Para lograr las respuestas a los riesgos se analizaron los riesgos ya identificados y sus características. Para cada riesgo se decidió que estrategia usar, y se actualizó el Registro de Riesgos. Las respuestas que se le dieron a los riesgos identificados fueron utilizadas en dependencia de si el riesgo era una amenaza o una oportunidad, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4: Respuestas a los riesgos identificados

| **Amenazas** | | | **Oportunidades** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Baja criticidad | 0.01-0.05 | Aceptar | Baja criticidad | 0.01-0.05 | Aceptar |
| Media criticidad | 0.06-0.14 | Mitigar | Media criticidad | 0.06-0.14 | Mejorar |
| Alta criticidad | 0.18-0.72 | Evitar | Alta criticidad | 0.18-0.72 | Explotar |

Aceptar: La aceptación de riesgos reconoce la existencia de una amenaza u oportunidad, pero no se toman medidas proactivas. Esta estrategia puede ser apropiada para las amenazas u oportunidades de baja criticidad, y también puede ser adoptada cuando no es posible o rentable hacer frente a una amenaza u oportunidad de ninguna otra manera.

Mitigar: En la mitigación de riesgos se toman medidas para reducir la probabilidad de ocurrencia y/o el impacto de una amenaza. Las acciones de mitigación tempranas son a menudo más efectivas que tratar de reparar el daño después de que se ha producido la amenaza.

Evitar: Evitar el riesgo es cuando el equipo del proyecto actúa para eliminar la amenaza o proteger al proyecto de su impacto. Puede resultar apropiado para las amenazas de alta prioridad con una alta probabilidad de ocurrencia y un gran impacto negativo.

Mejorar: La estrategia de mejorar se utiliza para aumentar la probabilidad y/o el impacto de una oportunidad. Las acciones de mejoramiento tempranas son a menudo más efectivas que tratar de mejorar el beneficio después de que se ha producido la oportunidad.

Explotar: La estrategia de explotar se puede seleccionar para oportunidades con alta prioridad, cuando la organización quiere asegurarse de que la oportunidad se haga realidad.

**Monitoreo continuo y comunicación**

Se elaboró un cronograma de cumplimiento de respuestas ante aquellos riesgos que fueron identificados como necesarios de respuesta inmediata y se desarrolló un plan para controlar y dar seguimiento a los riesgos que fueron destacados como los de mayor criticidad. Este plan fue integrado a los procesos de gestión del proyecto, dándole seguimiento a través de auditorías y reuniones. En estas reuniones se revisa la documentación y se comunica el estado de los riesgos al equipo del proyecto y a las partes interesadas.

## 4. CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado y presentado en el presente trabajo se arribó a la conclusión que la GR es fundamental para la ejecución exitosa de la implantación de sistemas ERP como Zoom LC. La investigación propone un procedimiento para gestionar los riesgos asociados a la implantación del ERP Zoom LC, utilizando un enfoque sistemático basado en el MCDAI. La aplicación del procedimiento propuesto tiene como fin mejorar la estabilidad y sostenibilidad del ERP, contribuyendo así a una transformación digital efectiva en las organizaciones. Este procedimiento no solo ayuda a identificar y gestionar los riesgos potenciales, sino que también contribuye a una implementación exitosa del ERP Zoom LC, asegurando que se cumplan los objetivos del proyecto.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecimientos al equipo del CSI 3 de Desoft La Habana, por brindar la información necesaria sobre el ERP Zoom LC y participar como expertos. Reconocimientos a MsC. Yoandy Lazo Alvarado, por transmitir los conocimientos de su experiencia sobre MCDAI para la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

1. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) – Séptima edición y El Estándar para la Dirección de Proyectos*, USA: Newtown Square, Pennsylvania, 2021, ISBN: 978-1-62825-719-9, p.47-53
2. SOMMERVILLE, Ian. *Software Engineering 9th Edition*. México: Pearson Education, Inc, 2011, ISBN: 978-607-32-0603-7, p. 596
3. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. *La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) – Sexta edición* USA: Newtown Square, Pennsylvania, 2017, ISBN: 978-1-62825-194-4, p.395
4. VILLARINO ARTIAGA, Lisandra. "Procedimiento para la implantación del ERP Zoom LC en los actores económicos cubanos y su integración a sus sistemas de dirección." Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección, La Habana, 2024
5. ODOO. Sitio Oficial de Odoo. "Odoo S.A, ERP y CRM de fuente abierta | Odoo", [ref. de 23 de noviembre 2023]. Disponible en Web: https://www.Odoo.com/es_ES
6. DOMÍNGUEZ, L.E., "Zoom LC, plataforma cubana basada en Odoo para la gestión empresarial". Cubadebate, 2020.
7. DESOFT. Página oficial de Desoft. **"**Productos | Desoft Producto ERP Zoom Localización Cubana de Odoo", [ref. de 29 de noviembre 2023]. Disponible en Web: https://www.desoft.cu/es/productos/322
8. MESA ARISTIZÁBAL, John Fredy. "Estado del arte en la Gestión de Proyectos: campos actuales y las tendencias que caracterizan la gestión de proyectos en el periodo 2015-2021". Tesis Doctoral. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Bogotá, 2021.
9. DESOFT. Página oficial de Desoft. "Noticias | Desoft", [ref. de 17 de septiembre 2024]. Disponible en Web: https://www.desoft.cu/es/noticias/190
10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 1400-1: Industria del software. Modelo de la calidad para el desarrollo de aplicaciones informáticas (MCDAI). Parte 1: Guía general*. CITMA, 2021.
11. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 1400-1: Industria del software. Modelo de la calidad para el desarrollo de aplicaciones informáticas (MCDAI). Parte: 2 Requisitos*. CITMA, 2021.
12. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 1400-1: Industria del software. Modelo de la calidad para el desarrollo de aplicaciones informáticas (MCDAI). Parte 3: Método de evaluación*. CITMA, 2021.

**Sobre los autores**

Ing. Yaneisy Morales Merencio: Graduada de Ingeniería en Ciencias Informáticas por la Universidad de Ciencias Informáticas (2009). Se desempeña como Especialista Superior en Tecnologías de la Información en Desoft División La Habana. Ocupa el cargo de Especialista Principal en el Centro de Servicios Informáticos encargado de implementar el ERP Zoom LC en Desoft. Actualmente se encuentra cursando la Maestría en Calidad de Software, sexta edición en la UCI.

Dra.C. Yeleny Zulueta Véliz: Graduada de Ingeniería Informática por la Universidad de Camagüey (2004). Máster en Gestión de Proyectos Informáticos, Universidad de las Ciencias Informáticas (2007). Doctora en Tecnologías de la Información y la Comunicación por la Universidad de Granada, España (2014). Profesora Titular en el Departamento de Inteligencia Computacional de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Coordinadora del Doctorado en Informática de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Actualmente se desempeña como Directora de Posgrado de la Universidad de Ciencias Informáticas.

Dr.C. Edistio Yoel Verdecia Martínez: Graduado de Licenciatura en Cibernética-Matemática, por la Universidad de la Habana (1995). Máster en Gestión de Proyectos Informáticos por la Universidad de las Ciencias Informáticas (2010). Doctor en Ciencias Pedagógicas (2012) por la Universidad de Camagüey. Ha laborado como profesor en universidades cubanas y extranjeras. Actualmente se desempeña como Especialista Superior en Tecnologías de la Información en Desoft División La Habana, donde imparte cursos especializados relacionados con la Programación, Bases de Datos e Inteligencia Artificial y pertenece al Centro de Servicios Informáticos encargado de implementar el ERP Zoom LC en Desoft.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MÓDULO PARA LA GESTIÓN DE TRAZAS EN EL SISTEMA DE DETECCIÓN DE PHISHING

**Jorge Alberto Hernández Morales[1], Ing. Antonio Hernández Dominguez[2]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, reparto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba. CP: 19370, [2]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, reparto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba. CP: 19370
[1]e-mail: jorgeahdez28@gmail.com

**RESUMEN**

En la actualidad las empresas se ven con la necesidad de alcanzar diferentes competitivas, lograr agilidad en el proceso de negocio y generar servicios a través de la utilización las nuevas tecnologías. Necesidades que quedan satisfechas con el empleo de disímiles herramientas, sobresaliendo el uso de los sitios web de la empresa, tanto de solo acceso interno como externo, encaminados para brindarle a los usuarios, de manera concreta fácil, el acceso a servicios concernientes de un tema. El Sistema de Detección de Phishing es un software que utiliza modelos de inteligencia artificial basados en Redes Neuronales Recurrentes para detectar si los sitios web son legítimos o de phishing, esto lo hace a través de la URL. Este software está alojado como un servicio web el cual era de acceso libre, sin necesidad de autenticarse, ya que los objetivos primarios solo eran el análisis de estas URL. El sistema no contaba con gestión de usuarios ni gestión de trazas, para cubrir estos desafíos se realizó el siguiente trabajo, con el cual se diseñó e implementó un módulo para administrar el sitio y gestionar las trazas. Desarrollándose un sistema para recolectar los eventos en él y crear una sección para administrarlo, donde se muestran los datos según la actividad de los usuarios. Cabe destacar la utilidad de las trazas para la administración de sitios web ya que en estas se registran todos los eventos y con estos en caso de ocurrir un incidente de seguridad se puede informar sobre lo ocurrido.

**PALABRAS CLAVES:** detección de phishing, gestión de trazas, gestión de usuarios, módulo, Ciberseguridad.

## MODULE FOR TRACE MANAGEMENT IN PHISHING DETECTION SYSTEM

**ABSTRACT**

Nowadays, companies are faced with the need to reach different competitive levels, achieve agility in the business process and generate services using new technologies. Needs that are satisfied with the use of dissimilar tools, highlighting the use of the company's websites, both internal and external access only, aimed at providing users, in a concretely easy way, access to services concerning a topic. The Phishing Detection System is a software that uses artificial intelligence models based on Recurrent Neural Networks to detect whether websites are legitimate or phishing, this is done through the URL. This software is hosted as a web service which was freely accessible, without the need to authenticate, since the primary objectives were only the analysis of these URLs. The system did not have user management or trace management, to cover these challenges the following work was carried out, with which a module was designed and implemented to administer the site and manage the traces. A system was developed to collect the events in it and create a section to manage it, where the data is displayed according to the activity of the users. It is worth noting the usefulness of traces for website administration, since they record all events and with these, in the event of a security incident, you can report on what happened.

**KEY WORDS:** phishing detection, trace management, user management, module, cybersecurity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la web se ha convertido en un vasto universo de aplicaciones y sitios web cargados de imágenes, texto, audios, videos y contenido interactivo. Con el surgimiento de la web 2.0, estas páginas han evolucionado de ser meros servidores de contenido a convertirse en plataformas sociales donde los usuarios pueden participar e interactuar fácilmente con el contenido. Esta transformación ha dado lugar a portales web poderosos y fáciles de manejar, enfocados en el usuario final, ofreciendo acceso integrado a una serie de recursos y servicios relacionados con uno o varios temas específicos. El creciente uso de la informática en todas las esferas del desarrollo científico, económico, social y político ha impulsado la aparición de riesgos y amenazas asociados principalmente al uso de redes de datos globales. Esto ha llevado a la necesidad de desarrollar sistemas capaces de regular la seguridad informática, una disciplina de la ciberseguridad que busca proteger las propiedades de la información: disponibilidad, confidencialidad, integridad y no repudio.

Las mayores empresas del mundo han enfatizado la importancia de realizar estudios detallados del comportamiento de los procesos ejecutados en grandes sistemas basados en la web. Para ello, se recomienda la realización de auditorías frecuentes que controlen el uso correcto de los recursos, detecten vulnerabilidades, prevengan errores y fraudes, y emitan opiniones sobre el desempeño de la empresa. Estas auditorías también evalúan las metas de la empresa y realizan un seguimiento de las recomendaciones. Contar con un buen software es esencial no solo para aumentar la productividad de la empresa, sino también para medirla y detectar posibles fallos. En la actualidad, existen diversos mecanismos para la gestión de eventos, que se mantienen en constante monitoreo y escucha ininterrumpida. Un ejemplo destacado es la ELK Stack (Elastic Search, Logstash y Kibana), que proporciona un enfoque integral para la consolidación, gestión y análisis de registros de aplicaciones, simplificando la búsqueda y el análisis de datos en tiempo real[1].

Estos sistemas de gestión de eventos son cruciales para realizar análisis de datos y trazas, ya que capturan una gran cantidad de información, desde inicios de sesión hasta los recursos a los que acceden los usuarios. Sin embargo, los atacantes han comenzado a utilizar métodos que explotan el factor humano, como los ataques de phishing. El phishing es un delito que emplea ingeniería social y subterfugios técnicos para robar datos de identidad personal y credenciales financieras, engañando a las víctimas para que divulguen información sensible[2]. Para abordar estos problemas, se ha desarrollado un sistema de detección de phishing en sitios web, que implementa métodos basados en aprendizaje automático. Este sistema detecta patrones de comportamiento y características sospechosas tanto en la estructura de las URLs como en el contenido de las páginas web, con el objetivo de proteger a los usuarios de estos ataques [3]. Este sistema no presentaba ningún mecanismo para gestionar las trazas o para administrarlo por lo cual se ha implementado un módulo con el cual se gestiona las trazas y se administra el sitio. Además se le agregaron algunas funciones de seguridad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la investigación se han utilizado los siguientes métodos:

**Métodos teóricos:**

- **Analítico-sintético:** a partir de la documentación encontrada se seleccionarán los elementos claves que permiten comprender y diseñar el Módulo de Administración y Gestión de Trazas para el Sistema de Detección de Phishing. De ellos se extraerán las ideas fundamentales y al mismo tiempo se detallará la información necesaria para el modelado correcto del negocio.

- **Histórico-lógico:** se utiliza para analizar la evolución los mecanismos de gestión de trazas y los mecanismos de autenticación, autorización y control de acceso de los sitios web y como han cambiado su enfoque y sus técnicas. Este método es útil para comprender el contexto en el que se desarrollan, lo cual posibilita a desarrollar estrategias más efectivas para prevenir y combatir algunos ataques; así como se analizarán las ventajas y desventajas de cada una de las técnicas y las herramientas a usar para la gestión de las trazas en el sistema de detección de *phishing*.

- **Modelación:** se emplea para la creación mediante abstracciones de un objeto modelado con los rasgos esenciales para la gestión de trazas. Posibilitando explicar los rasgos y particularidades con mayor facilidad.

**Métodos empíricos:**

- **Observación:** se utiliza para emplear el comportamiento de los usuarios en el sistema de detección de *phishing* mediante el uso de un middleware que sea capaz de recolectar datos de los usuarios como el nombre de usuario, el recurso al que accede, la dirección ip, la hora y fecha y el método de la solicitud. Esto le proporcionará al administrador del sitio un fácil acceso a los eventos del sitio para su posterior análisis.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la implementación de dicho módulo se utilizó la metodología de desarrollo de software Programación Extrema. La Programación Extrema es una de las metodologías ágiles más utilizadas en el desarrollo de software cuyos requisitos son poco complejos o cambiantes. Se aplica mayormente en equipos de desarrollo pequeños o medianos, llevando una clara orientación tanto con los desarrolladores como con los clientes o usuarios finales. En esta metodología los programadores trabajan en pares, desarrollando pruebas para cada función que quieran implementar (conocidas como tareas). Todas las pruebas que se realicen deben funcionar correctamente antes de integrar una nueva característica en el sistema [4, 5].

Para perfeccionar aún más el proceso, la programación extrema también implementa un conjunto de 12 prácticas a lo largo del proceso. Se basan en el Manifiesto ágil, pero se adaptan a las necesidades de la programación extrema [6]:

1. El juego de planificación: La planificación XP se usa para guiar el trabajo. Los resultados de la planificación deben ser los objetivos que pretendes alcanzar, los plazos previstos y los pasos a seguir.

2. Pruebas de clientes: Cuando finalices una función nueva, el cliente desarrollará una prueba de aceptación para determinar si has cumplido con la historia de usuario original.

3. Pequeñas entregas: La programación extrema realiza entregas pequeñas y periódicas para obtener información importante durante todo el proceso. A menudo, las entregas se envían directamente a los clientes, aunque también pueden enviarse internamente.

4. Diseño simple: El sistema XP está diseñado para ser simple, producirá solo lo necesario y nada más

.

5. Programación en parejas: Toda la programación la realizan simultáneamente dos desarrolladores que se sientan físicamente uno al lado del otro. No hay trabajo individual en la programación extrema.

6. Desarrollo guiado por pruebas (TDD): Debido a que la programación extrema se basa en los comentarios, se requieren pruebas exhaustivas. A través de ciclos cortos, los programadores realizan pruebas automatizadas para luego reaccionar de inmediato.

7. Refactorización: Aquí es donde se deberá prestar especial atención a los detalles más finos del código base, para eliminar los duplicados y asegurarse de que el código sea coherente. De esta manera obtendrás diseños simples y de alta calidad.

8. Propiedad colectiva: Cualquier par de desarrolladores puede modificar el código en cualquier momento, independientemente de que lo hayan desarrollado o no. En la programación extrema, la codificación se realiza en equipo, y el trabajo de todos se lleva a cabo según los estándares colectivos más altos.

9. Integración continua: Los equipos de XP no esperan a que se completen las iteraciones, sino que se integran constantemente. A menudo, un equipo de XP se integrará varias veces al día.

10. Ritmo de trabajo sostenible: La intensidad de los trabajos de XP requiere que se establezca un ritmo de trabajo sostenible. Los equipos deben determinar cuánto trabajo pueden producir a este ritmo por día y por semana, y usarlo para establecer plazos de trabajo.

11. Metáfora: La metáfora es, literalmente, una metáfora. Se decide en equipo y se usa un lenguaje para expresar cómo debe funcionar el equipo. Por ejemplo, hormigas trabajando en colectivo para construir el hormiguero.

12. Estándares de codificación: Los equipos de XP siguen un estándar. De la misma manera que un grupo de escritores necesita adoptar el tono de una marca para que parezca que siempre está escribiendo una misma persona, los desarrolladores de XP deben codificar de la misma manera unificada para que parezca que el código esté escrito por un solo desarrollador.

Se utilizó un modelo de usuarios basado en roles, donde van a existir dos tipos de usuarios los usuarios sin privilegios y el administrador del sitio ambos utilizan los campos del usuario por defecto de Django que es el Framework que se utilizó para alojar el servidor del backend y se le añadió un campo para que cada usuario tenga una foto de perfil. Los usuarios normales no podrán acceder al panel de administración del sitio, solo podrán añadir URLs y no eliminarlas. En cambio el usuario administrador se creó basado en el super usuario de Django, el cual tiene todos los permisos necesarios en el sitio web. Este último puede realizar operaciones como crear un usuario nuevo, eliminar un usuario existente, en caso de que un usuario pierda si contraseña el administrador puede cambiársela y darle una contraseña nueva y puede además revisar las trazas del sitio para así realizar monitoreos de seguridad.

**Herramientas y lenguaje de programación**

Como tecnologías se utilizó como se mencionó anteriormente Django v5.0.6 para alojar los servicios del backend y React v18.1 para el desarrollo del frontend del sitio. Django es un Framework de alto nivel que nos permite crear aplicaciones Web profesionales organizándolo en tres partes importantes Modelo, Vista y template y otras carpetas necesarias que conforman el core de Django. Django esta desarrollado para que funcione con el Lenguaje de Programación **Python**, este lenguaje se caracteriza por ser muy limpio y dinámico, su integración a Django lo hace mejor por varios puntos, en Django se puede hacer uso de las herramientas que vienen con él, ayuda a escribir menos código que terminan haciendo a un desarrollador más productivo y profesional [7]. Los modelos son clases de Python que después se replican automáticamente en la base de datos con la que se va a trabajar. Este framework ofrece una API para realizar consultas a la base de datos a través de los modelos definidos. Los módulos views ofrecen la funcionalidad de un controlador, realizando las llamadas necesarias a los modelos y generalmente contienen la lógica de negocio. Por último los templates o plantillas permiten la generación dinámica de contenido html [8].

Por otro lado React, ideado por Facebook, representa un framework de código abierto en el ámbito de JavaScript, destinado a simplificar la creación de interfaces de usuario interactivas. Funciona estructurando las interfaces como una amalgama de componentes, donde cada uno asume la responsabilidad de generar fragmentos de código HTML reutilizable. Funciona mediante la construcción de interfaces como una colección de componentes. Estos componentes, definidos como funciones de JavaScript, utilizan JSX, una extensión de sintaxis popularizada por React. Permite construir tanto aplicaciones web como nativas utilizando las mismas habilidades. Se apoya en las fortalezas únicas de cada plataforma para permitir que tus interfaces se sientan naturales en cada una de ellas [9].

La elección de incorporar React en el proceso de desarrollo se fundamenta ya que inicialmente ya estaba desarrollado utilizando esta tecnología debido a su enfoque innovador de construir componentes reutilizables, concebidos como piezas independientes que, al ensamblarse, constituyen la interfaz de usuario completa. En el núcleo de la aplicación, React desempeña un papel fundamental gestionando la

capa de vista, siguiendo el patrón Modelo-Vista-Template (MVT). Promueve la separación de la interfaz de usuario en componentes individuales, permitiendo una manipulación eficaz del DOM para lograr renderizados más rápidos. En resumen, React se erige como una elección estratégica para la creación de aplicaciones web altamente dinámicas y receptivas.

**Implementación**

Como se mencionó el sistema no contaba con ningún mecanismo de seguridad por lo que se desarrolló un sistema para autenticar a los usuarios y que estos mediante el uso de usuario y contraseña pudieran iniciar sesión. Para esto se implementó una función en el lado del servidor backend que recibe del servidor frontend una solicitud POST que contiene los datos de usuario, esta función valida si los campos que se ingresan aparecen en la base de datos, además como se utiliza las sesiones de Django al iniciar sesión se guarda el nombre de usuario. Esto se hace para posteriormente en el panel de administración mostrar contenido asociado a ese usuario. En esta función se verifica el usuario que está intentando iniciar si es el administrador o un usuario normal, todo esto para mostrar el contenido necesario para cada usuario.

En el servidor frontend es donde se aloja todo lo visual. Este contiene el formulario para ingresar los campos y contiene un componente llamado AuthProvider el cual es un archivo que contiene código escrito en el lenguaje de programación javascript, con la lógica necesaria para gestionar el inicio de sesión y el cierre de la sesión desde el frontend y además maneja la autenticación de los usuarios para así al ingresar a la pagina principal del sitio web junto con la lógica del backend mostrar el contenido según el usuario.

Para manejar los eventos del sistema se realizó un middleware donde se registran los intentos de inicio de sesión sean válidos o no. En caso de ser válido se guarda en el archivo de registro una línea con la siguiente frase: *"El usuario **username** ha iniciado sesión exitosamente"*. En caso de que sea un intento de sesión fallido como mecanismo de seguridad se guardará el nombre de usuario utilizado para iniciar sesión así se podrá identificar vectores de ataques en un futuro, la línea en el archivo de registro quedará así *"Intento fallido de inicio de sesión del usuario **username**"*.

Cada vez que algún usuario acceda a algún recurso se guardará en el archivo de registro una línea siguiendo el orden de fecha y hora, username, método (POST, GET, PUT), ruta al recurso que accede y dirección ip. Con esta implementación se logra tener un control sobre los recursos a los que acceden los usuarios para así en caso de ocurrir algún incidente de ciberseguridad tener datos para analizar.

Se desarrollo un componente para que los usuarios tengan la oportunidad de actualizar su perfil. En el cual los mismos pueden insertar su nombre, apellidos, foto de perfil e incluso pueden cambiar su contraseña. Esto para agregarle funcionalidades de personalización al sitio ya que no contaba con esto.

Para el panel de administración del sitio se desarrollaron varios componentes. Como componente principal va a estar la página principal del administrador donde se van a mostrar diferentes gráficos separados por usuarios, con información asociada a las distintas solicitudes que realiza cada usuario como se muestra en la Fig.1 incluyendo al usuario administrador. También se desarrolló un componente con la función de eliminar usuarios y cambiarle la contraseña en caso de que exista pérdida de esta. Para la creación de usuarios se ubicó en un componente en área de administración ya que el sitio funcionará de manera tal que el administrador del sitio será el encargado de darle un nombre de usuario y una contraseña que después deberá cambiar el usuario. Cabe destacar que ha ala hora de ingresar un nombre de usuario se validará utilizando una función en el backend que este nombre no coincida con uno existente ya.

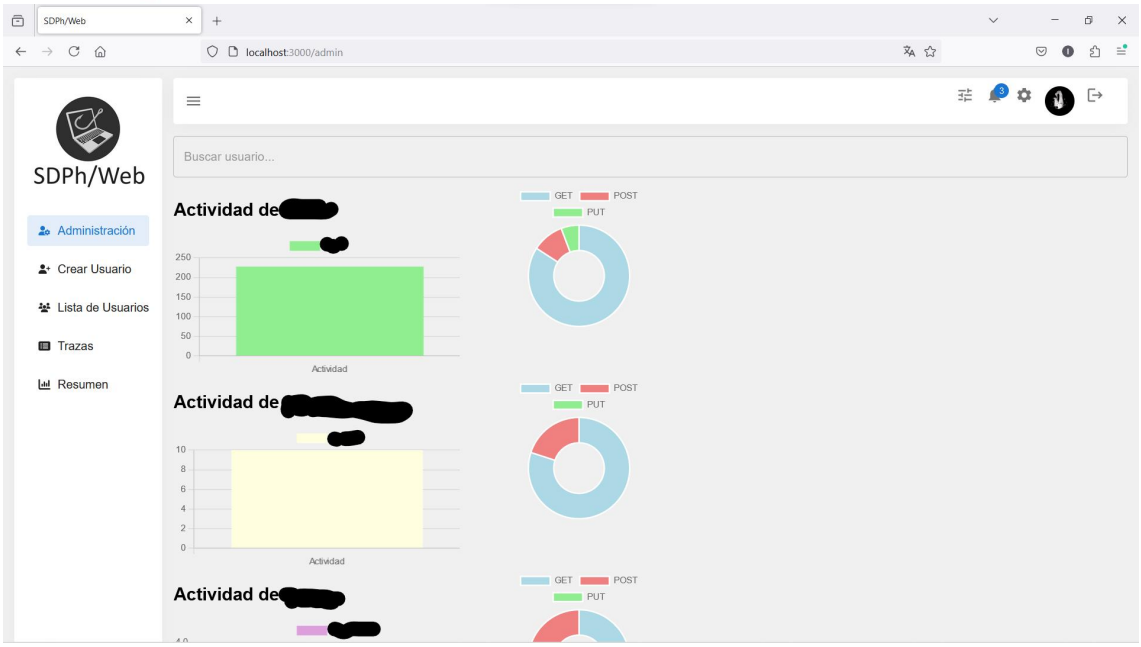



Figura 1: Gráficos con la actividad de cada usuario.

Para que el administrador pueda observar el contenido del archivo de registro se desarrolló un componente que incluye una tabla interactiva como muestra la Fig. 2, donde las filas son las líneas formateadas del archivo de registro y las columnas son los campos como: dirección ip de origen, hora, fecha, usuario, solicitud y recurso al que se accede. En esta tabla se puede filtrar por cualquiera de estos campos para así reducir la búsqueda.

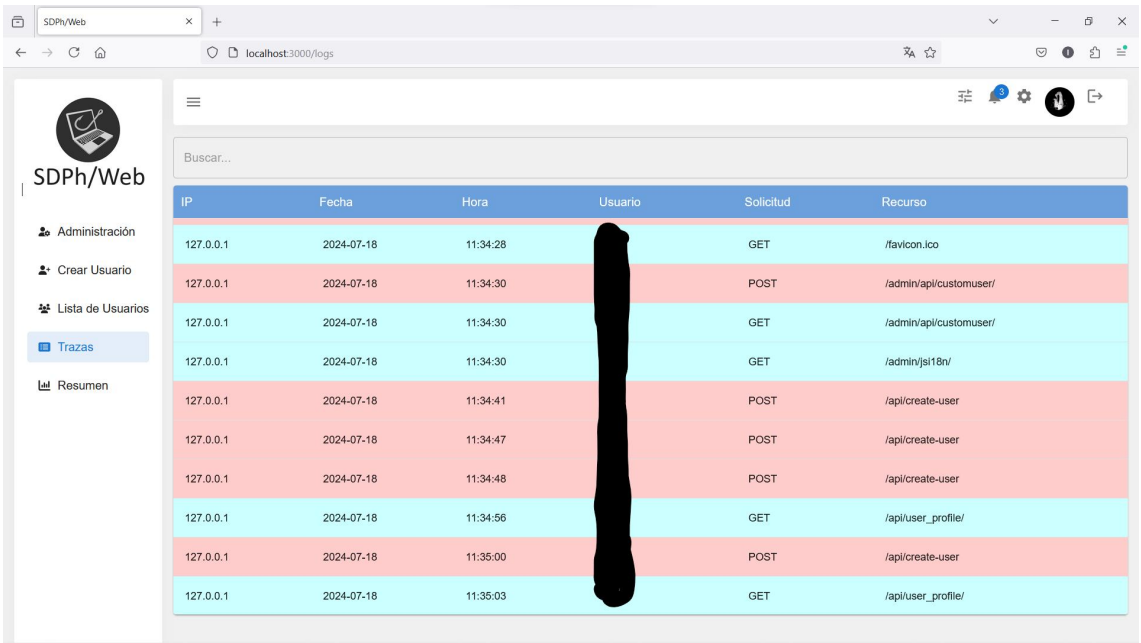



Figura 2: Tabla para observar las líneas del archivo de registro.

**Seguridad del sitio**

En los aspectos de seguridad se añadieron funciones básicas. Se implementaron funciones de validaciones para la contraseña y el usuario, así como para enviar de forma segura las peticiones entre los dos servidores (el backend y el frontend). Además para evitar problemas de navegación entre directorios o

entre páginas a través de la URL se desarrollaron dos componentes. Uno de ellos llamado PrivateRoute en el cual se encuentran las rutas del sitio protegidas para así un usuario que no esté autenticado no pueda acceder al sitio sin antes autenticarse. El otro componente denominado AdminRoute provee de protección a las rutas del área de administración. Ambos componentes se apoyan en el componente AuthProvider para realizar las validaciones, validar que este autenticado y validar que este autenticado y sea el administrador respectivamente. A la hora de que un usuario vaya a cambiar su contraseña esta será sometida a un análisis para ver si cumple con los requisitos, debe tener al menos 8 caracteres, incluir letras mayúsculas, minúsculas, números y símbolos. Esto también se aplica para el cambio de contraseña en el área de administración.

En el archivo de configuración de Django, se han implementado varias medidas de seguridad. La opción SECURE_CONTENT_TYPE_NOSNIFF está habilitada para prevenir ataques de tipo MIME, y SECURE_BROWSER_XSS_FILTER está activada para proteger contra ataques de cross-site scripting (XSS). Los ataques de tipo MIME (MIME Sniffing) ocurren cuando un navegador intenta adivinar el tipo de contenido de un archivo en lugar de confiar en el tipo de contenido declarado. Esto puede llevar a la ejecución de scripts maliciosos. La configuración SECURE_CONTENT_TYPE_NOSNIFF ayuda a prevenir estos ataques al indicar a los navegadores que no deben intentar adivinar el tipo de contenido[10]. Los ataques XSS permiten a los atacantes inyectar scripts maliciosos en sitios web confiables, que luego son ejecutados por el navegador de la víctima. Esto puede llevar al robo de datos, secuestro de sesiones o desfiguración de páginas web. La configuración SECURE_BROWSER_XSS_FILTER ayuda a mitigar estos ataques al habilitar el filtro XSS del navegador [11].

Además, se ha configurado la autenticación de sesiones mediante rest_framework.authentication.SessionAuthentication, y se ha incluido un middleware de seguridad (django.middleware.security.SecurityMiddleware). También se ha implementado un sistema de registro de logs para monitorear y depurar la aplicación, con un manejador de archivos configurado para almacenar los logs en debug.log. Estas medidas contribuyen a mejorar la seguridad y la integridad de la aplicación, aunque es importante considerar configuraciones adicionales para un entorno de producción.

Debido a que el sitio en estos momentos solo está en localhost existieron algunos requisitos que no se pudieron cumplir como: DEBUG Activado: La opción DEBUG está configurada como True. Esto no debe estar activado en un entorno de producción, ya que puede exponer información sensible sobre la aplicación. Sin embargo, dado que el sitio está alojado en localhost para desarrollo, esta configuración es aceptable temporalmente. Permitir Todos los Orígenes CORS: La configuración CORS_ALLOW_ALL_ORIGINS = True permite solicitudes desde cualquier origen. Esto puede ser un riesgo de seguridad en producción, especialmente si la aplicación maneja datos sensibles. En un entorno de desarrollo local, esta configuración facilita las pruebas y el desarrollo. Cookies de Sesión No Seguras: La opción SESSION_COOKIE_SECURE está configurada como False. Esto significa que las cookies de sesión no están protegidas por HTTPS, lo cual es un riesgo de seguridad en producción. En localhost, esta configuración es aceptable para pruebas y desarrollo.

## 4. CONCLUSIONES

La implementación del módulo utilizando la metodología de Programación Extrema (XP) ha demostrado ser una estrategia efectiva para el desarrollo de software en entornos con requisitos cambiantes y equipos de tamaño reducido. La adopción de las 12 prácticas de XP ha permitido mantener un enfoque ágil y colaborativo, asegurando la calidad del código y la satisfacción del cliente a través de entregas frecuentes y pruebas exhaustivas.

El uso de Django y React como tecnologías principales ha facilitado la creación de una aplicación web robusta y dinámica. Django, con su arquitectura Modelo-Vista-Template (MVT) y su integración con Python, ha proporcionado una base sólida para el backend, permitiendo una gestión eficiente de la base de datos y la lógica de negocio. Por otro lado, React ha permitido la construcción de una interfaz de usuario interactiva y modular, mejorando la experiencia del usuario final.

La implementación de medidas de seguridad, tanto en el backend como en el frontend, ha sido crucial para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos. La autenticación de usuarios, la protección de rutas y la validación de contraseñas son algunos de los mecanismos implementados para prevenir accesos no autorizados y ataques cibernéticos. Además, el uso de middleware para el registro de eventos y la configuración de opciones de seguridad en Django han contribuido a fortalecer la seguridad del sistema.

A pesar de las limitaciones inherentes al entorno de desarrollo local, se han tomado medidas para asegurar que la aplicación cumpla con los estándares de seguridad y funcionalidad. La configuración de opciones como SECURE_CONTENT_TYPE_NOSNIFF y SECURE_BROWSER_XSS_FILTER en Django, junto con la autenticación de sesiones y el registro de logs, son pasos importantes hacia la preparación de la aplicación para un entorno de producción.

En resumen, la combinación de Programación Extrema, Django y React ha resultado en una solución de software eficiente, segura y adaptable, capaz de satisfacer las necesidades tanto de los desarrolladores como de los usuarios finales. La atención a la seguridad y la calidad del código, junto con un enfoque ágil y colaborativo, han sido factores clave en el éxito de esta implementación.

## REFERENCIAS

[1] JEFFREY PÉREZ. ELK Stack: ¿Qué es y cómo implementarlo fácilmente mediante DOCKER? *Encora* [online]. 7. srpen 2018 [vid. 2024-07-15]. Dostupné z: https://www.encora.com/es/blog/elk-stack-que-es-y-como-implementarlo-facilmente-mediante-docker

[2] ANTI-PHISHING WORKING GROUP. *PHISHING ACTIVITY TRENDS REPORT* [online]. 2023 [vid. 2024-09-17]. Dostupné z: https://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q1_2023.pdf

[3] CAMILA PUZO SIFONTES a DARIEL OSCAR ALVAREZ HERRERA. *Sistema de detección de Phishing. Módulo Sitios Web*. La Habana, Cuba, 2023. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas. Universidad de las Ciencias Informáticas.

[4] CARRASCO GONZAGA, Marcos Klender, Willian Javier OCAMPO PAZOS, Luis Javier ULLOA MENESES a Jon AZCONA ESTEBAN. METODOLOGÍA HÍBRIDA DE DESARROLLO DE SOFTWARE COMBINANDO XP Y SCRUM. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*. 2019, **5**(2), 109–116.

[5] GARCÍA, Alonso Álvarez, Rafael de las Heras del DEDO a Carmen Lasa GÓMEZ. *Métodos Ágiles y Scrum*. B.m.: Anaya Multimedia, 2012. ISBN 978-84-415-3104-8.

[6] *¿Qué es la programación extrema (XP)? [2024] • Asana* [online]. [vid. 2024-09-19]. Dostupné z: https://asana.com/es/resources/extreme-programming-xp

[7] COLECTIVA, Nube. Que es Django, Historia y tu primer Hola Mundo (Corregido: 31-05-2019). *Blog de Programación y Desarrollo - Nube Colectiva* [online]. 19. duben 2016 [vid. 2024-09-18]. Dostupné z: https://blog.nubecolectiva.com/que-es-django-historia-y-tu-primer-hola-mundo/

[8] DANIEL SANTONJA MERINO. *Visualización de redes de conceptos científico-técnicos* [online]. España, 2014. Trabajo de Fin de Grado. Universidad Autónoma de Madrid. Dostupné z: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/662514/santonja_merino_daniel_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[9] *React* [online]. [vid. 2024-09-19]. Dostupné z: https://es.react.dev/

[10] GITLAN, Dionisie. ¿Qué es un ataque Man-in-the-Middle y cómo evitarlo? *SSL Dragon* [online]. 19. září 2024 [vid. 2024-09-19]. Dostupné z: https://www.ssldragon.com/es/blog/que-es-ataque-man-in-the-middle/

[11] IBM. *¿Qué es un ciberataque? | IBM* [online]. 15. srpen 2021 [vid. 2024-09-19]. Dostupné z: https://www.ibm.com/es-es/topics/cyber-attack

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INDICADORES DE OPTIMIZACIÓN EN BUSCADORES: IMPACTO EN LA RELEVANCIA Y VISIBILIDAD DE LOS SITIOS WEB

**Primer Autor (Lissette Valdés García)[1], Segundo Autor (Ariagna González Landeiro), Tercer Autor (Dunnia Castillo Galán)[3]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Carretera a San Antonio km 2 ½ Torrens, Cuba,
[2]Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Carretera a San Antonio km 2 ½ Torrens, Cuba,
[3]Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Carretera a San Antonio km 2 ½ Torrens, Cuba,
[1]e-mail: lvaldesg@uci.cu

## RESUMEN

Uno de los mecanismos para obtener información de la web es mediante los motores de búsqueda o buscadores. Por eso, aparecer en las primeras posiciones de un buscador conlleva a que propietarios de los sitios apliquen técnicas de Posicionamiento Web para optimizarlos de manera que alcancen mayor relevancia en el proceso de indexación de sus contenidos y así atraer tráfico orgánico o gratis. Estas técnicas incluyen elementos clave como metadatos, estructura semántica y configuraciones en la infraestructura lo cual es fundamental para mejorar su visibilidad. Se analizaron 4 herramientas online que incluye indicadores relacionados a la optimización en los buscadores: SEOptimer, SEO Site Checkup y Metricspot, además de la herramienta cubana SEO WebMas como alternativa nacional para realizar análisis similares, de esta última se tuvo en cuenta el comportamiento de 11 indicadores en 1079 direcciones web cubanas que se encontraban disponibles en el momento del análisis, siendo Error 404 (70 %) y Codificación (52 %) las de mayor cumplimiento. Con el análisis realizado a la muestra de direcciones web cubanas se pudo comprobar que sigue siendo escaso el uso de estas técnicas o buenas prácticas recomendadas, lo que denota que, aunque se han dado pasos en la Transformación Digital del país, es necesario tener en cuenta dichas métricas, entre otros factores, si se quiere lograr que los contenidos cubanos alcancen mayor relevancia y visibilidad en la web.

**PALABRAS CLAVES:** Contenidos cubanos, motores de búsqueda, Posicionamiento Web, relevancia, visibilidad

## SEARCH ENGINE OPTIMIZATION: IMPACT ON THE VISIBILITY AND RELEVANCE OF WEBSITES

## ABSTRACT

One of the mechanisms to obtain information from the web is through search engines or search engines. Therefore, appearing in the top positions of a search engine leads to site owners applying Web Positioning techniques to optimize them so that they achieve greater relevance in the indexing process of their content and thus attract organic or free traffic. These techniques include key elements such as metadata, semantic structure, and infrastructure configurations, which is critical to improving your visibility. 4 online tools were analyzed that includes indicators related to search engine optimization: SEOptimer, SEO Site Checkup and Metricspot, in addition to the Cuban tool SEO WebMas as a national alternative to perform similar analyses, the latter took into account the behavior of 11 indicators in 1079 Cuban web addresses that were available at the time of the analysis. with Error 404 (70%) and Coding (52%) being the most compliant. With the analysis carried out on the sample of Cuban web addresses, it was possible to verify that the use of these techniques or recommended good practices is still scarce, which denotes that, although steps have been taken in the Digital Transformation of the country, it is necessary to take into account these metrics, among other factors, if Cuban content is to achieve greater relevance and visibility on the web.

**KEY WORDS:** Cuban content, search engines, Web positioning, relevance, visibility

## 1. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología y la comunicación en la vida cotidiana actual ha permitido que aumente la accesibilidad a la información y el uso de servicios que mejoran la calidad de vida de las personas. Esta cantidad de información existente en Internet ha impuesto la utilización de herramientas que faciliten encontrarla de forma rápida brindando a los usuarios resultados relacionados con los criterios de búsqueda.

Uno de los mecanismos para obtener información de la web es mediante los motores de búsqueda (*Search Engines*) o buscadores[1]. Según el estudio Cuota de mercado de los principales motores de búsqueda online a nivel mundial de 2021 a 2023 realizado por la empresa alemana Statista, Google se colocó en el primer lugar del ranking de los motores de búsqueda con mayor cifra de usuarios durante todo el periodo analizado, con una cuota de mercado mundial superior al 92%. Le seguía a gran distancia Bing, cuyo porcentaje de utilización se mantuvo estable entre el 2,5% y el 3,2% [1].

Cada buscador tiene sus mecanismos para posicionar aquellas páginas relevantes y de calidad según el contenido buscado, esto ha propiciado que tengan constantes actualizaciones de sus algoritmos. Por eso, aparecer en las primeras posiciones de un buscador conlleva a que propietarios de los sitios web apliquen técnicas para optimizarlas de manera que alcancen mayor relevancia en el proceso de indexación de sus contenidos y así atraer tráfico orgánico o gratis, estas técnicas son conocidas como Posicionamiento Web o SEO (*Search Engine Optimization*), por sus siglas en inglés.

El proceso de optimización es un trabajo continuo, varias son las acciones a realizar para mejorar los indicadores que ayuden a obtener mayor relevancia y visibilidad en la web, como son el uso de metaetiquetas y/o configuraciones en los servidores que permitan una mejor comunicación del sitio con los buscadores. Esta labor requiere de estudio y esfuerzo constante para alcanzar un resultado exitoso a largo plazo.

Alcanzar una mayor visibilidad de los contenidos cubanos en internet constituye hoy un interés del gobierno, los avances alcanzados en la implementación de la Política Integral para la Informatización, el trabajo desarrollado por los órganos y organismos de la Administración Central del Estado, las universidades, entidades nacionales y los órganos locales del Poder Popular, permiten asumir el tránsito hacia la transformación digital como proceso evolutivo que enriquece y actualiza la estrategia de desarrollo basado en el uso intensivo de las tecnologías digitales [2]. En este sentido se pretende que los sitios web logren mayor audiencia, además que los usuarios interactúen y hagan uso de servicios en línea, para lograrlo se requiere, entre otros aspectos, que sean devueltos en los primeros resultados orgánicos de los buscadores.

## 2. OPTIMIZACIÓN PARA BUSCADORES

El SEO constituye un aspecto fundamental en el desarrollo, administración y actualización de páginas web, mientras mejor sea el posicionamiento de un sitio web, más efectiva es la comunicación con los buscadores y mayor es la visibilidad de sus contenidos.

El empleo de técnicas SEO actualmente es un elemento clave si se tiene presente que los usuarios por lo general terminan visitando solo la primera página devuelta por los motores de búsqueda, siendo estas primeras posiciones las de mayor tráfico.

Las estrategias o técnicas de posicionamiento SEO orgánico o natural se clasifican en dos grandes grupos: optimización de elementos internos (On-site) y optimización de elementos externos (Off-site). El On-site son aquellas que se basan en modificar el contenido de la propia página web, es decir, el código, los

[1] Sistemas informáticos que recopilan la información almacenada en los servidores web, cuando un usuario realiza una búsqueda mediante palabras clave, analizan los datos y generan una lista de resultados en forma de enlaces que dan respuesta a esa búsqueda.

elementos que la componen, el contenido, la forma de generar las URL, etc. Mientras que el Off-site son todas aquellas acciones que se pueden realizar desde fuera de la página para mejorar el posicionamiento de esta y marcan la autoridad del sitio dentro del espacio digital [3].

Mediante el SEO On-site u On-page se puede alcanzar buena disponibilidad, bajos tiempos de respuestas y que los motores de búsqueda entiendan mejor los contenidos publicados, concediéndoles a estos una mayor relevancia. Algunas variables e indicadores relacionados con este grupo de técnicas se asocian a la calidad de los metadatos definidos (o *meta tags* como son conocidos por su nombre en inglés): la utilización de estructura semántica (estructura que denota un mayor significado para los motores de búsqueda), la calidad de las direcciones de las páginas (o URLs por las siglas en inglés de *Uniform Resource Locator*), la optimización de los recursos multimedia y de la infraestructura, entre otros aspectos [4].

Obtener éxitos en este campo no resulta fácil, debido sobre todo a una alta competitividad, pero es posible lograrlo combinando la calidad de los contenidos con la optimización de la estructura interna del sitio web y una eficaz interrelación con otros sitios y usuarios, lo que permitirá al sitio web obtener dos requerimientos fundamentales: autoridad y la relevancia [5].

**Impacto en la relevancia y visibilidad de los sitios web**

La **visibilidad** web puede ser definida como el grado de facilidad en que un usuario puede alcanzar a través de una referencia en línea el sitio web de una empresa u organización [6]. Las empresas comprendieron que si querían aumentar el tráfico de sus sitios debían aparecer entre las primeras posiciones de la página de resultados de los buscadores.

Existen diferentes métodos para incrementar la visibilidad de los sitios web en los motores de búsqueda, y la estructura interna del sitio es un componente esencial para hacer que sea entendible por ellos como se ha explicado anteriormente. Una forma de mejorar la estructura de un sitio web y ofrecer datos relevantes para los usuarios en los resultados de búsqueda es la definición de los metadatos en el código HTML, así como una correcta configuración del sitio, siendo un factor que tiene alto impacto. Esto permite que un *crawler*[2] o araña entienda su contenido durante el proceso ejecutado por el motor de búsqueda. Con la ayuda de los metadatos, la configuración en servidores, entre otros aspectos, pueden determinar el tema y relevancia de las diferentes secciones del sitio.

La **relevancia** es la correspondencia entre la consulta introducida por el usuario en el buscador y los elementos del sitio que permiten devolverlo como uno de los resultados [7]. Cuando el usuario busque algo relacionado con determinadas palabras clave o contenidos, el buscador mostrará los resultados más relevantes en primer lugar. Al tener mayor visibilidad y salir en las primeras posiciones, el sitio web también tendrá un mejor número de potenciales usuarios.

El proceso de optimización de la web debe ser una práctica sistemática para lograr más tráfico, es una tarea que requiere de investigación continua si se quieren obtener resultados que permitan posicionar los contenidos. Particularmente, la utilización de indicadores de optimización en buscadores es una ventaja para lograr que un sitio obtenga mayor relevancia y visibilidad, aunque influyen otros factores, la presente investigación se centra en este tipo de métricas donde pueda ser garantizada por desarrolladores y administradores de los sitios web.

**Indicadores de optimización para los buscadores**

Los objetivos SEO varían según el tipo de sitio web (institucional o corporativo, comercio electrónico, blog, educativos, noticias, etc.), sus funciones, el público meta y la necesidad a la que responden. Aunque no importa para qué sean, se recomienda que estén optimizados para medir y mejorar continuamente la

[2] Un *crawler* o araña web es un sistema automatizado que rastrea todas las páginas que se encuentran en Internet. Los buscadores web utilizan este sistema para procesar la información recolectada para construir sus índices de resultados.

comunicación y visibilidad del sitio web en los motores de búsqueda, lo cual es fundamental para cualquier estrategia de marketing digital efectiva.

En este sentido, la optimización web es un proceso donde se requiere de planificación y análisis para ejecutar las acciones de manera inteligente, teniendo en cuenta sus objetivos estratégicos, características, los competidores, palabras clave, entre otros elementos. El tiempo para comenzar a ver resultados puede variar en función de diversos factores, algunos pueden mostrar avances significativos más rápido que otros, es crucial ser paciente, constante y analítico en el proceso. Por lo tanto, el monitoreo y seguimiento de los indicadores y acciones aplicadas debe realizarse conforme a la evolución de la estrategia.
Es importante aclarar a qué se refiere cuando se habla de indicadores de optimización para los buscadores. Pues bien, estos son un conjunto de técnicas o buenas prácticas que se aplican desde la construcción, actualización y configuración de los sitios web de manera que facilite una mejor comunicación de este con los motores de búsqueda para garantizar un buen trabajo en el SEO On-site y permitan crear bases sólidas para el SEO Off-site.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente algunos indicadores relacionados con este grupo de técnicas se basan principalmente en la utilización de metadatos o etiquetas meta, estructura semántica y configuraciones necesarias, como se muestran a continuación:

Metadatos o etiquetas meta

Los **metadatos o etiquetas meta** son etiquetas HTML que sirven para proporcionar información adicional sobre una página a los buscadores y a otros clientes. Los clientes procesan las etiquetas meta e ignoran las que no son compatibles. Las etiquetas meta se añaden a la sección <head> de las páginas HTML. Actualmente el buscador Google ignora algunas etiquetas meta que en otras ocasiones admitía y son comunes utilizar como son las palabras claves[3] que actualmente no afecta a la indexación ni al posicionamiento y el idioma[4] de una página lo detecta basándose en su contenido textual, y no en anotaciones de código HTML [8].

Título: Nombre para cada página web y que se muestra en los resultados de búsquedas. Se define en la etiqueta <*title*> del código HTML.

Descripción: Fragmento de texto que aparece en los resultados de búsqueda debajo del título para describir de forma resumida el contenido de una página. Se describe en la etiqueta <*description*> del código HTML.

Codificación de la página: Conjunto de caracteres y tipo de contenido de la página para asegurar que se vean correctamente y, por tanto, puedan leerse sin problemas por los usuarios. Se define mediante el atributo <*meta charset="..."*> del código HTML.

URL canónica: URL principal ante la existencia de direcciones similares en la web para ayudar a los buscadores a mostrar solo una versión del contenido duplicado en los resultados de búsqueda. Se define a través de la etiqueta: <*link rel="canonical" href="..."*> /> del código HTML.

Alt de imágenes: Atributo que se utiliza para especificar textos alternativos para las imágenes que aparecen en cualquier página. Los motores de búsqueda utilizan este atributo para identificar su contenido.

Noindex: Es una regla que se configura con una etiqueta <*meta*> o con un encabezado de respuesta HTTP, y que sirve para impedir que los buscadores que admiten la regla noindex, como Google, indexen

[3] Son palabras o construcciones lingüísticas que identifican al sitio web y a cada contenido publicado. Se define en la etiqueta <*keywords*> del código HTML.
[4] Identificación del idioma predeterminado utilizado en el texto de la página. Se define en la etiqueta <*lang*> del código HTML.

contenido. Así, cuando el robot de Google rastrea una página y extrae la etiqueta o el encabezado, Google la retira de los resultados de la Búsqueda, aunque otros sitios tengan enlaces a ella [9].

Nofollow: Este valor se añade a los enlaces en caso de no querer que Google asocie el sitio con el contenido de la página enlazada ni que la rastree siguiendo ese enlace para impedir que se transmitan señales de calidad a esos enlaces o que su mala calidad afecte a los resultados del propio sitio. Se define a través del atributo *rel="nofollow"* que solo se usa en etiquetas <a> [10].

Estructura semántica

Las **etiquetas semánticas** son elementos de código que ayudan a estructurar una página para que sea clara y legible para los buscadores. Además, indican al navegador cómo mostrar una página informando de su estructura, y, por tanto, también ayudan a que las páginas web sean legibles para cualquier usuario [11].

Lenguaje HTML 5: Lenguaje básico para el desarrollo de páginas web en su quinta versión. Presenta elementos y atributos que enfatizan en la semántica de la estructura de la web. Etiquetas como *nav, header, footer, section* y *article* son algunas de las etiquetas principales que ayuda a los motores de búsqueda y lectores de pantalla a entender la estructura y el significado del contenido.

Encabezados: A través de los encabezados H o *Heading Tags* se consigue jerarquizar los contenidos de las páginas. Se definen con la etiqueta <*Hn*> donde "n" es un número entre 1 y 6 que indica la jerarquía de dicha cabecera, siendo <*h1*> el más relevante y <*h6*> el menos relevante.

Tabla de contenidos: Índice automático que se ubica al principio de la página para que dirija al usuario de forma rápida a las partes relevantes o de su interés, además puede hacerse una idea de lo que contiene. Los rastreadores de Google son capaces de identificar e interpretar esa información y mostrar parte de esa tabla de contenidos durante los resultados de búsqueda de un usuario.

Datos estructurados: Formato estandarizado para proporcionar información de una página y clasificar su contenido. Por ejemplo, en una página de recetas, podrías marcar con datos estructurados los ingredientes, el tiempo y la temperatura de cocción, o las calorías, entre otros detalles. La Búsqueda de Google admite datos estructurados en los siguientes formatos siguientes JSON-LD[5] (opción recomendada), microdatos[6] y RDFa[7] [12].

*Rich Snippets*: Fragmentos enriquecidos del contenido que se implementa con datos estructurados y pueden aparecer en la "Posición cero", o sea fragmentos destacados que pueden anteceder a los resultados orgánicos de la SERP de Google, sin la necesidad de encontrarse en la primera posición.

*Rich Cards:* Las tarjetas enriquecidas son una evolución de los fragmentos enriquecidos que utilizan las etiquetas provenientes de *schema.org* con el objetivo de adaptar contenidos a los dispositivos móviles presentando la información a través de imágenes en formato de carrusel.

*Breadcrumbs* o migas de pan: Elemento de navegación situado generalmente en la parte superior del contenido de una página que ayuda al usuario a ubicarla en la arquitectura de la información de un sitio web. Está compuesta por enlaces que permiten al usuario retroceder en su navegación o desplazarse a categorías más o menos genéricas dentro de la jerarquía de contenidos. En los resultados de búsqueda de Google, se han integrado las *breadcrumbs* en el contenido de los *snippets*, siendo más atractivos para el usuario y transmiten claramente la estructuración del contenido que se busca.

---

[5] Notación de JavaScript insertada en una etiqueta <*script*> situada en los elementos <*head*> y <*body*> de una página HTML.

[6] Especificación HTML de comunidad abierta con la que se pueden anidar datos estructurados dentro de contenido HTML.

7 Extensión HTML5 que admite datos vinculados mediante atributos de etiquetas HTML que corresponden al contenido que los usuarios pueden ver y que se quiere describir para los motores de búsqueda.

Configuraciones en la infraestructura

Existen **configuraciones en la infraestructura** que son necesarias realizar de manera que permitan al sitio web brindarle información a los rastreadores para que sean mejor indexados en los buscadores.

Sitemap: Lista de archivos que proporciona información sobre las páginas, los vídeos y otros archivos del sitio, así como sobre las relaciones que hay entre ellos. Los sitemaps informan qué archivos de un sitio son importantes y, además, incluyen datos importantes sobre ellos. Por ejemplo, en el caso de las páginas, pueden indicar cuándo se actualizaron por última vez y si tienen versiones en otros idiomas [13].

Robots: Archivo de texto que se encuentra en la raíz del sitio y sirve para bloquear cualquier contenido que no desea que sea rastreado por los robots de Google. Principalmente, se utiliza para evitar que las solicitudes que recibe el sitio lo sobrecarguen.

Error 404: Código de estado (404) devuelto a los buscadores ante solicitudes de páginas inexistentes. Se recomienda no ocultar este error para minimizar la posibilidad de tener contenidos no disponibles indexados en los motores de búsqueda.

Enlaces Rotos: Son páginas que no existen o no pueden ser encontradas ya sea porque ha cambiado su ubicación, se eliminó o no fue redirigida correctamente. En estos casos se recomienda personalizar las páginas con código de estado 404, ofreciendo a los usuarios la posibilidad de seguir navegando por el sitio.

Existen herramientas para realizar diagnóstico y monitoreo de indicadores SEO On-site, que pueden incluir o no métricas relacionadas a la comunicación con los buscadores. Es oportuno describir algunas de ellas para conocer las potencialidades que brindan relacionadas a este aspecto como parte del estudio realizado en la presente investigación.

## 3. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE INDICADORES SEO EN LOS SITIOS WEB

Cuando se tiene un sitio web es útil el uso de herramientas para el análisis de indicadores SEO si se quiere lograr mayor relevancia y visibilidad en los buscadores. Estas herramientas permiten obtener buenas prácticas y recomendaciones del sitio de manera que se puedan tomar acciones para mejorarlo y lograr el objetivo propuesto.

Las herramientas analizadas presentan una visión integral en cuanto a métricas SEO, están disponibles en la web, disponen de opciones de membresía o de utilización de coste cero, además pueden ser utilizadas para analizar cualquier tipo de sitio web. A partir de tales requerimientos, fueron seleccionadas las siguientes 3 herramientas: SEOptimer, SEO Site Checkup y Metricspot.

Se considera que el análisis de estas 3 herramientas propicia la identificación de un conjunto de indicadores relacionados con la comunicación del sitio y los motores de búsquedas. Los indicadores que se describen son lo que estaban disponibles en el momento de realizar los análisis (septiembre 2024) bajo las opciones de membresía gratuita[8] o para las versiones básicas[9] de coste cero. Las membresías o las opciones de pago pueden tener opciones adicionales, además éstas pueden variar con el tiempo. Aunque no se puede afirmar que estas herramientas cuentan con todo el grupo de indicadores relacionados a la optimización en buscadores, si son relevantes y merecen tener en cuenta las métricas que brindan.

**SEOptimer**

[8] Membresía gratuita o temporal implica que, transcurrido un tiempo, generalmente, unas pocas semanas, ya no es posible utilizar la herramienta.
[9] La versión básica de afiliación implica que pueden usarse la herramienta sin ninguna limitación temporal, pero con limitaciones funcionales.

Herramienta disponible en la dirección https://www.seoptimer.com/es/ que realiza auditorías SEO brindando información sobre el SEO de la página del sitio web, clasificaciones, perfil de backlink, usabilidad móvil, rendimiento y otros. Ofrece sugerencias y guías sobre cómo solucionar los problemas identificados, organizadas por prioridad para que el usuario sepa en qué debe trabajar primero, además que permite exportar el reporte a PDF [14].

Dentro del análisis de indicadores relacionados a la optimización para buscadores se encuentran:

- Etiquetas título, descripción, palabras clave
- Idioma y uso de Hreflang para versiones de una misma página en diferentes idiomas.
- Codificación de caracteres.
- Etiqueta canónica.
- Atributo Alt de imágenes.
- Etiquetas de encabezados H1-H6.
- Vista Previa del Snippet SER.
- Verificación de datos estructurados de Schema.org.
- Prueba de etiqueta y encabezado Noindex.
- Uso de Sitemaps y robots.txt.

**SEO Site Checkup**

Herramienta para el análisis SEO de los sitios web disponible en la dirección https://seositecheckup.com/. Presenta gran cantidad de factores a analizar relacionados a optimización de velocidad, seguridad, usabilidad móvil, entre otros, además proporciona recomendaciones para resolver los problemas encontrados y permite descargar el informe en PDF [15]. Está solamente disponible para el idioma inglés.

Dentro del análisis de indicadores relacionados a la optimización para buscadores se encuentran:

- Etiquetas título, descripción
- Palabras clave más comunes o nube de palabras clave.
- Codificación de caracteres.
- Etiqueta canónica.
- Atributo Alt de imágenes.
- Etiquetas de encabezados H1-H6.
- Vista Previa del resultado de búsqueda en Google (versión escritorio y móvil).
- Etiquetas HTML en desuso.
- Prueba de datos estructurados.
- Uso de Sitemaps y robots.txt.
- Enlaces rotos.
- Prueba de página de error 404 personalizada.
- Prueba de etiqueta Noindex.
- Prueba de etiqueta Nofollow.

**Metricspot**

Herramienta que mide el grado de optimización de un sitio en función de más de 80 parámetros SEO que influyen en el ranking de Google y brinda algunas recomendaciones al respecto. Está disponible en la dirección https://metricspot.com/ y proporciona análisis de Backlinks, informes en PDF, datos relacionados al contenido, usabilidad, redes sociales, entre otros [16]. Además, ofrece un resumen del estudio del sitio web y le da una puntuación en base al grado de optimización de los indicadores analizados en cada una de las categorías.

Dentro del análisis de indicadores relacionados a la optimización para buscadores se encuentran:

- Etiquetas título, descripción, palabras clave
- Idioma.
- Etiqueta canónica.
- Atributo Alt de imágenes.
- Etiquetas de encabezados H1-H6.
- Vista Previa SERP.
- Uso de Sitemaps y robots.txt.
- Página de error 404.

Aunque las 3 herramientas comentadas anteriormente: SEOptimer, SEO Site Checkup y Metricspot, son apropiadas para realizar diagnóstico del estado de indicadores SEO de los sitios web, todas coinciden en que para obtener mayor cantidad de métricas y funcionalidades el usuario debe estar registrado y suscrito a algún plan de pago, los cuales se efectúan en euros o dólares. Además de que estas herramientas se basan en estándares internacionales delimitados que no miden ni se adecuan a aspectos específicos del entorno nacional cubano.

**SEO WebMas: Propuesta de herramienta cubana para evaluar indicadores SEO en los sitios web**

En Cuba, el nivel de conocimientos SEO es insuficiente por parte de decisores, desarrolladores, administradores, encargados de la creación de contenidos y otras personas que tengan que ver con la gestión de un sitio web, aunque se ha notado un avance en la alfabetización de estos temas desde la creación del Monitor de Sitios Web Cubanos[10]. Aun así, todavía muchos desconocen las potencialidades del uso de técnicas SEO que contribuyen a que un sitio pueda posicionarse en los primeros resultados de búsquedas obteniendo mayor relevancia y visibilidad, y por ende tráfico al sitio.

A partir de esta realidad se desarrolla en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) la herramienta *online* SEO WebMas, que es una alternativa nacional a cientos de herramientas que existen en Internet, la cual permite evaluar el comportamiento de un grupo de variables asociadas al posicionamiento web en buscadores además de otros aspectos como seguridad, los cuales tributan a elevar la calidad de los sitios web y su visibilidad en los buscadores. Aunque el servicio se ha centrado en la web nacional, la herramienta también está preparada para analizar sitios web extranjeros por lo que se encuentra disponible y accesible desde cualquier lugar de Internet a través de la dirección www.seowebmas.redcuba.cu. Además, la herramienta contribuye a que el país siga avanzando en la soberanía tecnológica y constituye una alternativa nacional al no tener que pagar a plataformas foráneas y en moneda libremente convertible para realizar análisis similares, tributando de este modo a la sustitución de importaciones [17].

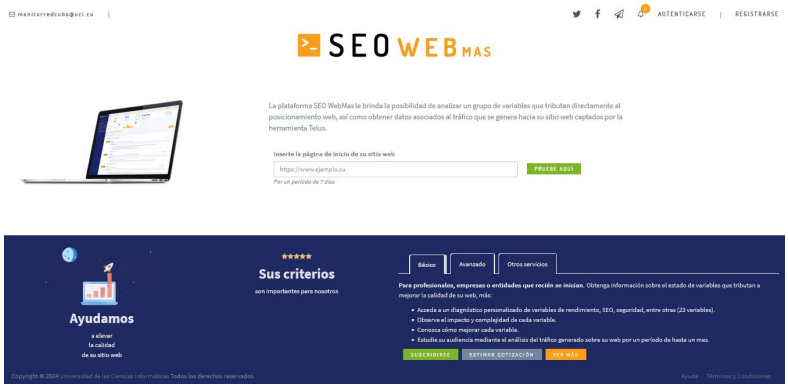



Figura 1: Página de portada de la herramienta *online* SEO WebMas.

[10] El Monitor de Sitios Web Cubanos es un macroproyecto de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) iniciado en 2017 donde se han generado varias aplicaciones y servicios que tienen como objetivo principal potenciar la visibilidad en Internet de los contenidos digitales cubanos a partir de la aplicación de técnicas de posicionamiento que influyen directamente en el mejoramiento de la relevancia y popularidad de los sitios web.

Actualmente se analizan alrededor de 30 variables con más de 60 indicadores donde son evaluados como correctos, incorrectos o a mejorar que presenta cada sitio web analizado, además se brindan recomendaciones a tener en cuenta, así como información detallada de algunas de ellas.

La herramienta agrupa sus indicadores en 6 categorías, entre ellas se encuentra Optimización para los buscadores. Esta categoría abarca las acciones y ajustes que se realizan directamente en los sitios web para mejorar su clasificación en los motores de búsqueda, lo cual incluye tanto la optimización técnica de la página como de su contenido.

Dentro del análisis de indicadores relacionados a la optimización para los buscadores se encuentran:

- Etiquetas título, descripción, palabras clave
- Idioma.
- Etiqueta canónica.
- Codificación de la página.
- Atributo Alt de imágenes.
- Uso de HTML 5.
- Uso de Sitemaps y robots.txt.
- Error 404.




Figura 2: Evaluación SEO de un sitio en la herramienta *online* SEO WebMas.

Debe destacarse que el proceso de optimización web no es un trabajo acabado, no todas las técnicas tienen igualdad de relevancia en el posicionamiento web, ni son estáticas, pues varían en dependencia de cambios que se realicen en los algoritmos de los buscadores y también del tipo de sitio. En este sentido, la herramienta va evolucionando y se desarrollan o actualizan nuevos indicadores a medir que influyen directamente en la relevancia y visibilidad en el entorno digital, basados en la mejora de aspectos asociados a la comunicación con los buscadores, seguridad, usabilidad, optimización móvil, entre otros aspectos.

El equipo de trabajo que ha desarrollado la herramienta, mediante el análisis y con la práctica en su uso, ha podido identificar aspectos específicos o características de la web cubana con el propósito de conocer las fortalezas y debilidades que presenta, identificar incidencias y tendencias que están presentes en la web, además de asesorar sobre el uso de buenas prácticas de posicionamiento web en el desarrollo, administración y gestión de los contenidos en sitios cubanos.

## 4. RESULTADOS

Con el uso intensivo de los motores de búsqueda como vía previa para acceder a un sitio web, como se puede ver en la Fig. 3 mediante las estadísticas que brinda la herramienta Telus[11] en los 272 sitios web cubanos que presentan en este momento el script para obtener datos de tráfico web (asociado al SEO off-site), se recomienda que los sitios cubanos sigan buena prácticas relacionadas a la optimización en los buscadores para lograr mayor relevancia y visibilidad en la web.




Figura 3: Visitas por formas de entrada (anual) del grupo de sitios con script en la herramienta Telus.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se analizó el comportamiento de las variables del grupo Optimización para los buscadores que brinda la herramienta cubana de análisis SEO en una muestra de sitios web que se encuentran actualmente indexados y categorizados en el Directorio web[12] (Fecha: 28/09/2024).

Para un total de 2458 direcciones web evaluadas, solamente 1079 se encuentran disponibles.

En las Fig. 4 y Fig. 5 se muestran la cantidad de direcciones web disponibles que han sido evaluadas de "Correcto" en cada una de las variables del grupo analizado, no se tuvieron en cuenta las evaluadas de "Incorrecto" o "A mejorar".

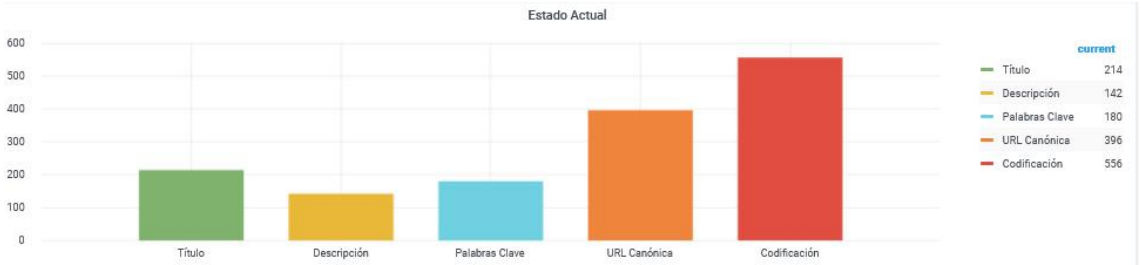



Figura 4: Estado actual (Correcto) de 5 variables del grupo Optimización para los buscadores en los sitios web disponibles.

Como se puede ver en la Fig. 4, la variable con mayor cantidad de direcciones web evaluadas de "Correcto" es Codificación con un 52 % de cumplimiento, lo que denota que sigue siendo insuficiente cuando es una etiqueta meta admitida por Google y que se debería incluir en cualquier página web para asegurar que el navegador conozca la codificación de caracteres utilizada antes de que comience a procesar el resto de la información, de manera que pueda leerse sin problemas su contenido. Luego le siguen las variables URL canónica con 37 %, Título con 20 %, Palabras clave con 17 %. Por último, Descripción con 13 %, lo cual significa que los sitios que no lo tienen incorporado o lo deben mejorar,

11 Herramienta de analítica web perteneciente al Monitor de Sitios Web Cubanos que tiene una versión para el análisis grupal por entidades, provincias, y sitios afines, etc. (Alternativa nacional y que pudiera ser de importancia para la toma de decisiones de usuarios que tienen más de un sitio web, y quieran analizar el nivel de efectividad de sus campañas de comunicación, la integración entre sus medios, entre otros elementos).
12 Repositorio perteneciente al Monitor de Sitios Web Cubanos donde son registrados los sitios web permitiendo su posterior caracterización. Es una herramienta solamente abierta a los administradores para la correcta manipulación y análisis de la información que se utiliza de entrada al proceso de evaluación SEO a los sitios web.

mostrará la información resumida de cada sitio en los resultados de búsquedas de manera incompleta o poco atractiva para los usuarios.

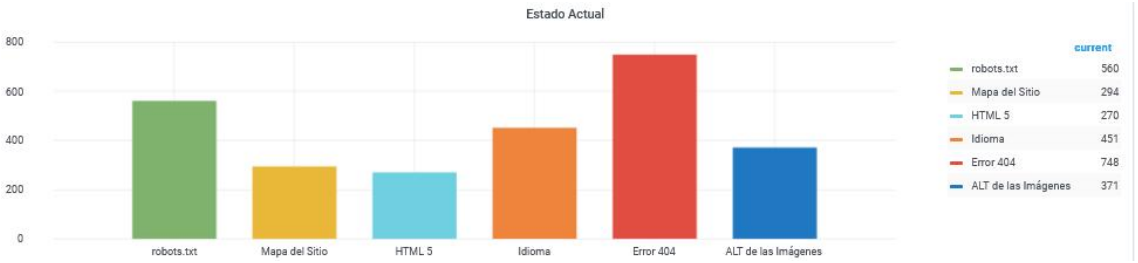



Figura 5: Estado actual (Bien) de 6 variables del grupo Optimización para los buscadores en los sitios web disponibles.

Como se puede ver en la Fig. 5, la variable con mayor cantidad de direcciones web evaluadas de "Correcto" es Error 404 con un 70 % de cumplimiento, lo que denota que la mayoría de los sitios devuelven correctamente este código ante solicitudes de páginas inexistentes, el cual debe prestársele atención a este tipo de respuesta del servidor (página no encontrada), pues cuenta como error cuando los buscadores realizan el rastreo. Luego le siguen las variables Robots con 52 %, Idioma con 42 %, Alt de las imágenes con 34 %, Mapa del sitio con 27 %. Por último, HTML 5 con 25 %, lo que significa que parte de estos sitios no utilizan algunas de las etiquetas semánticas *nav*, *header*, *footer*, así como *section* o *article* para identificar las regiones del sitio de manera que los buscadores puedan entender fácilmente su información, así como facilitar la comprensión por parte de los usuarios.

De manera general, con el análisis realizado a esta muestra de direcciones web cubanas se pudo comprobar que sigue siendo escaso el uso de técnicas SEO o buenas prácticas recomendadas, lo que denota que, aunque se han dado pasos en la Transformación Digital del país, es necesario tener en cuenta dichas métricas, entre otros factores, si se quiere lograr que los contenidos cubanos alcancen mayor relevancia y visibilidad en la web.

## 5. CONCLUSIONES

Los indicadores de optimización para los buscadores son un elemento clave dentro de la estrategia de posicionamiento, ya que permite rastrear su progreso, optimizar y corregir errores lo que contribuye a ganar cada vez un mejor lugar en los resultados de búsquedas.

El SEO On-site incluye aquellos factores sobre los que se puede ejercer mayor control, ya que su optimización depende del trabajo dentro de la propia página web.

Conocer herramientas de análisis SEO y describir un grupo de indicadores de optimización para los buscadores permite entender el fenómeno y es una guía para optimizar una web utilizando dichas métricas.

Por ello, se recomienda poner en práctica todas o algunas de las acciones y sugerencias descritas en el trabajo si se quiere lograr mayor relevancia y visibilidad en los motores de búsquedas.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los integrantes del equipo desde sus inicios del proyecto por sus contribuciones a su materialización y realización, vital ha sido la colaboración de muchas entidades nacionales que han participado en los diferentes análisis realizados, así como a los usuarios que utilizan la herramienta SEO WebMas, de la cual se brinda un acercamiento en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

**1. Statista.** ***Cuota de mercado de los motores de búsqueda online usados desde ordenadores de sobremesa a nivel mundial de enero de 2017 a enero de 2024.*** [En línea] 2024. [Citado el: 12 de Septiembre de 2024.] https://es.statista.com/estadisticas/634462/cuota-de-mercado-mundial-de-los-motores-de-busqueda/.

**2. Política parar la Transformación Digital, Agenda Digital Cubana y Estrategia de Inteligencia Artificial.** Ministerio de las Comunicaciones. 2024.

**3. Celaya Luna, Ainoa.** ***Posicionamiento web (seo/sem)***. s.l. : ICB editores, 2017.

**4.** ***SEO Techniques for a Website and its Effectiveness in Context of Google Search Engine.*** **Kumar, Lalit y Kumar, Naresh.** Issue-4 , s.l. : Int. J. Comput. Sci. Eng (IJCSE), 2014, Vols. Volume-2. E-ISSN: 2347-2693.

**5. Urquizo Abril, Maribel Carmen.** ***Propuesta para incrementar la visibilidad de un sitio web aplicando técnicas de posicionamiento que permiten mejorar el ranking en los resultados de búsqueda de Google.*** Arequipa : s.n., 2016.

**6.** ***Online visibility as a source of competitive advantage for small- and medium-sized tourism accommodation enterprises.*** **Smithson, Steve, Devece, Carlos Alberto y Lapiedra, Rafael.** no 10, s.l. : The Service Industries Journal, 2010, Vol. vol. 31.

**7. González Landeiro, Ariagna y Castillo Galán, Dunnia.** *Optimiza tu Web. Buenas Prácticas de Posicionamiento Web.* La Habana : Ediciones Futuro, 2019. ISBN: 978-959-286-076-6.

**8. Etiquetas meta y atributos que Google admite.** ***Google for Developers.*** [En línea] 24 de 09 de 2024. https://developers.google.com/search/docs/crawling-indexing/special-tags?hl=es.

**9. Impedir que la Búsqueda indexe páginas con la directiva noindex.** ***Google For Developers.*** [En línea] 24 de 09 de 2024. https://developers.google.com/search/docs/crawling-indexing/block-indexing?hl=es.

**10. Informar a Google del tipo de enlaces salientes de un sitio.** ***Google For Developers.*** [En línea] 24 de 09 de 2024. https://developers.google.com/search/docs/crawling-indexing/qualify-outbound-links?hl=es.

**11. Etiqueta Semántica.** ***Agencia Keyweo.*** [En línea] 2023. https://www.keyweo.com/es/seo/glosario/etiqueta-semantica/.

**12. Introducción al marcado de datos estructurados en la Búsqueda de Google.** ***Google for Developers.*** **[En línea] 24 de 09 de 2024. https://developers.google.com/search/docs/appearance/structured-data/intro-structured-data?hl=es.**

**13. Acerca de los sitemaps.** ***Google for Developers.*** [En línea] 24 de 09 de 2024. https://developers.google.com/search/docs/crawling-indexing/sitemaps/overview?hl=es.

**14. La famosa Herramienta de Auditoría SEO de SEOptimer.** ***SEOptimer.*** [En línea] 2024. [Citado el: 27 de 09 de 2024.] https://www.seoptimer.com/es/seo-audit/.

***15. SEO Site Checkup.*** [En línea] 2024. [Citado el: 27 de 09 de 2024.] https://seositecheckup.com/.

**16. Herramienta de análisis web y auditoría SEO.** ***Metricspot.*** [En línea] 2024. [Citado el: 27 de 09 de 2024.] https://metricspot.com/es.

**17. Castillo Galán, Dunnia, y otros.** La Habana : IV Conferencia Científica Internacional UCIENCIA 2021, 2021. SEO WebMas: una propuesta cubana para analizar variables que tributan al posicionamiento.

**SÍNTESIS CURRICULAR DE LOS AUTORES**

**Ing. Lissette Valdés García.** Ingeniera en Ciencias Informáticas (Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), 2014). Trabaja como línea de investigación el impacto de las TIC para la sociedad. Actualmente se desempeña como subdirectora del Centro de Representación y Análisis de Datos (CREAD) de la Universidad de las Ciencias informáticas (UCI) y especialista en temas de posicionamiento web. Ha impartido varias ediciones del curso de postgrado sobre esta temática promovido desde dicha institución.

**MSc. Ariagna González Landeiro.** Ingeniera en Ciencias Informáticas (Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), 2007) y Máster en Comunicación Internacional (Universidad de Comunicación de China, 2016). Trabaja en la línea de investigación de Web Semántica del Grupo de Investigación de Inteligencia Artificial de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Actualmente se desempeña como especialista del Centro de Representación y Análisis de Datos (CREAD) y se especializa en temas asociados a las redes sociales y posicionamiento web. Presenta la categoría docente de Asistente y ha impartido varias ediciones del curso de postgrado sobre esta temática promovido desde dicha institución.

**MSc. Dunnia Castillo Galán.** Licenciada en Periodismo (Universidad de Oriente, 2011) y Máster en Estudios Interdisciplinarios de América Latina el Caribe y Cuba (Universidad de La Habana, 2015). Trabaja como línea de investigación el impacto de las TIC para la sociedad. Actualmente se desempeña como metodóloga del Centro de Representación y Análisis de Datos (CREAD) de la Universidad de las Ciencias informáticas (UCI) y especialista en temas de posicionamiento web. Presenta la categoría docente de Asistente y ha impartido varias ediciones del curso de postgrado sobre esta temática promovido desde dicha institución.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA PARA LA GESTIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

**Liamnisbel Hernández Peña[1], Alessandro Merlo[2], Ricardo Remond Noa[3], Sergio E. Ricardo Desdín[4], Sergio R Arencibia Iglesias[5]**

[1] GEOCUBA, GEODESA, Loma y 39, Plaza de la Revolución. La Habana Cuba. lia@geodesa.geocuba.cu, [2] UNIFI, DIDA, Florencia, Italia. alessandro.merlo@unifi.it , [3] Universidad de la Habana, La Habana Cuba. remond@geo.uh.cu, [4] GEOCUBA, 19 y 84, Playa. La Habana Cuba. sergior@geocuba.cu, [5] Colegio San Gerónimo, Universidad de la Habana, La Habana Cuba. remond@geo.uh.cu

**RESUMEN**

El Sistema para la Gestión y Diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico es el resultado de una investigación interdisciplinaria en la que se vinculan métodos científicos con el empleo del potencial tecnológico de la Geomática en función del Patrimonio Arquitectónico, aplicable a todo tipo de bien patrimonial (urbanos o rurales), basado en fundamentos matemáticos para predecir y diagnosticar el comportamiento y la presencia de deterioros en las edificaciones y favorecido mediante el desarrollo informático para la gestión integral, visualización bidimensional y tridimensional del área de estudio con posibilidades de realizar consultas, análisis estadísticos, determinación de probabilidades y diagnósticos integrales del Patrimonio Arquitectónico, todo lo cual permite el ahorro de recursos en el sector de la construcción, brinda la posibilidad de conocer durante la elaboración de los proyectos, los materiales que se deben emplear, a partir del análisis de las variables ambientales en la zona, favorece los procesos de mantenimiento y conservación del bien patrimonial; la productividad y calidad en la elección de los materiales para la restauración a partir de los diagnósticos y además permite evaluar el impacto del medio ambiente en el deterioro de las edificaciones a partir de mediciones ambientales y viceversa.

**PALABRAS CLAVES:** deterioros, diagnóstico, HBIM, patrimonio arquitectónico, SIG.

## SYSTEM FOR THE MANAGEMENT AND DIAGNOSIS OF ARCHITECTURAL HERITAGE

**ABSTRACT**

The System for the Management and Diagnosis of Architectural Heritage is the result of an interdisciplinary research in which scientific methods are linked to the use of the technological potential of Geomatics in terms of Architectural Heritage, applicable to all types of heritage assets (urban or rural), based on mathematical foundations to predict and diagnose the behavior and the presence of pathologies in buildings and favored through computer development for comprehensive management, two- dimensional and three-dimensional visualization of the study area with the possibility of carrying out consultations, statistical analysis, determination of probabilities and integral diagnoses of the architectural heritage, all of which allows savings of resources in the construction sector, offers the possibility of knowing during the elaboration of the projects, the materials to be used, from the analysis of the environmental variables in the area, favors the processes of maintenance and conservation of the heritage property; The productivity and quality in the choice of materials for restoration based on the diagnoses and also allows to evaluate the impact of the environment on the deterioration of the buildings based on environmental measurements and vice versa.

**KEY WORDS:** deterioration, diagnosis, HBIM, architectural heritage, GIS.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo se encuentra en constante desarrollo y avance tecnológico; la aplicación de nuevas tecnologías en función de los estudios urbanos y más específicamente para la conservación del Patrimonio Arquitectónico (PA) dentro de zonas urbanas de relevancia y zonas rurales, constituye un reto importante que aporta ventajas cualitativas y cuantitativas tanto para la economía como para la sociedad. Los procesos de adaptación tecnológica y su dinámica dependen en gran medida de la interacción con la sociedad, con la forma en que esta la acepta, la regula, la gestiona, difunde y aplica.
La aplicación de tecnologías geomáticas para la recolección de información espacial, ha revolucionado los levantamientos morfométricos, los cuales, además de elaborar y mejorar metodologías de ejecución de trabajos de campo, proporcionan ahorro de tiempo y costos en los procesos de documentación y levantamiento, además generan densas nubes de puntos y mallas 3D, que luego de su procesamiento, permiten la obtención de nuevos productos en diversas ramas como la geografía, arquitectura, arqueología, construcción, medicina, criminalística, ingeniería civil, etc. Los resultados obtenidos tras el empleo de estos avances generan un impacto positivo en los países donde se utilizan.
Asociado al desarrollo tecnológico debe ser visto el impacto y la relación de este con el medio ambiente, medio geográfico y viceversa, teniendo en cuenta que los estudios que se realicen empleando tecnologías innovadoras en función del desarrollo; debe contribuir al equilibrio ambiental, social, económico y físico del territorio y a su vez debe ser analizada la influencia que tiene el medio geográfico en el deterioro de las infraestructuras.
El PA constituye en la actualidad una premisa fundamental para el desarrollo socioeconómico y la reafirmación de la identidad cultural de las ciudades, este revela su historia, y transmite de generación en generación con muestras palpables los estilos de vida de nuestros antepasados, por lo que es de vital importancia su conocimiento y conservación. Como fue expresado en (Asamblea General de los Estados Parte en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, 2005) ... “el problema de las intervenciones arquitectónicas contemporáneas en bienes del patrimonio mundial y en sus inmediaciones preocupa cada vez más a los planificadores, los urbanistas, los promotores, los arquitectos, los profesionales de la conservación, los propietarios de bienes, los inversores y los ciudadanos interesados”.
Es importante además en el desarrollo del turismo, pues su conservación propicia que personas de otras partes del mundo viajen para conocer esos símbolos de identidad, lo que mejora la economía local, la calidad de vida y el refuerzo de la identidad nacional. Los turistas no son meros actores pasivos que observan los sitios históricos desde lejos, sino que desean involucrarse en la cotidianidad del destino y sentir que son parte de él. Desean experimentar algo auténtico durante el tiempo de su estadía y se interesan en consumir productos y servicios que perciben como tradicionales [1]. Todo esto favorece además que los visitantes tengan una experiencia única y de calidad.

Esta investigación es el resultado de una tesis doctoral conjunta que se realiza en el programa de doctorado de Arquitectura, Proyecto, Conocimiento y Salvaguarda del Patrimonio Cultural de la Universidad de Florencia, Italia y el programa de doctorado de Geografía de la Universidad de La Habana, apoyados en varios proyectos de investigación como el Proyecto Internacional ¡Que no baje el Telón! Y el proyecto Sistema para la Gestión del Patrimonio Arquitectónico. También se reconoce el apoyo de la Universidad de Florencia, la Universidad de la Habana, el colegio San Gerónimo y la Empresa GEODESA, que han ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en esta investigación para lo cual también existen convenios de cooperación entre estas entidades y el politécnico de Milano, Italia. Esta investigación integra las geociencias con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), posibilitando la adquisición, procesamiento, análisis, interpretación y gestión de datos morfométricos adquiridos por distintos métodos, como la fotogrametría, la teledetección y los sistemas de posicionamiento global (GNSS). Sea cual sea la herramienta o el procedimiento adoptado para la documentación digital del PA, lo que se obtiene son siempre nubes de puntos, con o sin información cromática, que describen las superficies de los objetos del espacio circundante. A partir de estos datos los procedimientos Scan to BIM permiten crear modelos 3D paramétricos, cada vez más fieles a la realidad, a los que se pueden asociar bases de datos.

En el contexto de la conservación del PA, la información sobre los datos geográficos y ambientales, como la conformación y las características del suelo, el nivel de humedad, la temperatura, etc., adquieren especial relevancia, ya que contribuyen a la aparición de la mayor parte de las degradaciones que pueden producirse en las superficies y la alteración de las estructuras.
Relacionar estos datos con la configuración geométrico-dimensional de un edificio supondría predecir la aparición de posibles problemas con un cierto grado de fiabilidad, lo que permitiría aplicar una serie de medidas preventivas.
Esta investigación es aplicable no solo en edificaciones existentes, sino en áreas de proyecto ya que el estudio previo del análisis de las condiciones del entorno y el comportamiento de las variables ambientales permite predecir las posibles apariciones de deterioros, teniendo en cuenta el tipo de material que se empleará en la construcción en el área de proyecto, lo que favorece la toma de decisiones y poder tomar medidas para el mantenimiento e incluso para la selección adecuada de los materiales a emplear según las condiciones medioambientales.
El caso de estudio para la validación de la investigación es la Facultad de Artes Escénicas y su alrededor, pertenecientes al Instituto Superior de Arte (ISA). Este es también el objeto de estudio del importante proyecto de cooperación "¡Que no baje el telón!" firmado por la Agencia Italiana de Cooperación al Desarrollo (AICS) y el Ministerio de Cultura (MINCULT) por la parte cubana, con el objetivo de rehabilitar y restaurar la sede original de la Facultad para que pueda volver a tener un papel fundamental en la preparación de artistas socialmente comprometidos y con una excelente formación académica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales a emplear en el desarrollo del procedimiento se tienen:
Tecnologías:
Escáner Láser Terrestre (ELT)
Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs)
Cámaras fotográficas
Los VANT son aeronaves que vuelan sin tripulación y ejercen su función remotamente [2]. Estos son capaces de realizar tomas fotográficas y de videos y en postprocesamiento permiten la generación de nubes de puntos, vistas aéreas y ortofotos que tienen disímiles aplicaciones. Otra de las tecnologías que se emplean son las cámaras fotográficas, las cuales son dispositivos utilizados para capturar imágenes o fotografías. Se emplea, además, el ELT, que es un instrumento topográfico moderno que permite obtener modelos tridimensionales de nubes de puntos, los cuales, al ser procesados y exportados hacia otros softwares de diseños, permiten crear modelos 3D paramétricos, generación de planos de planta *"As Built"*, alzados, secciones, etc. Poseen una precisión de 0.2 mm, lo que proporciona una gran ventaja respecto a los levantamientos con métodos tradicionales o con técnicas menos sofisticadas, que además del error implícito del instrumento y de los que puedan influir por las condiciones ambientales, también incluye los errores humanos, [3].
Software de procesamiento:
El *software Cyclone* se compone por cinco módulos individuales principales, *Cyclone Scan*: Controla el proceso de escaneado del equipo, *Cyclone Register*: Ofrece un conjunto de herramientas para registrar o georreferenciar las nubes de puntos escaneadas desde distintas posiciones de manera rápida y precisa, *Cyclone Survey*: Permite extraer la información de las nubes de puntos, *Cyclone Model*: posibilita extraer, medir elementos y crear modelos 3D, *Cyclone Publisher*: Permite publicar los datos en formato de vista panorámica y visualizarlos desde cualquier lugar del mundo mediante *Internet Explorer* con el *plugg-in TrueView* [4].
En el software gratuito *TruView*, además de la simple visualización, medición y marcado, los usuarios también pueden controlar unidades de medida; extracción de coordenadas, texto, rectángulos y círculos, guardar vistas específicas y marcas con una cámara de visión asociada; crear sencillos "mapas del sitio" [5], es fácil de encontrar la ubicación del escáner para la visualización de nubes de puntos, permite definir elementos específicos de interés, como las edificaciones patrimoniales de un interés específico, clasificaciones del Patrimonio en una zona urbana, agregar atributos de comentarios, incluyendo hipervínculos a esta etiqueta, extraer coordenadas, medir distancias, etc.
El *Software PhotoScan* es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D, es usado en aplicaciones SIG, documentación de

patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas [6].

El software Revit es conocido por su uso y utilidad con respecto al modelado de información de construcción. Es un programa que se utiliza para el modelado BIM, se puede abordar y tratar todo lo relacionado con el proyecto de un edificio o una construcción, desde su diseño hasta el levantamiento y puesta en marcha, pues el programa permite simular y trabajar en la construcción con exactitud. Permite presentar y visualizar proyectos de gran envergadura o de todo tipo y enseñarlos a la hora de mostrar un proyecto a un cliente o en una reunión del equipo de trabajo. Facilita, además, diseñar el edificio para comprobar si funciona bien el diseño y qué necesita mejorar [7]. Este software como otros *softwares BIM* permite a partir de bibliotecas HBIM [8], la modelación 3D del Patrimonio, modelando obras específicas y generalizando a partir del procedimiento desarrollado para la gestión de varias obras patrimoniales, por lo que posibilita la gestión territorial del PA.

Se emplean además métodos científicos como los teóricos (análisis-documental, histórico-lógico, hipotético-deductivo, la modelación) y los empíricos (observación, medición, experimento) y el dialéctico materialista como método general del conocimiento.

## 3. CASO DE ESTUDIO

**Facultad de Artes Escénicas del ISA**

El área específica que ocupa la Facultad de Artes Escénicas, la cual forma parte de las cinco Escuelas de Arte del ISA (Danza Moderna, Artes Plásticas, Artes Dramáticas, Música y Ballet – Fig. 1), ha sido proyectada por el arquitecto italiano Roberto Gottardi y construida, parcialmente, entre 1961 y 1965 solo el 35%.

El diseño de las escuelas iba a estar compuesto por tres principios rectores: primero, las Escuelas deberían respetar y responder al ambiente verde del antiguo Country Club; segundo, emplear materiales de producción nacional debido a la escasez de recursos y a la subsecuente inflación en el precio de los materiales importados, así fue como los ladrillos y las tejas de terracota se convirtieron en los principales materiales utilizados en la construcción de las Escuelas; tercero,,, utilizar la bóveda catalana como principal sistema estructural [9].




Fig. 1 Las Escuelas de Arte de Cubanacán (créditos: Archivo Gottardi).

La Escuela de Arte dramático se encuentra al este de la escuela de danza moderna, en un lugar que baja a una curva de densa vegetación en el río Quibú. Esta escuela y la de música habrían sido las más grande del complejo si se hubieran construido íntegramente [10].

Como parte de las tareas a realizar, se llevó a cabo un estudio geográfico de las condiciones ambientales, con el fin de analizar el impacto de las variables ambientales en el deterioro de las estructuras y elementos constructivos.

## 4. PRINCIPALES RESULTADOS

La investigación aborda la propuesta de un Modelo (SIGEDPA) Sistema para la gestión y el diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico (PA) (Fig. 2), para ello se describen los diferentes procedimientos que permiten la realización del levantamiento digital, el procesamiento de la información, el desarrollo de los Modelos de Información de Edificios Patrimoniales (HBIM), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la vinculación entre ellos, la gestión y el diagnóstico patológico y la obtención de los resultados, el desarrollo de una herramienta informática para la implementación del sistema desarrollado y los análisis estadísticos y documentales que permiten obtenerse como resultados prácticos.

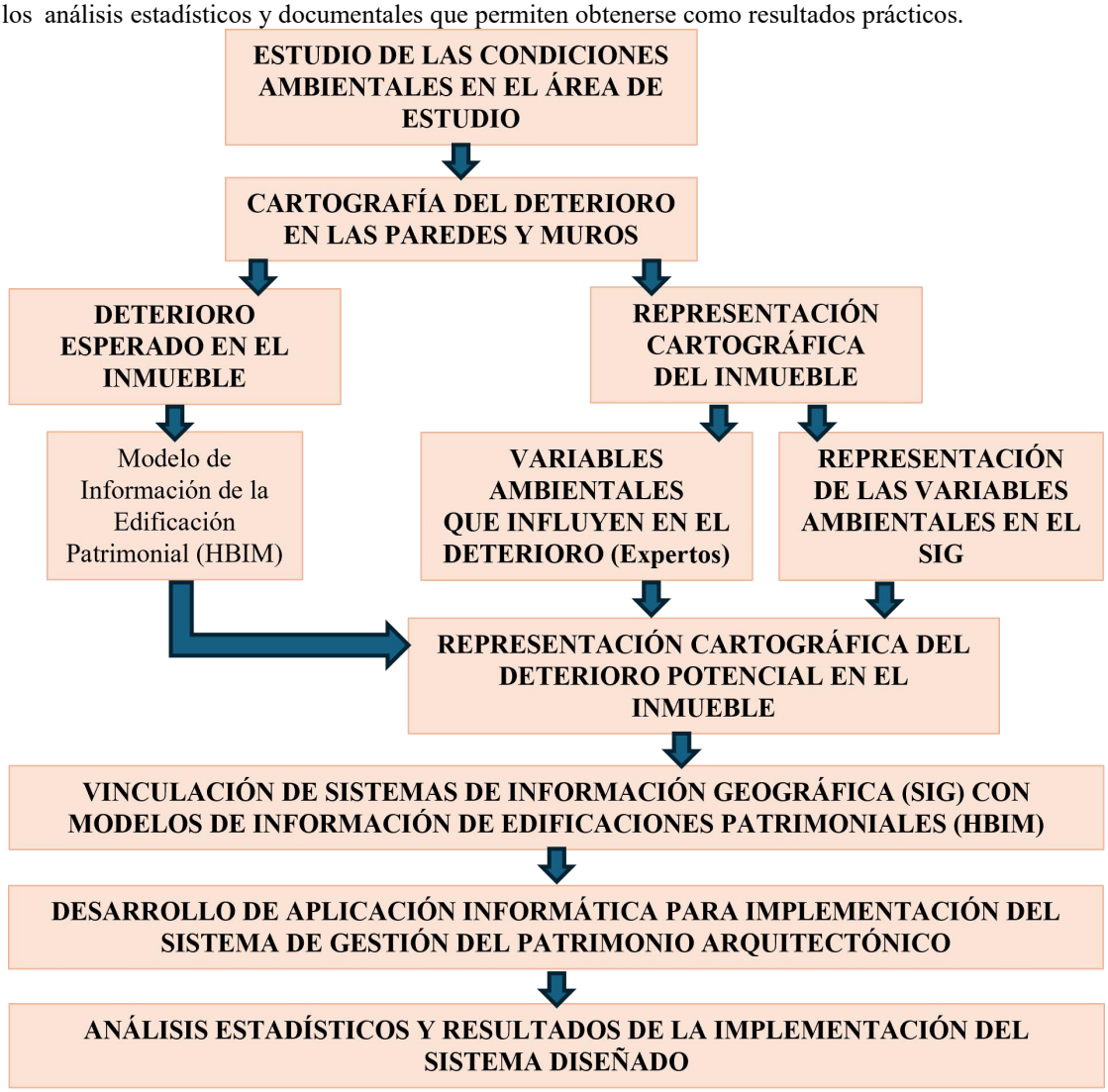



Fig. 2 Esquema que describe el Sistema para la gestión y diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico (fuente: elaborada por la autora).

Se trata de una investigación interdisciplinar que relaciona el análisis conjunto del uso de las tecnologías geomáticas en el levantamiento digital para lograr la modelación SIG (Fig. 3) y HBIM (Fig. 4), donde el SIG permite analizar la influencia del medio físico geográfico en el PA y su impacto en el medio ambiente, lo que conecta la Geomática, la Geografía y la Arquitectura.

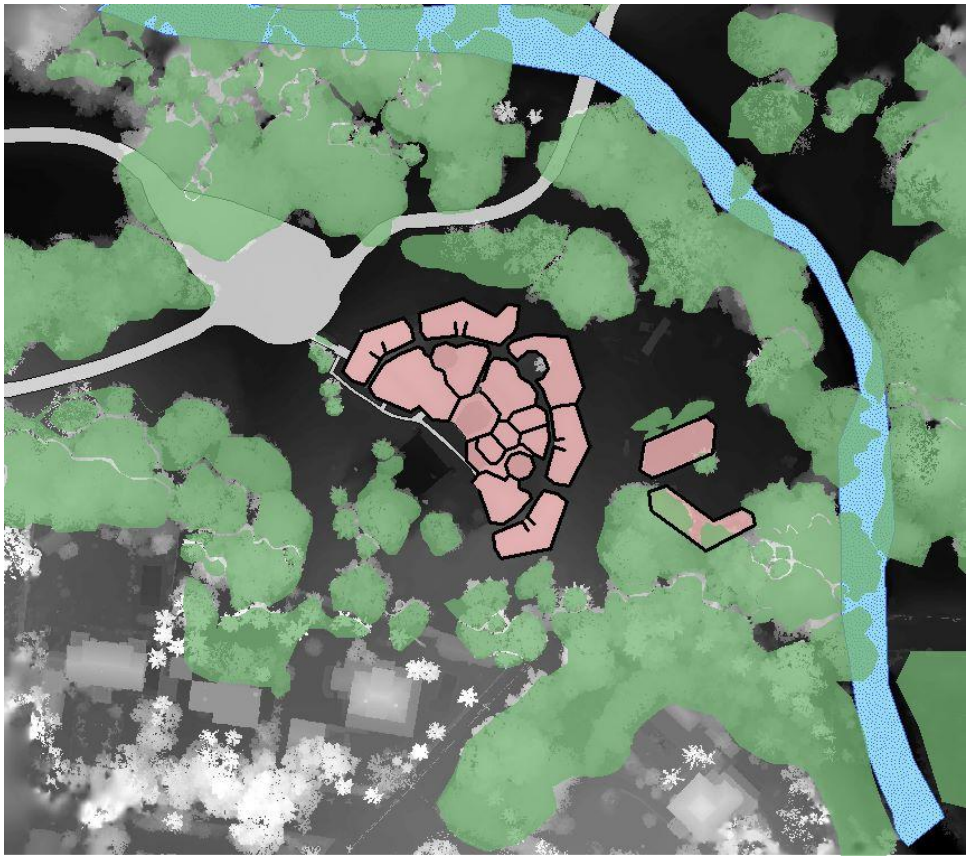


Fig. 3 Desarrollo del Sistema de Información Geográfica en el área de estudio (fuente: elaborado por la autora).

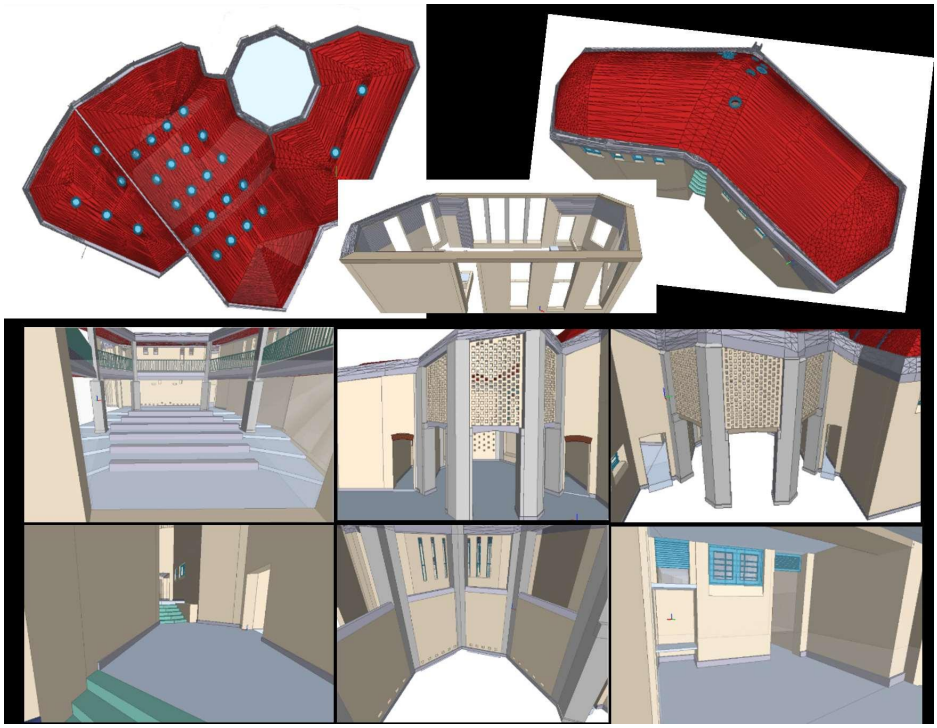


Fig. 4 Modelación HBIM en el área de estudio (fuente: elaborado por la autora).

La modelación matemática relaciona los procedimientos y cálculos necesarios, basados en métodos científicos, para determinar las condiciones propicias que pueden provocar la aparición de deterioros a partir de la influencia de las variables ambientales sobre el PA. Esto permite obtener mapas temáticos de la influencia de las variables en las paredes y muros de la instalación (Fig. 5). Por último, las ventajas de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) facilitan la validación del método propuesto mediante la posibilidad del desarrollo de una herramienta que permite vincular todos los resultados, de una manera eficiente y precisa (Fig. 6).

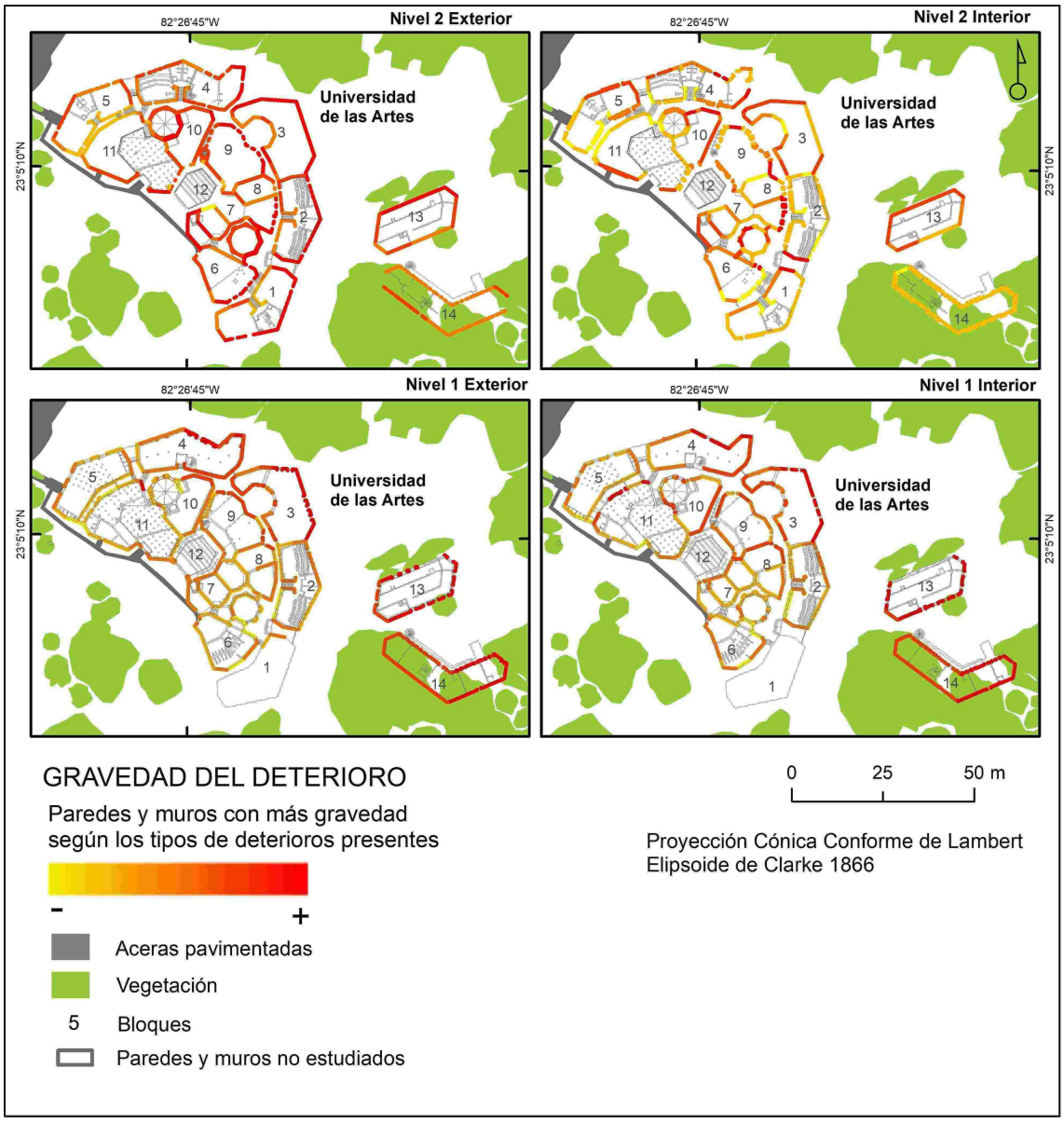



Fig. 5 Mapas temáticos que representan la gravedad del deterioro en la instalación a partir de análisis multicriterio (fuente: elaborado por la autora).




Fig. 6 Herramienta informática desarrollada para el diagnóstico y gestión del Patrimonio Arquitectónico (fuente: elaborado por la autora).

Como resultados prácticos, permite la representación del modelo geométrico HBIM con los elementos geográficos de la zona y la conexión entre ellos. La visualización en un único modelo de los elementos correspondientes al SIG y HBIM con la integración de datos topográficos con tecnologías geomáticas y mediciones de variables ambientales, lo que permite la documentación del PA, la obtención de datos de variables ambientales a través de servicios de Internet, posibilita realizar consultas personalizadas a partir de las bases de datos incluidas en el SIG y HBIM, la gestión, análisis, mediciones y relaciones entre elementos SIG-HBIM mediante la creación de herramientas, la generación de mapas temáticos a partir de mediciones ambientales y su conexión con productos geomáticos e integración de elementos SIG y HBIM, la creación automatizada de relaciones patológicas, la representación de planos de deterioros en muros y fachadas, la representación de mapas de deterioros a partir de los análisis realizados y la determinación de la probabilidad de aparición de estos mediante el modelo matemático desarrollado.

## 5. CONCLUSIONES

1. El diagnóstico del deterioro de inmuebles con valores patrimoniales a través de la tecnología HBIM- SIG es un procedimiento complejo en el que hay que considerar varios factores y tecnologías y donde el proceso no es totalmente automatizado y requiere la intervención de los expertos en varios momentos en los que sus decisiones influyen notablemente en los resultados.
2. La mayor parte de los enfoques empleados para el diagnóstico patológico del PA no ha incorporado en los análisis con HBIM la influencia de las variables ambientales y los que lo han hecho no revelan el algoritmo a seguir para su vinculación con los SIG.
3. El empleo de forma combinada de las tecnologías de los Escáner Láser y los vehículos aéreos no tripulados (VANT) permitió la representación cartográfica en dos y tres dimensiones de

la Universidad de las Artes de Cuba, y la generación de un sistema de Información de la Edificación con información detallada de sus paredes, muros y techos.

4. Las herramientas de análisis espacial y modelación presentes en los SIG posibilita el análisis de la influencia de las variables ambientales y la elaboración de un modelo matemático que permitió identificar las condiciones más favorables para la aparición de los deterioros estudiados en las paredes y muros de la instalación.

## 6. REFERENCIAS

[1] R. Sims, "Food, place and authenticity: Local food and the sustainable tourism experience.," *J. Sustain. Tour.*, vol. 17(3), pp. 321–336, 2009.

[2] "Vehículo Aéreo No Tripulado," *Muy Tecnológicos*, 2023, [Online]. Available: https://muytecnologicos.com/diccionario-tecnologico/vehiculo-aereo-no-tripulado-uav.

[3] Consulting and construction Group, "Levantamiento Topográfico con Escáner Láser," 2023. .

[4] Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, "Leica Cyclone MODEL," *HEXAGON*, 2023. .

[5] Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, "Familia Leica TruView - Colaboración más inteligente para datos de realidades digitales," *HEXAGON*, 2023. .

[6] J. E. Nieto, J. Moyano, and Á. García Gastón, "Estudio constructivo del Palacio de los Niños de Don Gome (Andújar, Jaén), gestionado desde el proyecto HBIM," *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 10, no. 20, p. 84, 2019, doi: 10.4995/var.2019.10567.

[7] F. L. Montañez Chaparro and J. A. Rincón Garzón, "La geomática: definición, características, objeto y método de estudio," Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015.

[8] J. E. Nieto-Julián, L. Lara, and J. Moyano, "Implementation of a teamwork-hbim for the management and sustainability of architectural heritage," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–26, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042161.

[9] M. Paradiso, *Las escuelas nacionales de arte de la Habana: Pasado, presente y futuro*. 2016.

[10] J. A. Loomis, *Una Revolución de Formas. Las olvidadas escuelas de Arte de Cuba*, No 1. Barcelona, 2015.

**Información sobre los autores**

Liamnisbel Hernández Peña. Ingeniera "Hidrógrafo Geodesta" y Máster en "Geomática". Directora de Investigación y Desarrollo en la Empresa GEODESA. Categoría Científica de investigadora agregada. Miembro de la UNAIC y del Consejo Científico Geocuba UCT-IC. Estudiante en el programa de doctorado de Arquitectura, Proyecto, Conocimiento y Salvaguarda del Patrimonio Cultural en la Universidad de Florencia (Italia) y en el programa de doctorado de Geografía en la Universidad de La Habana. Estudiante de Ingeniería Informática en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI).

Alessandro Merlo (Arquitecto) Doctor en Arquitectura, Profesor asociado de Dibujo (profesor titular) - Estudio Arquitectónico y Urbano. Director del máster de posgrado "Valorización del patrimonio cultural, director del Laboratorio de Gestión del Patrimonio Cultural (CHMLab). Miembro del Consejo Académico del Doctorado en Arquitectura. Universidad de Florencia, DIDA_Departamento de Arquitectura, Santa Verdiana.

Ricardo Remond Noa. Doctor en Ciencias Geográficas, Profesor Titular, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la tierra aplicado al estudio del medio ambiente, el turismo y el ordenamiento territorial. Ha sido el coordinador de varios proyectos de investigación en Cuba y el exterior, financiados por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Universidad de Lovaina, Bélgica. Coordinador de la Maestría en Geografía, Medio ambiente y Ordenamiento Territorial de la Universidad de La Habana.

Sergio Edilio Ricardo Desdín. Grupo Empresarial GEOCUBA. Ingeniero Aerofotogeodesta (1992). Obtuvo el título de Doctor en Ciencias Técnicas y la Categoría Científica de Investigador Auxiliar, en el 2009. Fue nombrado Coordinador General de la Empresa GEODESA en el 2010. En el 2017 fue designado Coordinador General de la Unidad Científico-Técnica GEOCUBA Investigación y Consultoría (UCT-IC) hasta diciembre del 2019. El 1 de enero del año 2020, fue designado nuevamente a la Dirección General de la OSDE en el cargo de director de Gestión Tecnológica y en el 2022 fue nombrado director Adjunto del Grupo Empresarial GEOCUBA hasta la actualidad.

Sergio Raymant Arencibia Iglesias. Decano del Colegio Universitario San Gerónimo de La Habana. Arquitecto (2000), Máster en Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Construido (2004), Doctor en Ciencias Técnicas (2019). Profesor Titular. Premio Universidad de La Habana 2019. ha impartido docencia de posgrado y pregrado en la CUJAE y en el ISA. Miembro de la UNAIC, ICOM, de la Comisión Provisional de Monumentos. Estancia posdoctoral 2023 en el CSIC - UGR, España.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# AJUSTE Y EVALUACIÓN DE WHISPER EN UN CONTEXTO REAL DE TRANSCRIPCIÓN DE DISCURSOS EN ESPAÑOL

**Rubén Sánchez-Rivero[1], Alfredo Simón-Cuevas[2], Walfrido Ferriols Soto[3], Javier Alfonso-Valdés[1], Bernardo Romero-González[1]**

[1]INGENIUS S.U.R.L., Calle 30 #1910, e/19 y 21, Playa, La Habana, Cuba
e-mail: {ruben, javier.alfonso, bernardo@ingeniuscuba.com
[2]Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Ave. 114, e/Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Hanana, Cuba
e-mail: asimon@ceis.ujae.edu.cu
[3]Departamento de Versiones Taquigráficas de la Presidencia de la República, Ave. Paseo #1040 B e/ Carlos Manuel de Céspedes y Ave. de La Independencia, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba
e-mail: walfridoferriols@gmail.com

## RESUMEN

El problema de la transcripción de voz a texto consiste en convertir automáticamente el contenido de grabaciones de voz en un formato de texto escrito, lo cual implica desafíos tecnológicos y lingüísticos. En la era digital, la capacidad de transcribir el lenguaje hablado a texto es cada vez más valiosa, y por ello se ha incrementado la demanda de herramientas de voz a texto precisas y eficaces. El presente trabajo se presenta y evalúa el desempeño de una herramienta de transcripción automática, nombrada Oralix y desarrollada sobre la base de *Whisper*, en un contexto real de transcripciones de audios en español. *Whisper* es un modelo de lenguaje con arquitectura *transformer*, creado por OpenAI, que ha demostrado resultados prometedores en tareas de reconocimiento de voz y transcripción automática, pero su eficacia en escenarios prácticos reales aún no ha sido completamente explorada. La herramienta fue evaluada en la transcripción de audios con diferentes niveles de calidad, desde la perspectiva de su eficiencia y eficacia en la transcripción. Los resultados fueron muy prometedores, obteniéndose un WER promedio de 3,4 %, el cual es inferior al comportamiento de otras soluciones basadas en Whisper evaluadas con audios en español.

**PALABRAS CLAVES:** Reconocimiento automático del habla, Whisper, transcripción automática.

# TUNING AND EVALUATING OPENAI'S WHISPER INTO A REAL-CONTEXT OF TRANSCRIPTION OF SPANISH SPEECHES

## ABSTRACT

The speech-to-text transcription problem is about to automatically convert the content of voice recordings into a written text format, which involves technological and linguistic challenges. In the digital age, the ability to transcribe spoken language to text is becoming increasingly valuable, and thus the demand for accurate and efficient speech-to-text tools has increased. This works presents and evaluates the performance of a Whisper-based transcription tool, named Oralix, in a real context of Spanish audio transcriptions. Whisper is a language model with transformer architecture, created by OpenAI, which has shown promising results in speech recognition and automatic transcription tasks, but its effectiveness in real practical scenarios has not yet been fully explored. The tool was evaluated in the transcription of audios with different of quality levels, from the perspective of its efficiency and effectiveness in transcription process, using recognized metrics. The results were very promising, with an average WER of 3.4%, which is lower than Whisper's performance when tested with audios of accents like those used in the tests.

**KEY WORDS:** Automatic speech recognition, Whisper, automatic transcription

## 1. INTRODUCCIÓN

La transcripción es el proceso de mecanografiar el audio que se escucha en una grabación de voz o vídeo para tener un registro escrito de lo que se dijo y quién lo dijo, pero este proceso puede ser automatizado a partir de las tecnologías de reconocimiento automático del habla (*ASR*, por sus siglas en inglés). El objetivo fundamental del *ASR* es interpretar y convertir señales del habla en palabras escritas. Este tipo de soluciones son especialmente útiles para periodistas, escritores y estudiantes que necesitan transcribir entrevistas, generar resúmenes o redactar artículos basados en material multimedia, así como para el personal relacionado con el seguimiento, análisis y control de actas de reuniones y debates, discursos, etc.

En los últimos años, los avances en inteligencia artificial han impulsado significativamente el desarrollo de sistemas de *ASR*. La introducción de redes neuronales recurrentes (*RNN*) y redes neuronales convolucionales (*CNN*) en la solución de esta problemática, permitió lograr mejoras notables en la precisión al capturar dependencias a largo plazo en el discurso [1], respecto a los enfoques iniciales basados en la segmentación manual y el modelado acústico. Luego la aplicación de los modelos de *Transformers* se llevó la solución de este problema a niveles superiores [2], por ejemplo, con el modelo *Whisper* [3].

Los modelos basados en *transformers* han demostrado ser altamente efectivos en la transcripción automática de voz a texto, sin embargo, su aplicación en la transcripción en español enfrenta varios desafíos inherentes al idioma. En entornos reales, como discursos, conferencias, entrevistas o debates, o reuniones los desafíos se enfrentan, por ejemplo: cuando intervienen múltiples locutores, hay presencia de ruido, la fluidez en el habla no es buena, etc., lo que impacta significativamente la calidad y precisión de las transcripciones, especialmente cuando se combinan con condiciones acústicas adversas. Además, el idioma español, con sus múltiples variantes regionales y características gramaticales complejas, representa un desafío adicional para los sistemas de transcripción automática. Muchos de estos desafíos pueden ser reducidos con entrenamientos de los modelos de *transformers* más orientados al escenario de aplicación práctica, sin embargo, hay ausencia de grandes conjuntos de datos de entrenamiento que cubran adecuadamente todas las variantes y contextos requeridos en el ámbito del español que se habla en nuestro país. En este sentido, se precisa obtener una adecuada percepción de la eficacia que se logra con los modelos de *transformers* en un contexto real de transcripciones de audio en el español que se habla en Cuba, lo cual constituye la motivación fundamental del presente trabajo.

El modelo *Whisper*, desarrollado por OpenAI, ha ganado gran popularidad por su capacidad para reconocer el habla con una precisión notable en varios idiomas, incluyendo el español. *Whisper* se basa en modelos de *transformers* y ha sido entrenado en grandes cantidades de datos multilingües, lo que le permite gestionar con eficacia la transcripción en distintos idiomas y contextos [3]. Sin embargo, la mayoría de las evaluaciones reportadas se han realizado en entornos controlados o con conjuntos de datos preseleccionados que no siempre reflejan los desafíos del uso en entornos reales. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño de *Whisper* en un contexto real de transcripción de audios en español. Se desarrolló una herramienta nombrada Oralix, basada en el modelo pre-entrenado de *Whisper: Transformers Faster Whisper*, para la transcripción automática de voz a texto. Entre las funcionalidades que brinda se encuentran: generar transcripción; editar subtítulos; alinear audio y reconocer locutor. Esta solución fue evaluada en un entorno real, usando métricas de eficiencia y la eficacia. El proceso de evaluación se llevó a cabo por expertos en la realización de transcripciones de audio a texto. Para el proceso de evaluación se seleccionaron grabaciones con diferentes características en cuanto a: presencia o no de ruido, presencia de uno o varios oradores, entre otros. Los resultados fueron muy alentadores con un *WER* de 3,4, inferior al comportamiento de *Whisper* en la trascripción de audios con acentos similares a los usados en la experimentación realizada.

## 2. TRABAJOS RELACIONADOS

### 2.1 Modelos de transcripción automática

La transcripción automática de voz a texto se basa en tecnologías de reconocimiento automático del habla (*ASR*, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es interpretar y convertir señales acústicas en palabras escritas. La transcripción automática de voz a texto ha avanzado significativamente desde sus inicios, pasando de técnicas basadas en modelos ocultos de *Markov* (*HMM*) y mezclas gaussianas (*GMM*), a métodos más avanzados como redes neuronales profundas y modelos de *Transformers* [4]. Los enfoques iniciales, que se basaban en la segmentación manual y el modelado acústico, enfrentaban limitaciones en su capacidad para manejar la variabilidad del habla y el ruido ambiental [5], pero con la introducción de redes neuronales profundas, como las redes neuronales recurrentes (RNN por sus siglas en inglés), como las de Memoria a corto-largo plazo (LSTM), se lograron mejoras en la precisión al capturar dependencias a largo plazo en el discurso [1].

La revolución en la transcripción automática llegó con los modelos de *transformers*, que utilizan mecanismos de atención para capturar relaciones contextuales a lo largo de secuencias de entrada. Los modelos de *transformers* han llevado la transcripción automática a nuevos niveles de precisión y robustez, abordando desafíos existentes relacionados con el contexto lingüístico y la variabilidad en el habla [4]. Los *transformers*, introducidos por Vaswani et al. (2017)[2], superaron las limitaciones de las RNN y CNN, al permitir una comprensión más profunda del contexto lingüístico. *BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)*, desarrollado por Google, es un modelo clave en este avance, mejorando significativamente la comprensión del contexto en tareas de procesamiento de lenguaje natural [6]. Aunque *BERT* no se concibió específicamente para *ASR*, su arquitectura influyó significativamente en el desarrollo de modelos orientados a la transcripción, porque se explotan las potencialidades de la representación semántica de las palabras basado en los contextos en los que se encuentra. En el ámbito de la transcripción automática, *Whisper* [3], desarrollado por *OpenAI*, constituye actualmente un referente de la comunidad científica en cuanto a tecnologías para la transcripción automática. *Whisper* es un sistema de reconocimiento automático del habla, basado en una red neuronal profunda con arquitectura de *transformers*, entrenado con 680.000 horas de datos multilingües y multitarea supervisados recogidos de la web. Este modelo combina la capacidad de los *transformers* para manejar contextos complejos con un entrenamiento extensivo en datos de voz multilingües, lo que mejora su precisión en situaciones reales [3]. Otro modelo relevante es *DeepSpeech* de *Mozilla*, que utiliza una arquitectura de red neuronal recurrente para el reconocimiento de voz [7]. *Wav2Vec 2.0*, desarrollado por *Facebook AI Research*, combina preentrenamiento auto-supervisado con ajuste fino para mejorar la precisión en la transcripción [8].

### 2.2 Transcripciones en español

Los modelos basados en *transformers* han demostrado ser altamente efectivos en diversas tareas de procesamiento de lenguaje natural, incluida la transcripción automática de voz a texto. Sin embargo, la aplicación de estos modelos para la transcripción en español enfrenta varios desafíos específicos. Uno de los mayores desafíos es la gran diversidad de dialectos, acentos y variantes regionales que existen en español, con pronunciaciones, entonaciones y vocabulario que pueden variar considerablemente, incluso dentro de un mismo país. Ante este tipo de situaciones, los modelos de *transformers* necesitan ser entrenados con datos representativos de todas estas variantes para poder generalizar adecuadamente, y aspirar a resultados adecuados de eficacia. El español también presenta desafíos fonéticos específicos, como la asimilación de sonidos**,** elisión de consonantes, y la reducción de vocales en algunos contextos coloquiales o rápidos, lo cual tiende a confundir a los modelos, especialmente cuando no se ha entrenado con datos de habla espontánea o natural. Además, los homófonos y las palabras que suenan de manera similar pueden generar errores si el modelo no cuenta con una comprensión contextual profunda.

El español tiene una gramática más flexible que el inglés, lo que incluye la posibilidad de omitir pronombres (sujetos tácitos) y la libertad de alterar el orden de las palabras sin cambiar el significado esencial de la oración. En este caso los modelos de *transformers* necesitan gestionar esta flexibilidad y ser capaces de interpretar correctamente el contexto para identificar los sujetos implícitos y los roles gramaticales, lo que requiere un modelado más robusto de las relaciones contextuales entre las palabras. Uno de los desafíos inherentes a las transcripciones automáticas en español es la correcta segmentación de oraciones y la inserción adecuada de puntuación, que no está presente en los datos de audio, pero es crucial para la legibilidad y comprensión de los textos resultantes. El español tiende a tener oraciones más largas y subordinadas en comparación con otros idiomas, lo que puede dificultar la tarea de los modelos

de *transformers* de segmentar correctamente las frases y colocar puntuación de manera precisa. Por otra parte, los nombres propios y los términos técnicos o específicos de ciertos campos (por ejemplo, el sector legal o médico) pueden ser difíciles de manejar para los modelos de *transformers* si no han sido entrenados con suficientes ejemplos de estos términos en español.

## 3. TRANSCRIPTOR ORALIX

**Oralix** brinda diferentes funcionalidades, entre las que se encuentran: generar transcripción; editar subtítulos; alinear audio y reconocer locutor. En la concepción del proceso de transcripción emplea una arquitectura modular y un flujo de procesamiento sofisticado, el cual se representa en la Figura 1, donde se ilustra la interconexión de los diversos componentes y etapas del sistema. El flujo de procesamiento se desglosa en las siguientes etapas principales:

- Carga y Preprocesamiento de Audio
- Detección de Actividad de Voz (VAD)
- *VAD Cut & Merge*
- Transcripción Automática basada en *WhisperX*
- Alineación de Texto
- Diarización de Locutor
- Postprocesamiento e Integración de Resultados

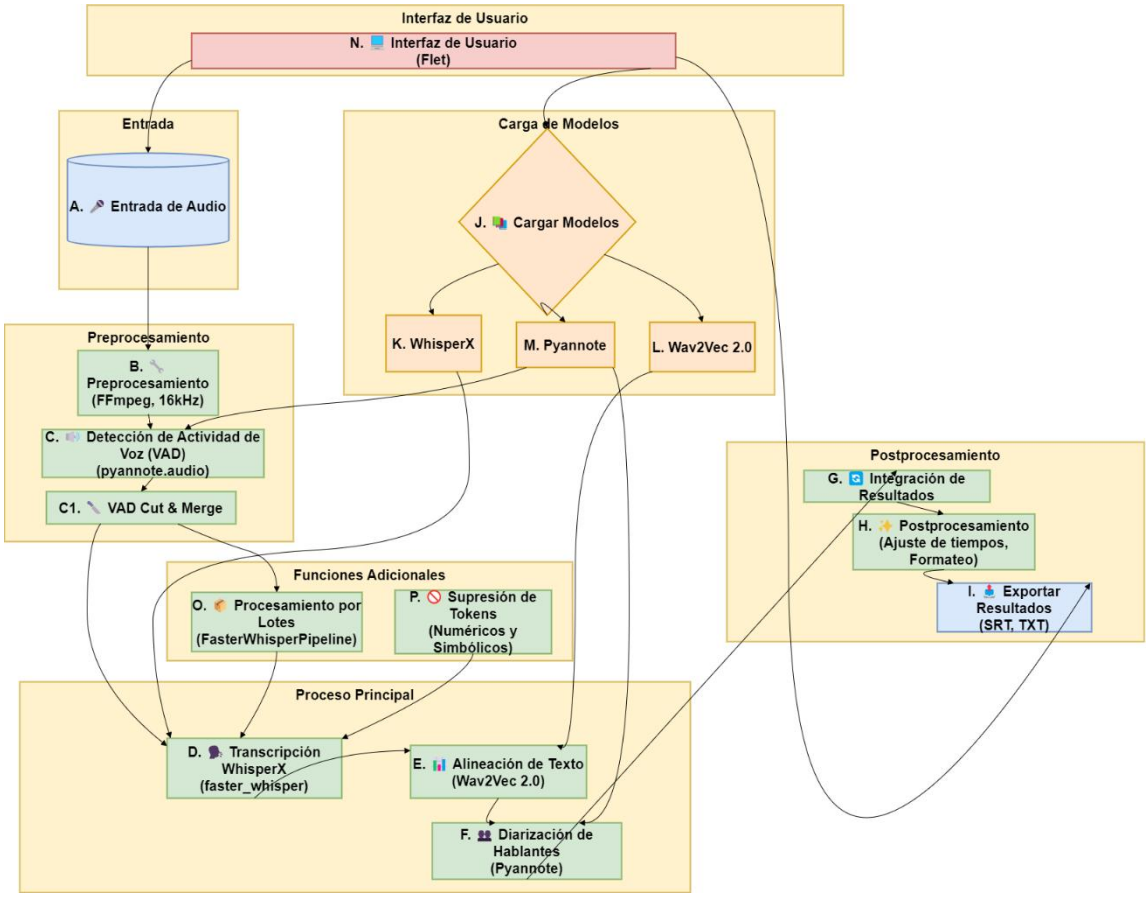



Figura 1. Flujo de trabajo del Transcriptor Oralix

El proceso inicia con la entrada de audio (**A**)[1], seguido por el preprocesamiento (**B**). Se utiliza la librería FFmpeg para decodificar y remuestrear el audio a 16 kHz, garantizando una entrada estandarizada para los modelos subsiguientes. Posteriormente se ejecuta un proceso de VAD (**C**) usando la herramienta *pyannote.audio* [9], con el que se segmenta el audio en regiones que contienen habla, y se eliminan segmentos sin voz relevante. Este proceso se formula como una tarea de etiquetado de secuencias, donde la entrada es una secuencia de vectores de características acústicas y la salida es una secuencia de etiquetas binarias que indican la presencia o ausencia de voz. La adopción de la estrategia *VAD Cut & Merge* [10] constituye una de las innovaciones importantes de Oralix. Esta técnica permite reducir los errores debidos a efectos de límite, mejorando tanto la calidad de la transcripción como la velocidad de procesamiento, de la siguiente forma:

- Operación de Corte (*Cut*): Se implementa un "*min-cut*" en la etapa de suavizado del post-procesamiento binario. Esto limita la longitud de los segmentos de voz activa a no más de la duración máxima de entrada del modelo ASR (30 seg. para *Whisper*). Los segmentos más largos se cortan en el punto de mínima activación de voz.
- Operación de Fusión (*Merge*): Después del corte, se fusionan segmentos vecinos cuya duración agregada sea menor que un umbral máximo $\tau$ (típicamente 30 seg.). Esto maximiza el contexto durante la transcripción y asegura que la distribución de duraciones de segmentos se acerque a la observada durante el entrenamiento.

El proceso de transcripción automática (**D**) está inspirado en *WhisperX* [10], la cual es una versión optimizada del modelo original *Whisper* de *OpenAI*. *WhisperX* es un sistema de reconocimiento del habla preciso en el tiempo, con marcas de tiempo a nivel de palabra que utiliza la detección de la actividad vocal y la alineación forzada de fonemas. *WhisperX* implementa las siguientes mejoras: uso de los modelos implementados por Macháček et al. [11] para una inferencia más eficiente; implementación de procesamiento por lotes (**O**) para manejar archivos de audio largos; y opciones avanzadas de decodificación, incluyendo *beam search* y supresión de *tokens* (**P**). El proceso de transcripción se ejecuta en paralelo para los segmentos resultantes del *VAD Cut & Merge*, sin condicionar en el texto previo, lo que reduce la probabilidad de alucinaciones y repeticiones. La alineación de texto (**E**) se realiza mediante un modelo basado en *Wav2Vec 2.0* [12], y según los siguientes pasos:

1. cargar del modelo de alineación específico para el idioma;
2. preprocesar el texto transcrito para mantener solo los caracteres en el diccionario del modelo;
3. generar matriz de predicción fonética utilizando el modelo *Wav2Vec 2.0*;
4. aplicar algoritmo de programación dinámica (*Dynamic Time Warping, DTW*) [13] para alinear las predicciones fonéticas con el texto transcrito; y
5. fusionar segmentos repetidos y asignación de marcas de tiempo precisas a nivel de palabra.

La diarización (**F**) se implementa utilizando el modelo reportado en [14], y el proceso incluye:

1. segmentar el audio en regiones homogéneas;
2. extraer características de *embeddings* para cada segmento;
3. agrupar segmentos similares para identificar hablantes únicos; y
4. asignar etiquetas de hablante a cada segmento de texto alineado.

Los resultados de la diarización son integrados con la transcripción alineada, asignando etiquetas de locutor a nivel de palabra. En esta etapa (**G** y **H**), se integran los resultados de la transcripción, alineación y diarización. Se ajustan las marcas de tiempo, se asignan etiquetas del locutor a cada segmento y se aplican técnicas de formateo para mejorar la legibilidad. El sistema ofrece múltiples opciones de exportación (**I**), incluyendo formatos .str y .txt. Estas funciones permiten incluir marcas de tiempo precisas, etiquetas de locutor y la opción de resaltar palabras individuales.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

[1] Identificador de un subproceso dentro del flujo de trabajo de Oralix en la Figura 1.

La herramienta Oralix fue evaluada por especialistas en taquigrafía (más de 40 años de experiencia) del Departamento de Versiones Taquigráficas de la Presidencia de la República (DCTPR), en la transcripción de 18 archivos de audio con grabaciones de discursos, reuniones, y otros eventos de relevancia, que totalizan un poco más de 3 horas. Los archivos de audio se caracterizaron según la duración: Duración media (1 a 10 minutos), y larga duración (más de 10 minutos), así como por su calidad. La calidad del audio se describe mediante un conjunto de aspectos definidos y evaluados por los propios especialistas en taquigrafía, varios de los cuales están en correspondencia con aspectos que se reportan en la literatura para caracterizar este tipo de fuente. Los aspectos que caracterizan la Calidad del Audio (CA) son los siguientes: Un Orador (UO) / Multi-Oradores (MO), Sin Ruido (SR) / Bajo Nivel de Ruido (BR), Voz Clara y Pausada (VCP) / Voces con Diferentes Velocidades y Fluidez (VDVF), y Texto Improvisado (TI). En la Tabla 1 se muestra la caracterización de los archivos de audio utilizados en esta evaluación.

Las transcripciones automáticas fueron evaluadas desde la perspectiva de la eficiencia, a través de la medición del Tiempo de Transcripción (TT) (min.), y el *Average Timerate* (AT), así como de la eficacia, a través del *Word Error Rate (WER)* (ver Ecuación 1), y el *Extented Word Error Rate (ExtenderWER) (ver* Ecuación 2). En el caso de AT se calcula como el tiempo total de la transcripción entre la longitud del audio. El *WERp* es una extensión del *WER* tradicional, que solo evalúa las palabras incorrectas, insertadas, o faltantes en la transcripción, como se muestra en la Ecuación 1. El *ExtendedWER* (*ExWER*), por su parte, agrega la consideración de errores relacionados con los signos de puntuación, como comas, puntos, signos de interrogación, entre otros, lo que proporciona una evaluación más completa de la precisión de la transcripción, como se muestra en la Ecuación 2. El cómputo de las métricas *WER* y *ExWER* se realizó comparando la transcripción automática generada por la herramienta con respecto a una transcripción realizada por los especialistas en taquigrafía tomando como referencia transcripciones realizadas por los expertos en taquigrafía del Departamento de Versiones Taquigráficas donde se realizó este proceso de evaluación.

$$WER = \frac{S + D + I}{N} \tag{1}$$

$$Extended\,WER = \frac{S + D + I + P}{N} \tag{2}$$

donde:

S: número de sustituciones (palabras incorrectamente reconocidas);
D: número de eliminaciones (palabras omitidas);
I: número de inserciones (palabras añadidas erróneamente);
P: errores en la puntuación (inserciones, eliminaciones o sustituciones de signos de puntuación)
N: número total de palabras en la transcripción de referencia.

Aunque el *WER* sea el indicador más común, incorporar un análisis de errores de puntuación, de conjunto con los errores de palabras, en una misma métrica ofrece una visión más completa del desempeño del sistema en situaciones reales. Añadir esta métrica era particularmente relevante para tener una percepción más integral de la eficacia que alcanza la solución de transcripción propuesta, dado que los signos son importantes para la legibilidad y el significado exacto del discurso, de ahí que constituyera una demanda de los especialistas en taquigrafía que evaluaron la solución en la práctica. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1, incluyendo también los aspectos característicos de cada uno de los audios procesados. Según se puede apreciar dentro del conjunto de evaluación se incluyeron audios con diferentes características, con el objetivo de tener una perspectiva del rendimiento de la solución en escenarios con diferentes niveles de complejidad.

Según se puede apreciar en los resultados expuestos, con respecto a la presencia de uno (UO) o varios oradores (MO), se aprecia un comportamiento muy bueno de la herramienta cuando se trata MO, obteniéndose un WER promedio de 2,72 (bastante por debajo del valor promedio de *WER* en general), y de *ExWER* de 4,9, ambos valores significativamente por debajo del valor promedio general obtenido de ambas métricas. Estos valores también son inferiores a los obtenidos en los audios de UO, lo cual puede ser causado por la calidad de la dicción de los oradores involucrados. Con respecto al análisis de la

eficacia con presencia o no de ruido en la señal de audio, se considera que disponer de mediciones de niveles de ruido en los audios aportaría un análisis más preciso. Sin embargo, a partir de los resultados expuestos se puede concluir que la eficacia de la solución propuesta fue poco afectada por la presencia de ruidos en los audios, dado que el comportamiento promedio de las tasas de error, con algún nivel de ruido y sin ruido, no muestran diferencias significativas (*WER* = 3,2 y *ExWER* = 6,47 sin presencia de ruido, y *WER* = 3,5 y *ExWER* = 6,6 con presencia de algún nivel de ruido).

Tabla 1: Resultado de los casos de prueba

| **Actividad** | **Duración (min.)** | **CA** | **TT (min.)** | **AT** | **Total de palabras** | **Errores Totales** | **Errores Palabras** | **WER (%)** | **ExWER (%)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Audio_1 | Larga | UO, SR, VCP | 3 | 0,27 | 1395 | 90 | 50 | 3,5 | 6,5 |
| Audio_2 | Media | UO, BR, VCP | 1,6 | 0,32 | 763 | 74 | 34 | 4,6 | 9,6 |
| Audio_3 | Larga | UO, SR, VCP | 2,7 | 0,26 | 1233 | 89 | 27 | 2,1 | 7 |
| Audio_4 | Media | UO, BR, VCP, TI | 1,1 | 0,28 | 534 | 64 | 30 | 5,6 | 11,9 |
| Audio_5 | Media | UO, SR, VCP | 2,7 | 0,54 | 1301 | 77 | 38 | 2,9 | 5,9 |
| Audio_6 | Media | MO, BR, VDVF | 2,7 | 0,27 | 1440 | 135 | 97 | 6,9 | 9,3 |
| Audio_7 | Media | MO, BR, VDVF | 2,7 | 0,27 | 1401 | 120 | 81 | 5,7 | 8,5 |
| Audio_8 | Media | MO, BR, VDVF | 2,7 | 0,27 | 1447 | 48 | 29 | 2 | 3,3 |
| Audio_9 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1555 | 37 | 10 | 1,7 | 2,3 |
| Audio_10 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1156 | 89 | 26 | 2,2 | 7,6 |
| Audio_11 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1217 | 60 | 23 | 1,8 | 4,7 |
| Audio_12 | Media | MO, BR, VDVF | 1 | 0,25 | 468 | 51 | 24 | 5,1 | 10,8 |
| Audio_13 | Media | MO, BR, VDVF | 2,7 | 0,27 | 1537 | 126 | 49 | 3,1 | 8,1 |
| Audio_14 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1483 | 83 | 57 | 3,8 | 5,5 |
| Audio_15 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1469 | 59 | 39 | 2,6 | 4 |
| Audio_16 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,27 | 1683 | 105 | 40 | 2,3 | 6,2 |
| Audio_17 | Media | MO, BR, VDVF | 2,7 | 0,27 | 1839 | 86 | 50 | 2,7 | 4,6 |
| Audio_18 | Media | MO, BR, VCP | 2,7 | 0,32 | 1183 | 50 | 27 | 2,2 | 4,2 |
| | | **Ave.** | **2,5** | **0,3** | **1283,6** | **80,2** | **40,6** | **3,5** | **6,6** |

Otro aspecto de análisis fue la velocidad y fluidez al habla del orador. En este sentido, se aprecia que los audios con Voz Clara y Pausada (VCP), tienden a tener una menor tasa de errores en comparación con los audios con Voces con Diferentes Velocidades y Fluidez (VDVF), ya que los cambios en la velocidad y fluidez pueden incrementar los errores en la transcripción, sobre todo en lo que respecta a los signos de

puntuación. Esto se comprueba al analizar el comportamiento de la transcripción cuando se está en presencia de varios oradores (MO), donde los errores derivados de signos de puntuación se incrementan en alrededor del 40 %, en audios del tipo VDVF, especto a los audios con VCP. Por último, teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el Audio_4, el cual presenta una de las tasas más altas de errores con un *WER* de 5.6% y un *ExWER* de 11.9%, se interpreta que la improvisación puede generar más desafíos en la transcripción, en donde también adquiere un peso significativo los errores de puntuación.

Teniendo en cuenta que la evaluación de esta solución se realizó en un escenario real, con un nivel de exigencia muy alto en cuanto la calidad requerida para las transcripciones automáticas, era necesario poner en una perspectiva más amplia los resultados obtenidos, tomando en consideración para ello lo reportado en la literatura. En este sentido, fueron tomados de referencia los resultados reportados por Nacimiento et al. [15], los que se contrastaron con los obtenidos por la solución propuesta. Se debe aclarar que no es posible una comparación directa de resultados porque no se emplearon las mismas colecciones de prueba, por lo que en este caso se trata de una "comparación relativa" para obtener una percepción del comportamiento de las soluciones en el ámbito del idioma español. La motivación de seleccionar los resultados reportados en [15] fue que en esos experimentos se utilizaron colecciones de prueba en español, algunas con acentos similares al cubano, por ejemplo: el caribeño y el canario; aunque no se reportan detalles sobre los audios usados en [15]. En la Tabla 2 se muestra la "comparación relativa" de resultados usando de referencia el *WER*, donde se aprecia que los resultados obtenidos por *Oralix* son bastante alentadores porque tiene un comportamiento muy satisfactorio.

Tabla 2: Contrastación entre resultados obtenidos por *Oralix* y los reportados para transcripciones automáticas en español en otros trabajos.

| **Solución/Acento** | **Caribeño** | **América Central** | **Canaria** | **Chileno** | **Mexicano** | **Argentino** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Whisper_base [15] | 26,38 | 21,16 | 20,76 | 21,95 | 26,06 | 20,86 |
| Whisper_Large-v2 [15] | 10,06 | 8,31 | 6,18 | 7,43 | 8,78 | 6,95 |
| Oralix | *WER* = 3,4<br>Rango de valores *WER*: 1,7 – 6,9 | | | | | |

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado el desempeño de la herramienta Oralix, la cual está basada en *Whisper*, en un contexto real de transcripción de audios en español, soportado por mediciones y valoraciones de expertos en taquigrafía. Los resultados obtenidos muestran que, a pesar de las dificultades inherentes a la presencia de múltiples oradores, ruido y variaciones en la fluidez del habla, la solución propuesta ofrece un rendimiento notable, alcanzando un *WER* de 3.4 como promedio. Este resultado constituye un comportamiento muy satisfactorio, tomando en consideración valores de WER de otras soluciones basadas también en *Whisper* y que fueron evaluadas con audios en español en entornos más controlados. Sin embargo, el análisis también destaca la necesidad de continuar entrenando estos modelos con conjuntos de datos más representativos del español en sus múltiples variantes. Mediante la experimentación realizada, la herramienta Oralix demostró ser una solución muy prometedora para la transcripción automática de audios en español bajo diferentes condiciones, pero su implementación futura debería centrarse en optimizar aún más la precisión en escenarios más complejos. Con ello, se espera que el uso de esta tecnología se expanda y se consolide en diversas industrias que dependen de la transcripción de discursos y conversaciones en tiempo real, brindando mejores soluciones adaptadas a los contextos locales.

## REFERENCIAS

1. GRAVES, Alex, MOHAMED, Abdel-Rahman, HINTON, Geoffrey: Speech recognition with deep recurrent neural networks. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (2013).

2. VASWANI, Ashish, SHAZEER, Noam, PARMAR, Niki, USZKOREIT, Jakob, JONES, Llion, GOMEZ, Aidan N., KAISER, Lukasz., POLOSUKHIN, Illia: Attention is all you need. NIPS'17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, arXiv:1706.03762v7 (2017) 6000 – 6010.
3. RADFORD, Alec, KIM, Jong Wook, XU Tao, BROCKMAN Greg, MCLEAVEY, Christine, SUTSKEVER, Ilya: Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. ICML'23: Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning, arXiv:2212.04356, (2023) 28492 – 28518.
4. LATIF, Siddique, ZAIDI, Aun, CUAYAHUITL, Heriberto, SHAMSHAD, Fahad, SHOUKAT Moazzam, QADIR, Junaid: Transformers in Speech Processing: A Survey. arXiv:2303.11607v1 (2023).
5. YOUNG, Steve, EVERMANN, Gunnar, KERSHAW, Dan, MOORE, Gareth, ODELL, Julian, OLLASON, Dave, POVEY, Dan, VALTCHEV, Valtcho, WOODLAND, Phil: The HTK Book (for HTK Version 3.0). Cambridge University Engineering Department, (2000).
6. DEVLIN, Jacob, CHANG, Ming-Wei, LEE, Kenton, TOUTANOVA, Kristina: BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. Proceedings of NAACL-HLT 2019, (2019) 4171–4186.
7. HANNUN, Awni, CASE, Carl, CASPER, Jared, CATANZARO, Bryan, DIAMOS, Greg, ELSEN, Erich, PRENGER, Ryan, SATHEESH, Sanjeev, SENGUPTA, Shubho, COATES, Adam, NG Andrew Y.: DeepSpeech: Scaling up end-to-end speech recognition. arXiv:1412.5567v2, (2014).
8. BAEVSKI, Alexei, ZHOU, Henry, MOHAMED, Abdelrahman, AULI, Michael: Wav2Vec 2.0: A framework for self-supervised learning of speech representations. NIPS'20: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems, (2020) 12449 – 12460.
9. BREDIN, Hervé: pyannote.audio 2.1 speaker diarization pipeline: principle, benchmark, and recipe, INTERSPEECH 2023. (2023) 1983-1987.
10. BAIN, Max, HUH, Jaesung, HAN, Tengda, ZISSERMAN, Andrew: WhisperX: Time-accurate speech transcription of long-form audio. INTERSPEECH 2023, *arXiv preprint arXiv:2303.00747*, (2023) 4489-4493.
11. MACHÁČEK, Dominik, DABRE, Raj, BOJAR, Ondrej: Turning whisper into real-time transcription system. Proceedings of the 13th International Joint Conference on Natural Language Processing and the 3rd Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations, (2023) 17–24.
12. VAESSEN, Nik, VAN LEEUWEN, David A.: Fine-tuning wav2vec2 for speaker recognition. In ICASSP 2022-2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), (2022) 7967-7971.
13. MÜLLER, Meinard: Dynamic time warping. In Müller, M. (Ed.): Information retrieval for music and motion. Springer, Berlin, Heidelberg, (2007) 69-84.
14. BREDIN, Hervé, LAURENT, Antoine: End-to-end speaker segmentation for overlap-aware resegmentation. INTERSPEECH 2021, (2021) 3111- 3115.
15. NACIMIENTO-GARCÍA, Eduardo, DÍAZ-KAAS-NIELSEN, Holi Sunya, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Carina S.: Gender and Accent Biases in AI-Based Tools for Spanish: A Comparative Study between Alexa and Whisper. Applied Sciences 14, (2024) 4734-4.751.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ARQUITECTURA DE COMPUTACIÓN AL BORDE PARA ENTORNOS FARMACEÚTICOS 4.0

**Zuliet Medina Rodríguez [1,2,*], Hernán David Pérez Villanueva[1,2], Alberto Sergio Prieto Moreno [2]**

[1]EMSI FARMA, carretera a San Antonio Km 2 ½ Torrens
Boyeros - La Habana, [2]CUJAE, calle 114 e/ Ciclovía y Rotonda Marianao - La Habana
[*]zulietmr@gmail.com:

**RESUMEN**

En el marco de la Industria Farmacéutica 4.0 (*Pharma* 4.0, por su nombre en inglés) se desea lograr que los procesos sean completamente automatizados. En otras palabras, que las empresas se encuentren en el cuarto nivel de la pirámide de automatización clásica. Con este fin, la empresa EMSI FARMA está desarrollando un sistema de gestión de operaciones de fabricación. Para el correcto funcionamiento del sistema se ha dividido en cuatro capas: nube, niebla, borde y dispositivos de campo. El siguiente artículo tiene como objetivo ilustrar una arquitectura para la capa de Computación al Borde que cumpla las necesidades del sistema. La arquitectura de Borde que se propone se encarga de acercar la lógica de las operaciones a los dispositivos de campo. Para el desarrollo de la misma se utiliza un diseño de bloques funcionales, donde cada elemento tiene sus propias responsabilidades. Con el desarrollo de la arquitectura se logró abstraer la lógica de los elementos del protocolo de la comunicación que se utiliza para conectarse con las capas superiores e inferior. Además, se logra que el seguimiento de las operaciones y la adquisición de los datos se encuentre lo más cercano posible de la fuente de datos.

**PALABRAS CLAVES:** Computación al Borde, *Pharma* 4.0, Industria 4.0

## EDGE COMPUTING ARCHITECTURE FOR *PHARMA* 4.0 ENVIRONMENTS

**ABSTRACT**

Within the framework of Pharmaceutical Industry 4.0 (Pharma 4.0), the goal is to achieve fully automated processes. In other words, companies should reach the fourth level of the classic automation pyramid. To this end, EMSI FARMA is developing a manufacturing operations management system. For the system to function correctly, it has been divided into four layers: cloud, fog, edge, and field devices. This article aims to illustrate an architecture for the Edge Computing layer that meets the system's needs. The proposed Edge architecture brings the logic of operations closer to the field devices. A functional block design is used for its development, where each element has its own responsibilities. The development of the architecture successfully abstracts the logic of the communication protocol elements used to connect with the upper and lower layers. Additionally, it ensures that the tracking of operations and data acquisition is as close as possible to the data source.

**KEY WORDS:** Edge Computing, Pharma 4.0, Industry 4.0

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de las técnicas y conceptos de Industria 4.0 (I4.0) en el sector farmacéutico se denomina *Pharma* 4.0. Este concepto se desarrolló por la necesidad de la industria farmacéutica de modernizar y digitalizar sus procesos de producción. Lo que fue propiciado por un aumento en la demanda de medicamentos personalizados y el cumplimiento de regulaciones cada vez más estrictas. De esta forma poder mejorar la eficiencia, la calidad y la trazabilidad de la producción de medicamentos.[1]

La cuarta revolución industrial, Industria 4.0 (I4.0) tiene como objetivo la automatización de los procesos de fabricación/producción, la creación de cadenas de valor digitales de extremo a extremo, y el mantenimiento de la línea de producción en tiempo real [2]. Lo que permite que el soporte tecnológico y la intervención en el equipamiento y los procesos se realice lo más inmediatamente posible [3]. Esto se

logra gracias a la integración de los diferentes niveles de la pirámide clásica de automatización con los conceptos de Internet Industrial de las Cosas (IIoT, por sus siglas en inglés) [4].

El IIoT se puede definir como un sistema que comprende objetos inteligentes en red, activos ciber-físicos, tecnologías de información genéricas que se asocian, y plataformas informáticas en la nube o en el borde. Estos permiten el acceso, la recopilación, el análisis inteligente y autónomo de datos, y las comunicaciones en tiempo real. Así como el intercambio de información de procesos, productos o servicios, dentro del entorno industrial, a fin de optimizar el valor total de la producción [5]. Esta comunicación en tiempo real debe ser vista en relación con la dinámica de los procesos (si son de dinámica rápida o lenta) y el tiempo de muestreo que debe utilizarse en cada caso. De esta forma se logra realizar un uso eficiente de los sistemas de almacenamiento de datos. Lo que es demandado en la Industria 4.0 para soluciones de monitoreo de condición y ciberseguridad entre otras aplicaciones [6-7].

Con el objetivo de incorporar los conceptos de *Pharma* 4.0 en la industria farmacéutica nacional la empresa EMSI FARMA ha comenzado el desarrollo de en una los avances científicos-tecnológicos del mundo y la necesidad de aumentar la producción de la industria farmacéutica nacional es necesario desarrollar un sistema de gestión de operaciones de fabricación (MES, por sus siglas en inglés). Este sistema se ubica en la cuarta capa de la pirámide de automatización. Como su nombre lo indica, el sistema MES, tiene por objetivo realizar de forma automática la gestión de las operaciones de la industria donde se despliegue. La empresa EMSI FARMA se dio a la tarea de desarrollar un sistema MES para el ámbito de *Pharma* 4.0 [8].

Entre los principales requerimientos de la industria farmacéutica se encuentran la digitalización de datos. Lo que puede incluir información relacionada con: la cadena de suministro, la variabilidad de las materias primas y el seguimiento global de los materiales en todas las instalaciones, la información relacionada con las condiciones ambientales de fabricación, los procedimientos operativos, y las instrucciones de trabajo del operador. Además, monitorear operaciones en tiempo real y centralizar datos de eventos de auditoría, para mejorar la toma de decisiones y un aseguramiento continuo de la calidad del proceso. Esto permite reducir la variabilidad entre lotes, producir productos disponibles de manera consistente y una mayor flexibilidad y agilidad de producción. La arquitectura del sistema que se desarrolla teniendo en cuenta estos requerimientos se divide en 4 capas como muestra la Fig. 1.




Figura 1 Arquitectura del Sistema de gestión de operaciones de fabricación.

- Nube: Realiza, desde Internet, las configuraciones de los procesos y la visualización de la información.
- Niebla: Almacena los datos históricos y proporciona un seguimiento a los procesos, funciona como intermediario entre Internet y la capa de Borde.
- Borde: Acerca el procesamiento y la toma de decisiones a los dispositivos de campo.
- Dispositivos de campo: Se conforman por las diferentes fuentes de datos, sensores, actuadores y otros dispositivos físicos automatizados que se encuentran en la industria.

La capa de Computación al Borde tiene gran importancia ya que permite realizar el seguimiento de las operaciones, aunque existan fallas de comunicación con los servicios de la nube. Acerca la toma de decisiones y el procesamiento de la información a los dispositivos de campo. Disminuye el tráfico de información hacia la nube [9]. Además, teniendo en cuenta la arquitectura que se propone, esta capa no se encuentra conectada directamente a Internet lo que reduce las posibilidades de ataques a los procesos de producción y la fuga de información. Entre los principales requerimientos de usuario a tener en cuenta, para el desarrollo de la capa de Computación al Borde del sistema de gestión de operaciones de fabricación que está en desarrollo, se encuentran: comunicación entre sus elementos internos, comunicación con diferentes protocolos industriales, gestión de fuentes de datos que sufrieron desconexión, gestión de operaciones con diferentes niveles de complejidad (operaciones de unidad, procedimientos de unidad y procedimientos de centros de trabajo), presencia de un sistema de adquisición de datos y de gestión de eventos de auditoría, persistencia de la información.

El principal aporte del siguiente trabajo es ilustrar una arquitectura de Computación al Borde en un sistema MES para entornos de *Pharma* 4.0. Además, se definen las funciones de cada una de las partes de dicha arquitectura.

La estructura del trabajo es la siguiente: en la sección 2 se presenta un análisis de antecedentes donde se realiza un estudio de arquitecturas consultadas y los requerimientos que satisfacen. En la sección 3 se presenta la arquitectura de Computación al Borde donde se explica la integración entre los elementos que la conforman y la tecnología utilizada para su implementación. Finalmente se presentan las conclusiones.

## 2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES SOBRE LA CAPA DE COMPUTACIÓN AL BORDE

Con el aumento de las aplicaciones que comenzaron a producir gran cantidad de datos que necesitan ser almacenados y la necesidad de tiempos de respuesta cortos se ha incrementado el tráfico de información hacia la nube. Por lo que esta dejó de ser lo suficientemente eficiente para soportar estos cambios, de ahí que nazca el concepto de Computación al Borde [10-11].

Según [10] se define “borde” como cualquier recurso informático y de red a lo largo del camino entre las fuentes de datos y los centros de datos en la nube. Visto de esta forma se pudiera pensar que se habla de la Computación de Niebla. La diferencia radica en que la Niebla se enfoca en el lado de la infraestructura, mientras la Computación al Borde lo hace hacia el lado de los dispositivos de campo [12-13].

El enfoque de Borde reduce efectivamente la latencia y el tráfico de red y acerca el procesamiento y almacenamiento de datos a la fuente que los genera [14-15]. Esta proximidad facilita la toma de decisiones en tiempo real y mejora la confiabilidad del sistema. Para el diseño de la arquitectura de Borde, que se explicará en este trabajo, fue necesario realizar una investigación del conjunto de requerimientos que satisfacen arquitecturas utilizadas a nivel mundial [16-19]. De esta forma conocer si alguna cumple las necesidades del sistema MES a desarrollar. La Tabla 1 muestra un resumen de cómo las arquitecturas consultadas cumplen o no con los principales requerimientos de usuario que presenta la solución de *Pharma* 4.0

Tabla 1: Cumplimiento de los requisitos de usuario por parte de las arquitecturas estudiadas

| Requerimientos de Usuario | FAR-Edge RA. | Edge Computing RA 2.0 | Edge Computing 3.0 | EdgeX Foundry |
|---|---|---|---|---|
| Comunicación entre sus elementos internos | No | Sí | No | Sí |
| Comunicación con diferentes protocolos industriales | No | No | No | Sí |
| Gestión de fuentes de datos que sufrieron desconexión | No | No | No | No |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Gestión de operaciones con diferentes niveles de complejidad | No | No | No | No |
| Sistema de adquisición de datos | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Sistema de gestión de eventos de auditoría | No | No | No | No |
| Persistencia de la información | Sí | No | No | Sí |

Como se aprecia en la Tabla 1 la arquitectura EdgeX es la que mejor compensa los requerimientos de usuario del proyecto. El problema radica en que cuenta con una implementación flexible que es una desventaja para proyectos muy específicos y complejos como el que se desarrolla. Esto ocasiona que el trabajo del programador se ralentice y sea necesario agregar a esta arquitectura nuevas funcionalidades para cumplir todos los requerimientos de usuario. Además, todos sus microservicios están muy integrados entre sí y poseen secciones donde la comunicación se realiza por medio de mensajes de bus que utilizan el protocolo MQTT. En la solución propuesta no se utiliza este protocolo por lo que se complejiza la acción de tomar uno o varios microservicios e integrarlos con un diseño al cual haya que agregarle capas. Debido a que ninguna de las arquitecturas consultadas cumple con las necesidades del proyecto los autores deciden diseñar una arquitectura que las cumpla.

## 3. ARQUITECTURA DE COMPUTACIÓN AL BORDE PARA ENTORNOS DE *PHARMA 4.0*

Luego de un análisis físico de una empresa [20-21], y teniendo en cuenta los diferentes lugares donde se pueden encontrar dispositivos de campo, se decide por parte de los autores que la capa de Computación al Borde se encuentre conformada por Módulos de Borde (*IIoTModule*). Un *IIoTModule* es un servicio informático que se despliega en cada una de las áreas de la empresa. De esta forma se cumple el principio de que la capa de Borde es la que se encarga de acercar el procesamiento de la información a la fuente de datos. La distribución de las capas de la solución queda como se muestra en la Fig. 2. En esta se aprecia que la comunicación entre los *IIoTModule* y la niebla es a través del mecanismo nombrado *IIoTHub*. El *IIoTHub* se encarga de decodificar los mensajes y enviarlo hacia los elementos restantes de la niebla. Además, es el responsable de codificar los mensajes provenientes tanto de los otros elementos de la niebla como de la nube y enviarlo al *IIoTModule* correspondiente.

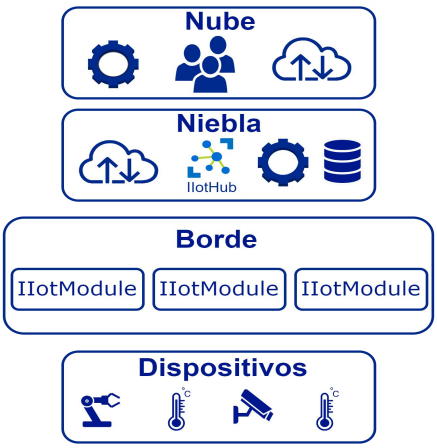



Figura 2: Capas de la solución de I4.0.

**Arquitectura de un Módulo de Borde**

La arquitectura para los Módulos de Borde se conforma por bloques funcionales. Cada uno de estos bloques es el encargado de realizar una tarea específica. Esto permite tener las responsabilidades separadas y una mayor flexibilidad a la hora de ampliar la solución. En la Fig. 3 se muestra la arquitectura a desarrollar para un *IIoTModule* ubicado en la capa de Borde.

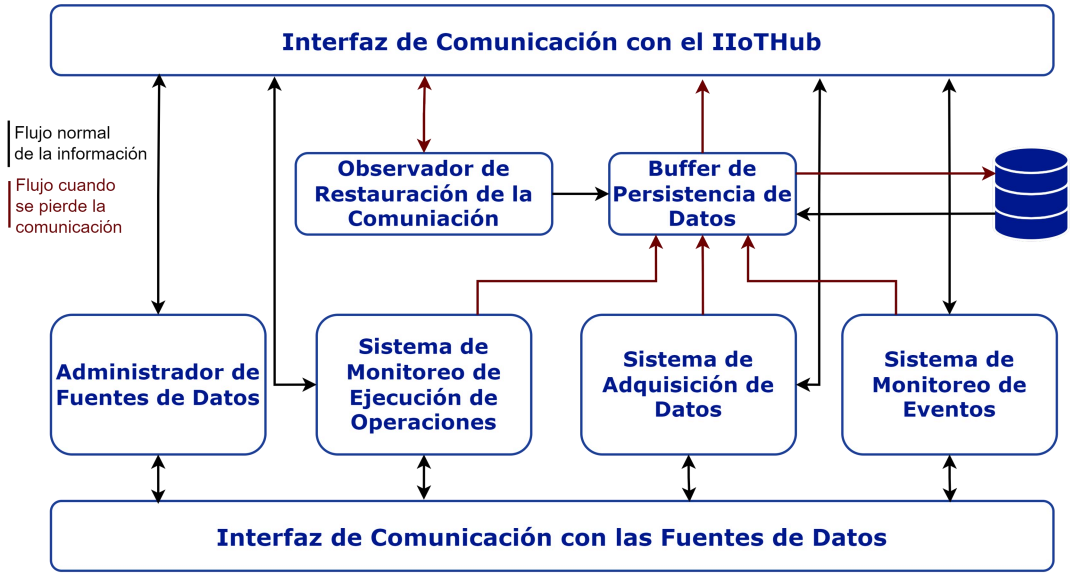



Figura 3: Propuesta de arquitectura de un módulo de Borde.

La comunicación entre los elementos internos del *IIoTModule* se realiza a partir de dos mecanismos, uno de solicitud/respuesta y otro de notificación. El mecanismo de notificación además de emplearse cuando el remitente no necesita una respuesta, también se utiliza para aquellas acciones que deban ser atendidas por varios bloques de la solución. Cada bloque le da una atención a la notificación acorde a sus funcionalidades. A continuación, se describen las funcionalidades de cada uno de los bloques mostrados en la Fig. 3.

**Interfaz de Comunicación con el IIotHub** (*IIoTHubInterface*): Permite realizar la abstracción del protocolo de comunicación que se utiliza para comunicar el servicio del *IIoTModule* con la niebla. Esta se encarga de codificar los mensajes que deben ser enviados hacia el *IIoTHub*. Los mensajes se nombran Eventos de Integración y permiten enlazar elementos de capas diferentes. Entre los Eventos de Integración se encuentran los que contienen los valores de las muestras, el cambio de estado de las operaciones, el cambio de estado de las fases, el cambio de modo de las operaciones, la detección de eventos de auditoría, la detección de alarmas y el cambio de estado de una alarma. Además, el *IIoTHubInterface* también se encarga de decodificar la información proveniente de las capas superiores. Entre los Eventos de Integración que debe decodificar se encuentran la adición, actualización y eliminación de fuentes de datos correspondientes al *IIoTModule*; y la habilitación de una operación en una fuente de datos específica. Una vez decodificados los Eventos de Integración, el *IIoTHubInterface* informa a los demás bloques de su ocurrencia. De esta forma si es necesario cambiar el protocolo de comunicación no se afectan los demás mecanismos ni la lógica utilizada en el *IIoTModule*.

**Administrador de Fuentes de Datos:** Como su nombre lo indica es el responsable de manejar las fuentes de datos. Además, da respuesta a las solicitudes de adicionar fuentes de datos, eliminarlas o actualizarlas. Cuenta con 2 mecanismos, uno para las fuentes de datos que son accesibles (aquellas con las cuales logró establecer comunicación) y otro para las fuentes de datos inaccesibles. Cuando se realiza la configuración de una nueva fuente de datos pasa a ser inaccesible hasta que se logra establecer comunicación. También notifica al operario, a partir del indicador visual de la fuente de datos, que se

lleva a cabo una comunicación exitosa. En caso de que se pierda la comunicación es el manejador el responsable de descubrir que se reestableció mediante un proceso de encuesta.

**Sistema de Monitoreo de Ejecución de Operaciones** (OEMS, por sus siglas en inglés): Administra los mecanismos de monitoreo de ejecución de operaciones. Al manejar la notificación de operación habilitada, que el *IIoTHubInterface* lanza, el OEMS crea un Monitor de Ejecución de la Operación (OEM, por sus siglas en inglés). El OEM se encarga de monitorear una operación en específico, o sea, detectar los cambios de estado de las operaciones y las fases y los cambios de modo de las operaciones. Además, traduce la posible receta que se debe ejecutar en el autómata. Para los procesos automatizados se considera receta a un conjunto de información necesaria que define de forma única los requisitos de producción para un producto específico.

Para realizar la traducción de la receta se cuenta con un grafo que organiza y convierte, a lenguaje conocido por el autómata, el orden de las fases a ejecutar y los parámetros de estas. Un parámetro es una de las variables que interviene en el proceso que se ejecuta. La receta puede tener tres niveles de complejidad:

Simple: Solamente se realiza un seguimiento de las fases de la operación ya que se encuentran predefinidas en la fuente de datos. Por tal motivo el OEM no cuenta con una receta que traducir.

Normal: Todas las fases que se ejecutan se hacen de forma lineal, como si fuera una cola, la primera que entra es la primera que sale.

Complejo: Se pueden ejecutar fases en paralelo (dos o más a la vez) o pueden existir condiciones externas por las que es necesario esperar antes de llevar a cabo la siguiente fase. Un ejemplo es esperar por el consentimiento del operario.

En el contenido de una receta se encuentran los niveles superiores e inferiores que pueden tomar los parámetros. Esto se debe a que para la fabricación de un producto en fases diferentes, que no se ejecuten en paralelo, una misma variable puede tener disímiles intervalos de funcionamiento. Por otra parte, el OEMS es el responsable de manejar los cambios de estado de las fases de las operaciones, que están en ejecución, y por ende de las operaciones. Además de manejar estos cambios le notifica al *IIoTHubInterface* para que los transmita a las capas superiores. Si el estado de la operación es abortado o completado se elimina al OEM correspondiente.

**Sistema de Adquisición de Datos** (DAS, por sus siglas en inglés) Es el responsable de la adquisición de las muestras de las variables. Para esto define Mecanismos de Adquisición de Datos (DAM, por sus siglas en inglés) por cada operación que se inicia. El DAM se encarga de manejar el tiempo con el que deben ser medidas las variables de una operación. Cada fuente de datos contiene una base de muestreo, que, unida al multiplicador de la operación y al multiplicador propio de la variable, establece el período de muestreo de esta. La variable incorpora información al muestreo debido a si son de dinámica más lenta o más rápida. De esta forma se evita el uso inadecuado de las fuentes de datos al medir variables de dinámica lentas como la temperatura y la humedad y variables de dinámica rápida como la presión y el caudal con la misma frecuencia.

Existen operaciones de distintas naturalezas, por lo que sus períodos de muestreo son diferentes. Las operaciones de seguimiento, donde se debe cumplir un perfil de comportamiento específico, necesitan una mayor frecuencia de muestreo. Mientras que en las operaciones de regulación es imprescindible una menor frecuencia de muestreo para no perder información de las variables. Por ejemplo, en un lazo de circulación de agua los muestreos son más esporádicos debido a que es una operación de seguimiento. Por otra parte, en una operación de sanitización del lazo es necesario que la frecuencia de muestreo sea menor ya que este proceso se realiza en un intervalo de tiempo menor.

Una vez trascurrido el período de monitoreo de una variable, el DAM notifica al DAS que contiene variables listas para la obtención de sus muestras y se reinicia el contador de la variable. En caso de que no existan notificaciones pendientes a ser solicitadas a las fuentes de datos, el DAS espera 30 segundos

por otras notificaciones ante de realizar la petición de las muestras. De esta manera se agrupan varias solicitudes de muestreo. Una vez obtenidas las muestras se agrupan en un Evento de Integración de muestras obtenidas y se envían a las capas superiores. El DAS también maneja la notificación de cambio de estado de la operación. Si es pausada se pausa el temporizador del DAM correspondiente. Si es finalizada o abortada se elimina el DAM. En caso de que una fuente de datos salga de accesibilidad se pausan los DAM relacionados con las operaciones que se ejecutan en ella.

**Sistema de Monitoreo de Eventos** (EMS): Además de conocer el cambio de valor de las variables el sistema es responsable de atender la ocurrencia de eventos de auditoría en las fuentes de datos. El EMS es el mecanismo que se encarga de darle seguimiento a la ocurrencia de estos eventos y de las alarmas que son detectadas por la fuente de datos. Cuando una fuente de datos pasa al estado de accesibilidad se comienza con el mecanismo de monitorear los eventos de auditoría y las alarmas que puedan ocurrir. Entre los eventos de auditoría se consideran la autenticación de un usuario y el cambio de valor en alguno de los parámetros. Una alarma ocurre, en la mayoría de las ocasiones, cuando alguno de los parámetros de la operación sobrepasa los valores superiores o no alcanzan los valores inferiores configurados en la receta. Además, es necesario darle un seguimiento al estado de la alarma, de esa forma se conoce el cambio de estado de la misma. Entre los estados de una alarma se encuentran: activa, reconocida y recuperada. La información recopilada se convierte en Eventos de Integración y se envía a las capas superiores para su análisis y visualización.

**Interfaz de Comunicación con las Fuentes de Datos** (*DataSourceCommunication*): Permite realizar la abstracción del protocolo de comunicación que tienen las fuentes de datos y así poder realizar acciones sobre la misma. Para establecer la comunicación se crea una Sesión de Comunicación con la Fuente de Datos. Una Sesión es el mecanismo que se encarga de traducir operaciones genéricas al correspondiente protocolo de la fuente de datos con la que desea interactuar. Soporta las operaciones de lectura y escritura desde y hacia una fuente de datos, así como la suscripción a cambios de valores. Cuando se recibe la notificación de operación habilitada el OMS y el DAS solicitan la creación de sesiones del tipo del protocolo de comunicación que soporta la fuente de datos. En el caso del EMS lo hace cuando se detecta una fuente de datos accesible. De esta forma, cuando se desee obtener, por ejemplo, el valor de una muestra, el DAS realiza la solicitud y la sesión correspondiente es la que se encarga de traducir esa solicitud a un lenguaje que conoce la fuente de datos. Entre los protocolos de comunicación industriales a los que se le da soporte se encuentran OPC UA, BACnet y Modbus TCP (Fig. 4). Esto no quiere decir que son los únicos, ya que el mecanismo de Sesiones permite insertar nuevos protocolos sin cambiar la lógica del programa.




Figura 4: Estructura de la Interfaz de Comunicación con las Fuentes de Datos. Relación con otros componentes.

**Observador de Restauración de la Comunicación:** Elemento que se encarga de identificar cuándo se ha recuperado la comunicación con la niebla una vez que esta se pierde. Maneja la notificación de

comunicación fallida haciendo un proceso de encuesta al *IIoTHub* hasta que la comunicación se reestablezca. Una vez reestablecida le notifica al resto de los elementos, de esta forma es posible comenzar el proceso de envío de la información almacenada en el Buffer de Persistencia de Datos hacia las capas superiores.

**Buffer de Persistencia de Datos:** En caso de que la comunicación con la capa superior falle es necesario un mecanismo que se encargue de almacenar la información temporal referida a las ejecuciones de las operaciones, el muestreo de las variables y la ocurrencia de eventos o alarmas. En otras palabras, es necesario almacenar todos aquellos Eventos de Integración que en condiciones normales son enviados a las capas superiores. De esta forma no se pierde su contenido. Cuando se reestablece la comunicación el Buffer es el responsable del envío de la información que tiene almacenada hacia las capas superiores de la solución de *Pharma* 4.0. Si el envío se realiza de forma satisfactoria la información se elimina de la base de datos temporal.

**Integración de los bloques del *IIoTModule* ante un inicio de operación**

Como se ha mencionado hasta ahora la capa de Computación al Borde se encarga de acercar el control de las operaciones hacia las fuentes de datos. Por tal motivo se considera imprescindible explicar el flujo de la información ante la habilitación de una operación, en el cual intervienen todos los bloques del IIoTModule.

Cuando se habilita la operación se crea un OEM y un DAM para darle seguimiento a la operación y adquirir las muestras en el momento correspondiente, respetivamente. Para mantener la comunicación con la fuente de datos se crean Sesiones que conozcan el protocolo de comunicación de la misma. En caso de que la comunicación con las capas superiores falle se almacenan los Eventos de Integración en la base de datos temporal y cuando se reestablece la misma se envían el *IIoTHub*. En caso de que falle la comunicación con la fuente de dato, esta pasa a un estado de inaccesibilidad y se comienza el proceso de encuesta. Además, son pausados los DAM relacionados con esa fuente de datos. Cuando la operación finaliza o es abortada se eliminan el OEM y el DAM y las Sesiones de comunicación correspondientes. De esta forma se le da cumplimiento a todos los requerimientos de usuario que se analizaron en la Tabla 1. En la Fig. 5 se aprecia un diagrama de flujo para el proceso que se lleva a cabo ante la habilitación de una operación. Este es un diagrama ideal para los casos en los que no se existen fallos en la comunicación con los elementos superiores e inferiores. Se decide no agregar el EMS ya que las sesiones del mismo se crean por fuentes de datos y no por ejecución de operaciones.

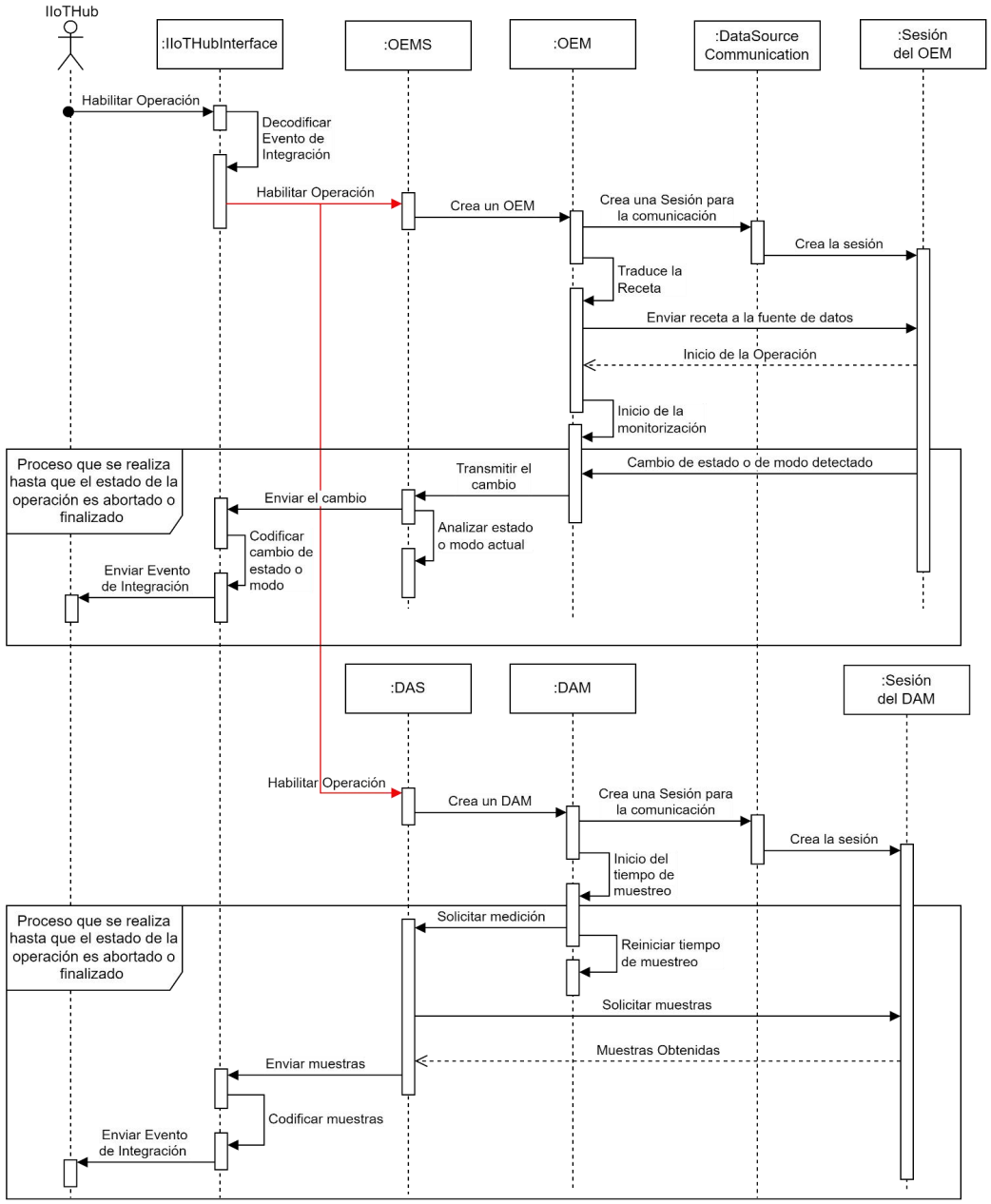



Figura 5: Diagrama de flujo de habilitación de una operación**.**

**Selección de la tecnología e implementación de la arquitectura**

La arquitectura de Computación al Borde se está implementando para el proyecto de Pharma 4.0 utilizando el lenguaje de programación C# y el framework .Net 8. Se sigue un diseño guiado por dominio (DDD, por sus siglas en inglés) y el uso de microservicios. Además, para la comunicación con el IIoTHub se emplea el protocolo gRPC y para la comunicación con las fuentes de datos, en una primera versión de la arquitectura, se implementan los protocolos OPC UA, BACnet y Modbus TCP que son los más utilizados en la industria. En futuras versiones se incluirán otros protocolos.

El desarrollo basado en microservicios consiste en construir una aplicación con un conjunto de pequeños servicios que se ejecutan en su propio proceso (computación en hilos) y se comunican con mecanismos

ligeros. Una gran ventaja del uso de microservicios es la idea de que cada uno contiene y maneja su propio estado [22]. De esta forma, cada bloque de un *IIoTModule* se comporta como un microservicio que al unirse conforman el servicio web del *IIoTModule* lo que permite seguir las tendencias actuales de tecnologías desacopladas como menciona [22].

Se escoge seguir un DDD ya que permite escribir código donde el dominio de la aplicación refleja los aspectos reales de la lógica de negocio. Esto facilita el mantenimiento del programa a largo plazo y satisfacer las necesidades futuras sin afectar los mecanismos actuales [23].

Como se menciona en [22, 24] gRPC es eficiente para la comunicación entre procesos ya que utiliza un protocolo binario basado en protocol buffers por lo que la transmisión de información es más rápida. Además, es fuertemente tipado, soporta múltiples lenguajes de programación y tiene soporte nativo para comunicación en directo tanto del cliente como del servidor, o de ambos a la vez. Según [22] es conveniente utilizar gRPC en proyectos donde intervengan la comunicación en tiempo real, los microservicios y dispositivos IoT, siendo estos elementos principales de la solución que se desarrolla. La comunicación utilizando el protocolo gRPC se realiza por canales de comunicación, donde cada cliente inicia la comunicación con el servidor y espera por una respuesta. En la Fig. 6 se aprecia como un servidor gRPC interactúa con sus clientes.

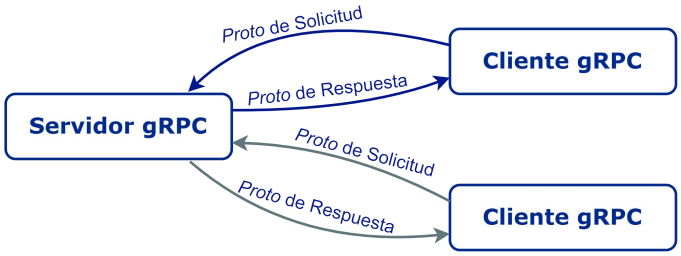



Figura 6: Comunicación cliente/servidor utilizando el protocolo gRPC.

Por otra parte, los autores deciden utilizar el framework .Net 8 por ser de código libre y por las amplias librerías y paquetes que contiene para el desarrollo de aplicaciones. Dentro de los paquetes que se utilizan para la implementación se encuentran:
Grpc.Core y Grpc.AspNetCore: Para la comunicación con el IIoTHub,
Quartz.Extensions.Hosting: para la programación multi-hilos de los diferentes servicios. Permite ejecutar tareas a partir de condiciones predefinidas.
MediatR: Para la comunicación interna entre los bloques de la solución. Este permite lanzar una solicitud o notificación y tener diferentes manejadores que sean los encargados de darle respuesta.
OpcFudation.NetStandar.Opc.Ua: para establecer comunicación con las fuentes de datos cuyo protocolo sea OPC UA
BACnet: para establecer comunicación con las fuentes de datos cuyo protocolo sea BACnet
Modbus.Net y NModbus: para establecer comunicación con las fuentes de datos cuyo protocolo sea Modbus TCP
No se menciona la versión de los paquetes utilizados ya que a lo largo de la implementación puede variar por actualizaciones de los mismos.

## 4. CONCLUSIONES

La arquitectura de Computación al Borde de la solución de *Pharma* 4.0 se encarga de acercar la lógica de las operaciones al campo, para esto utiliza Módulos de Borde. En cada *IIoTModule* los elementos centrales de la arquitectura son capaces de abstraerse de los protocolos de comunicación dando paso a la utilización de diferentes protocolos en una misma solución. Con el diseño se logra cumplir no solo esta abstracción, sino que es capaz de configurar los parámetros de los dispositivos de campo para cada operación específica, al enviar hacia el autómata los valores del mismo. Cada *IIoTModule* le da

seguimiento a diferentes operaciones, que se pueden encontrar ejecutándose en paralelo, de esta forma conocer el estado de sus fases, el modo en que se encuentra y su propio estado. Esto permite que el sistema responda y realice acciones ante los cambios detectados. Por otra parte, la distribución en bloques del recurso que se presenta permite la ampliación del mismo con nuevas funcionalidades en caso de ser necesario.

## RECONOCIMIENTOS

Al equipo de trabajo de la empresa EMSI FARMA, en especial al departamento de Informática Industrial y a los miembros de la empresa AICA que forman parte del proyecto de Industria 4.0 que se lleva a cabo.

## REFERENCIAS

1. HARUNA MUHD, Inuwa; AVINASH RAVI, Raja; ANIL, Kumar; BHIM, Singh. “Status of Industry 4.0 applications in healthcare 4.0 and Pharma 4.0”, *Materials Today: Proceedings*. 2022, vol 62, núm. 6. pp. 3593-3598, ISSN 2214-7853,
2. GUPTA, Sandeep. “Retracted: An edge-computing based Industrial Gateway for Industry 4.0 using ARM TrustZone technology”. *Journal of Industrial Information Integration*. 2023, vol. 33 pp. 1-5
3. CRESPO LORENTE, Alfons.; ALONSO, Alejandro. “Una panorámica de los Sistemas de Tiempo Real”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. 2006, vol. 3, núm. 2. pp 7-18.
4. BECERRA, L.Y. Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la educación en Ingeniería. *Entre Ciencia e Ingeniería*. 2020, vol. 14, num. 28 pp. 76-81
5. BOYES, Hugh; HALLAQ, Bil; CUNNINGHAM, Joe; WATSON, Tim “The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework”. *Computers in Industry*. 2018, vol. 101, pp. 1-12
6. QUIÑONES GRUEIRO, Marcos, PRIETO MORENO, Alberto; LLANES SANTIAGO, Orestes. “Modeling and monitoring for transitions based on local kernel density estimation and process pattern construction”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2016, vol. 55, núm 3 pp. 692-702
7. ARES MILIÁN, Marlon Jesús; QUIÑONES GRUEIRO, Marcos; VERDE, C; LLANES SANTIAGO, Orestes “A leak zone location approach in water distribution networks combining data-driven and model-based methods”. *Water*.2021, vol 13 núm. 20 pp 2924
8. SUARÉZ CONCEPCIÓN, Fernando, PIÑERO AGUILAR, Randy, PRIETO MORENO, Alberto Sergio, ALFONSO CORDOVÍ, Andrey, CARBÓ CASTRO, Julio César, LLANES SANTIAGO, Orestes. “Metodología para la automatización de procesos tecnológicos en la industria farmacéutica cubana.” *Ingeniería Industrial*. 2022, vol. 43 núm. 1 pp. 1-14
9. ARDEN, N. Sarah.; FISHER, Adam C.; TYNER Katherine; YU, Lawrence X., LEE, Sau L., KOPCHA, Michael “Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future”. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021 vol. 602 pp. 1-8
10. VARGHESE, Belsson; WANG, Nan; BARBHUIYA, Sakil; KILPATRICK, Peter; NIKOLOPOULOS, Dimitrios S. “Challenges and Opportunities in Edge Computing”. *IEEE International Conference on Smart Cloud*. 2016. vol. 18 pp. 20-26
11. SHI, Weisong; CAO, Jie; ZHANG, Quan; LI, Youhuizi; XU, Lanyu. “Edge Computing: Vision and Challenges”. *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*. 2016 vol. 3 núm. 5 pp. 637-646
12. PÉREZ COLOMÉ, Alejandro UAR; ANÍS CALDERÓN, Caridad; DELGADO FERNÁNDEZ, Tatiana. “Procedimiento para la implementación de la computación en la niebla en ciudades inteligentes”. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*. 2021, vol. 41 núm. 1 pp. 45-57.
13. SHEHAB, Amjad Hameed; AL-JANABI, Sufyan. “Edge Computing: Review and Future Directions (Computación de Borde: Revisión y Direcciones Futuras)”. *Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad*. 2019 vol. 26 núm. 2 pp. 368-380.
14. MOHSIN, Yaseen; AL-ALI, Alwan. “Edge Computing Paradigms: Bridging the Gap between Software Engineering and IoT”. *Journal of Electrical Systems.* 2024 vol. 20 núm. 6s pp. 1381-1393.

15. MUSARRAT, Z.; MYSUN, M.; MOST MARUFATUL, J.M., MD MOTAHARUL, I.; MD RAFIUL, H.; MOHAMMAD M.H., "Energy-Efficient Architecture for Optimized IoT Data Transmission from Edge to Cloud". *ResearchGate* [database on the Internet], 2024. Disponible en: doi: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4127989/v1
16. SITTÓN-CANDANEDO I., ALONSO R., RODRÍGUEZ S., GARCIA CORIA J., DE LA PRIETA F. "Edge Computing Architectures in Industry 4.0: A General Survey and Comparison". [database on the Internet], 2020. Disponible en: doi: 10.1007/978-3-030-20055-8_12
17. SITTÓN-CANDANEDO, I; ALONSO, R. S; MÚÑOZ, L; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ S. "Arquitecturas de Referencia Edge Computing para la Industria 4.0: una revisión". Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil AmITIC 2019. Pereira, Colombia, 2019. p. 16-23
18. CAO, Keyan; LIU, Yefan; MENG, Gongjie; SUN, Qimeng. "An Overview on Edge Computing Research". *IEEE.* 2020, vol. 8 pp. 85714-85728, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2991734.
19. VENANZI, R.; SOLIMANDO, M.; PATRALI M.; FOSCHINI L.; CHATZIMISIOS, P. "Siemens and EdgeX IIoT Platforms: A Functional and Performance Evaluation. ICC 2023". IEEE International Conference on Communications, Rome, Italy; 2023. p. 834-839, doi: 10.1109/ICC45041.2023.10278750
20. Instrument Society of America, ANSI/ISA–S95.00.03–2013 Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. Research Triangle Park, North Carolina (USA); 2013
21. Instrument Society of America, ANSI/ISA–S95.00.01–2000 Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. Research Triangle Park, North Carolina (USA); 2000
22. RUÍZ ZAMORA, J. F. "Un análisis sobre mecanismos de comunicación entre componentes software". Máster en Tecnologías y Aplicaciones en Ingeniería Informática, Universidad de Almería; 2022. Disponible en: https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/16748/RUIZ%20ZAMORA,%20JOSE%20FRANCISCO.pdf?sequence=1
23. KHONONOV, V. *Learning Domain-Driven Design*. 1ra ed. O'Reilly Media, Inc; 2021.
24. KAMIŃSKI, L.; KOZŁOWSKI, M.; SPORYSZ, D.; WOLSKA, K.; ZANIEWSKI, P.; ROSZCZYK, R. "Comparative Review of Selected Internet Communication Protocols." *Foundations of Computing and Decision Sciences*. 2023, vol. 48 núm. 1 pp. 39-56

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA" CUJAE. DIGITAL TRANSFORMATION AT THE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF HAVANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA" CUJAE.

**Nayma Cepero Pérez[1], Diansy Rodríguez Hong[1], Lisandra Bravo Ilisástigui[1], Javier Lorenzo [1], Martha Dunia Delgado Dapena [1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cuba

[1]ncepero, drodriguezh, lbravo, jlorenzo, martha@ceis.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En este trabajo se analiza el panorama que se plantea en las universidades ante el rápido avance de la transformación digital en todos los ámbitos de la sociedad. Se discuten aspectos que definen la transformación digital, sus dimensiones tecnológicas y los pasos que se están dando para adaptarse a esta transformación buscando mantener y mejorar la gestión de los procesos que gestionan la vida universitaria. Se trata de presentar una mirada integral, que vaya más allá del ámbito del aula y considere aspectos en una como son la infraestructura para adecuarse al cambio tecnológico, los cambios en la gestión que se requieren, la capacitación de docentes y no docentes y también los aspectos que derivan en un modelo que adopta diferentes herramientas y metodologías para potenciar la gestión de los procesos. Por último, se propone la estrategia de transformación digital a seguir en la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE.
**PALABRAS CLAVES:** Transformación digital, gestión, dimensiones.

**ABSTRACT**

This paper analyzes the panorama that arises in universities in the face of the rapid advance of digital transformation in all areas of society. Aspects that define digital transformation, its technological dimensions and the steps that are being taken to adapt to this transformation are discussed, seeking to maintain and improve the management of the processes that manage university life. It is about presenting a comprehensive view, which goes beyond the classroom environment and considers aspects in one such as the infrastructure to adapt to technological change, the changes in management that are required, the training of teachers and non-teachers and also the aspects that derive in a model that adopts different tools and methodologies to enhance the management of processes. Finally, the digital transformation strategy to be followed at the Technological University of Havana "José Antonio Echeverría" CUJAE is proposed.

**KEY WORDS:** Digital transformation, management, strategy, dimensions.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo alcanzado por las tecnologías en los últimos años y la creciente adopción de dispositivos conectados a Internet, junto con el aumento constante de datos producidos por estos, han creado nuevas oportunidades para el desarrollo de la sociedad. Hoy en día, los usuarios esperan poder organizar trabajar y vivir su vida utilizando las últimas tecnologías digitales. Esperan esta capacidad dondequiera que estén y cuando quieran, utilizando el dispositivo de su elección y con toda la información de apoyo y el contenido personalizado que necesitan al alcance de la mano. Las organizaciones están aplicando la inteligencia artificial (IA), la automatización y otras tecnologías para optimizar los flujos de trabajo, personalizar las experiencias de los clientes, mejorar la toma de decisiones y responder con mayor rapidez y eficacia a las interrupciones del mercado y a las nuevas oportunidades [1].

Para alcanzar estos niveles de desarrollo y automatización es necesario aplicar estrategias de transformación digital que no es más que una iniciativa estratégica que incorpora desde la digitalización de los procesos de una empresa hasta la tecnología digital en todas las áreas de una organización. Evalúa y moderniza los procesos, productos, operaciones y pila tecnológica de una organización para permitir una innovación continua, rápida y orientada al cliente. La transformación digital puede ayudar a las empresas a aumentar la fidelidad de los clientes, atraer a empleados con talento, fomentar la ventaja competitiva y crear valor empresarial. El objetivo definitivo de la transformación digital es cumplir con estas expectativas.

La transformación digital se define como un proceso donde las tecnologías digitales permiten innovaciones disruptivas por las cuales las organizaciones (empresas, gobierno, industria, entidades educativas) pueden dar respuestas estratégicas con valor agregado [1], [2], [3].
Estas nuevas respuestas en general se dan en el marco de cambios estructurales que deben superar barreras organizativas y al mismo tiempo en un contexto de adaptación para el personal y los usuarios [4], [5]. En el caso de las instituciones de Educación Superior, resulta especialmente importante considerar los recursos humanos propios (docentes, personal administrativo, directivos, personal técnico) y los alumnos que en ellas se forman. El cambio que genera la Transformación Digital impacta de lleno, generando una transición hacia un nuevo modelo de Universidad [6], [7].

La implementación de la transformación digital de cada organización es diferente. Puede comenzar con un único proyecto tecnológico focalizado o como una iniciativa global para toda la institución. Puede ir desde la integración de la tecnología digital en los procesos y productos existentes hasta la reinvención de procesos y productos o la creación de fuentes de ingresos totalmente nuevas mediante el uso de tecnologías aún emergentes.
En diferentes ocasiones se confunde el término de “digitalización” con “transformación digital” a continuación se definen las principales diferencias. La digitalización es el proceso de convertir los elementos físicos de sus procesos empresariales y flujos de trabajo en elementos digitales. La representación de cosas no digitales o físicas en un formato digital significa que un sistema informático puede utilizar esta información.

Por ejemplo, los formularios en papel que rellenan los usuarios se convierten en formularios digitales que se completan en línea. La información digital puede utilizarse para el análisis y la información empresarial. En una empresa, las iniciativas de digitalización pueden incluir proyectos como los siguientes:

- ✓ Modernización de los sistemas heredados
- ✓ Automatización de los procesos manuales o en papel existentes
- ✓ Traslado de un sistema a Internet

No obstante, la digitalización por sí sola no es transformadora. La digitalización es un primer paso importante en el proceso de transformación digital. La transformación digital tiene un alcance mucho más amplio que crea un cambio de cultura predominante en la organización. Porque también es eso un proceso de transformación digital.
Pero los expertos coinciden en que la transformación digital se basa tanto en la transformación empresarial y en la gestión de los cambios como en la sustitución de procesos analógicos o la modernización de las TI existentes. Requiere que todo el equipo directivo se alinee con las nuevas tecnologías y metodologías que pueden mejorar la experiencia de trabajo, capacitar a los empleados y alcanzar los objetivos trazados [1].

Pareciera que la transformación digital solo está orientada hacia el sector empresarial, pero lo cierto es que más allá de la digitalización y la automatización, la transformación digital es para todos los sectores de la sociedad, incluida los diferentes niveles de enseñanza. Por supuesto esto implica un rediseño profundo de los procesos académicos y administrativos. El objetivo no es solo mejorar la eficiencia o reducir costos, sino crear una experiencia enriquecedora para todos los miembros de la comunidad universitaria.

La gestión de los procesos administrativos debe transformar y agilizar los mismos, de modo de simplificarlos y hacerlos más eficientes, utilizando las nuevas potencialidades de infraestructura y la necesaria capacitación del personal. Lograr este punto no sólo exige capacitación del personal, sino también adecuar la legislación propia de la Universidad y de la Educación en general y fortalecer una nueva cultura organizacional.
Administrativos, técnicos y autoridades deben estar actualizados y capacitados, para crear esta nueva cultura organizacional en la Universidad. Este proceso claramente no es "instantáneo" y requiere de un plan estratégico adecuado, que marque objetivos y tiempos para alcanzarlos. La Innovación debe "alimentar" la transformación de la Universidad, no sólo desde los aspectos tecnológicos, sino desde los cambios metodológicos y las formas de interacción de todos los actores universitarios.
A continuación se presenta la estrategia de transformación digital desarrollada para la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE.

## 2. Estrategia de transformación digital de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE.

El enfoque a procesos se mantiene como la base de la estructura del sistema de gestión de la CUJAE. Para la determinación de los procesos se tuvo en cuenta, a partir de la experiencia anterior, la necesidad de encontrar una adecuada correspondencia entre la misión, visión y objetivos estratégicos, con los procesos que según su clasificación juegan un papel determinado en lograr el estado deseado de la Universidad en el 2026, la sistemática de trabajo que se utilice para dirigirla y los recursos que son necesario emplear. Estos procesos deben guardar también relación con las estrategias que se definan. Siguiendo esta concepción, se actualizaron los procesos que aparecen en el Mapa de Procesos representado en la Figura 1 y desarrollado por la dirección de calidad de la universidad.

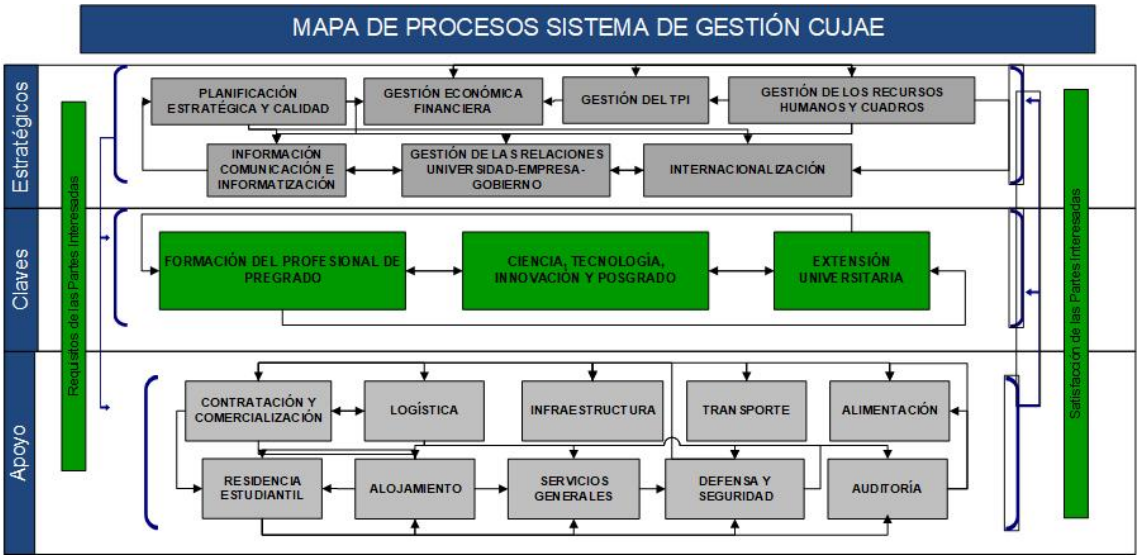



**Figura 1 Mapa de procesos de la CUJAE**

En Figura 1 se representan los procesos estratégicos, claves y los de apoyo así como sus relaciones dentro del funcionamiento de la universidad. Partiendo de este mapa de procesos se diseñó una estrategia de transformación digital que de soporte a los procesos de la universidad.

**Dimensiones y fases de la estrategia:**
En la Figura 2 se presentan las tres dimensiones y las fases que componen la estrategia de transformación digital de la CUJAE, a continuación se realiza una descripción de cada una de estas ellas así como sus principales objetivos.

1. **Digitalización:**

Esta dimensión se centra en la digitalización de los procesos basándose en tecnologías digitales y en gestionar los datos de manera digital. Para optimizar los resultados gracias a la información obtenida. De algún modo, este sería el primer paso hacia la transformación digital.
Para el diseño de esta estrategia de transformación digital esta dimensión está compuesta por dos fases, el diagnóstico inicial y la recuperación de la infraestructura. El objetivo fundamental de esta dimensión se centra en determinar el estado actual de los sistemas TIC por procesos estratégicos, calves y de apoyo.
Para cumplir con esta dimisión se han establecido dos fases que se presentan a aconyinuación:

**Diagnóstico inicial:**

- Identificar qué procesos están digitalizados y funcionales, partiendo del mapa de procesos definido en la universidad.
- Definir cronograma de digitalización de los procesos pendientes.
- Definir en consulta con el MES qué soluciones de las ya desarrolladas en el país que se puedan incorporar.

**Digitalización de los procesos.**

- Objetivos: Implementar el cronograma definido en la etapa 1
- Incorporar soluciones existentes en el país a este cronograma.
- Desplegar el nuevo directorio como base de integración de las demás soluciones.
- Desplegar el servicio de generación de firma digital interno.
- Incorporar la firma digital en los procesos de la universidad y los procesos externos que lo permitan.
- Incorporar el pago en línea en todos los servicios de la universidad (comedor, cafeterías arrendadas y los que se incorporen).
- Comenzar a utilizar el servicio de NotiRes.
- Desplegar el gestor documental Scriba en la universidad como polígono de prueba.
- Evaluar la solución brindada por Scriba, para determinar si es la solución que se adoptará. Informe de pruebas realizadas y de usabilidad.
- Desplegar las soluciones que se identificaron que ya están desarrolladas en el país.
- Impartir cursos de capacitación para lograr la asimilación de las soluciones.

**2. Ciberseguridad**

Esta dimensión se centra en incorporar la Ciberseguridad en la gestión de los procesos de la universidad.

- Definir el plan de Ciberseguridad de la universidad.
- Desplegar el plan de Ciberseguridad.
- Controlar el cumplimiento del plan de Ciberseguridad.

**3. Interoperabilidad.**

En esta dimensión se proponen los pasos necesarios para llevar la interoperabilidad a la gestión de los procesos.

- Generar estadísticas de la universidad a partir de la transformación digital de los procesos.
- Realizar minería de datos sobre los datos de la universidad.

**4. Cuadro de mando integral.**

Obtener a partir de las etapas anteriores un cuadro de mando integral que permita la gestión de la vida universitaria a partir de generar ecosistemas de software que colaboren entre sí.

- Trazar las políticas de gobernar de datos de la universidad acorde a lo definido como país en la Agenda Digital.
- Desarrollar el cuadro de mando integral.




**Figura 2 Fases de la estrategia de transformación digital CUJAE.**

La informatización de la gestión, utilizando las herramientas de apoyo proporcionadas por los sistemas informáticos permiten planificar, organizar, ejecutar, controlar y evaluar de forma eficiente y eficaz la gestión de la vida universitaria, realizando la transformación digital de los procesos.

**Conclusiones**

La digitalización de la gestión favorece naturalmente esta transparencia y por otro lado disponer de un importante volumen de datos digitalizados del avance de la gestión permite desarrollar herramientas para perfeccionar la toma de decisiones utilizando herramientas de Inteligencia de Datos.

Estos elementos forman parte de la estrategia trazada para alcanzar las dimensiones mencionadas. Se debe trabajar en garantizar la infraestructura y la capacitación docente/no docente para evolucionar/perfeccionar el modelo Tecnológico. Además de sistematizar la capacitación de administrativos, técnicos y autoridades para implementar los pasos
definidos en la estrategia.

**REFERENCIAS**

[1] A. Cubo, J. L. Hernández Carrión, M. Porrúa, B. Roseth, Guía de transformación digital del gobierno. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Agosto 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.18235/0004402.
[2] B. Ndulu, E. Stuart, S. Dercon, P. Knaack, Driving Digital Transformation: Lessons from Seven Developing Countries. Oxford University Press, 2023.
[3] S. Loon Hoe, Digital Transformation: Strategy, Execution and Technology. New York: Auerbach Publications, 2022.
[4] D. Rogers, The Digital Transformation Playbook. Columbia Business School, 2016.
[5] N. Chopra, Accelerated Digital Transformation: How Established Organizations Can Gain Competitive Advantage in the Digital Age. Kogan Press, 2023.
[6] A. Kaplan, Digital Transformation and Disruption of Higher Education. Cambridge Press, 2022.
[7] D. Burgos, J. W. Branch, Radical Solutions for Digital Transformation in Latin American Universities: Artificial Intelligence and Technology 4.0 in Higher Education. Lectures Notes in Education. Springer, 2021.
[8] G. Reza Djavanshir, Digital Strategies and Organizational Transformation. World Scientifc Publishing Company, 2023.

# PROGRAMA GENERAL

# VI Congreso Internacional de Ingeniería Civil en Cuba

# (CIIC 2024)

| PROGRAMA PRELIMINAR GENERAL 6 CIIC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **HORARIO** | **25 NOVIEMBRE** | **26 NOVIEMBRE** | **27 NOVIEMBRE** | **28 NOVIEMBRE** | **29 NOVIEMBRE** |
| **9:00-9:30** | **ACREDITACION** | **CONFERENCIA MAGISTRAL** Casos de estudio: Zaratoga y Ky23<br><br>Conferencista: MSc. Ing Alejandro Silva **(CUBA)** | **CONFERENCIA MAGISTRAL** "Gobernanza del Agua: retos y experiencias en Cuba" Conferencista: MSc. Ing Bladimir Matos Moya. VP Primero **(INRH- CUBA)** | **SESIÓN TÉCNICA VIALES** | **CLAUSURA CONVENCIÓN** |
| **9:30-11:30** | | **SESIÓN TÉCNICA ESTRUCTURAS** | **SESIÓN TÉCNICA HIDRÁULICA PONENCIAS** | | |
| **11:00-11:30** | | **CONFERENCIA MAGISTRAL** Development of 3D system for road and airport design. Autor: Dejan Gavran **(SERBIA)** | **SESIÓN TÉCNICA GEOFÍSICA PONENCIAS** | **CONFERENCIA MAGISTRAL** El mortero armado (ferrocemento) en América Latina y el Caribe. Desarrollo histórico¨ **(CUBA)** | |
| **11:30-13:00** | **CONFERENCIA INAUGURACION** | **SESIÓN TÉCNICA ESTRUCTURAS** | | **SESIÓN TÉCNICA MATERIALES** | |
| **14:00 – 15:00** | **BRINDIS BIENVENIDA** | | | **TALLER RESILIENCIA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN COMUNIDADES COSTERAS** | |

GEOCUBA investigación y consultoría

CUEX S.A. MATERIALES PARA LA INDUSTRIA Y LA CONSTRUCCION

INRH Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos REPÚBLICA DE CUBA

GEOCUBA ESTUDIOS MARINOS

SAND SOLUCIONES

GEODESA

**PROGRAMA TÉCNICO V CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL EN CUBA**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **Día:** | **26 DE NOVIEMBRE** | |
| | **Presidente Sesión:** | **Dra. Vivian Elena Parnás** | **Sala: Multipropósito Hotel Palco** |
| | **Actividad:** | **ESTRUCTURAS** | |
| **Horario** | **Código** | | |
| **9:00-9:40** | | **CONFERENCIA MAGISTRAL**. **Título:** Dos casos de estudio: Zaratoga y Ky23 Profesor: Alejandro Silva **(CUBA)** | |
| 9:40-9:50 | CIIC05 | Desempeño ante carga de sismo de uniones exteriores viga - columna de hormigón armado con acero y con barras de prfv mediante el empleo de técnicas de modelación numérica.<br>Autores: Omar Zamora Díaz-Comas, Diana A. Toro Toro, Marian Rodríguez Pérez **(CUBA)** | |
| 9:50-10:00 | CIIC53 | Influencia de la presencia del refuerzo de la mampostería confinada en el mecanismo de colapso y el nivel de desempeño de una edificación ubicada en zona de alto peligro sísmico.<br>Autores: Jean Carlos Caballero Cruz, Darío Candebat Sánchez, Nelson Fundora Sautié, Janet O. Martínez Cid **(CUBA)** | |
| 10:00-10:10 | CIIC42 | Análisis del mecanismo de colapso progresivo de la torre de transmisión eléctrica ss1 bajo carga de viento.<br>Autores: Gerardo Pérez Martínez, Patricia Martín Rodríguez, Vivian Elena Parnás **(CUBA)** | |
| 10:10-10:20 | CIIC34 | Análisis de sensibilidad de las características dinámicas del modelo computacional de una torre autosoportada.<br>Autores: Katia Luis García, Vivian Elena Parnás **(CUBA)** | |
| 10:20-10:30 | CIIC50 | Obtaining aerodynamic coefficients in compound section using numerical simulation.<br>Autores: Nelson Fundora Sautié, Leonardo Romero Monteiro, Vivian B Elena Parnás **(CUBA)** | |
| 10:30-10:40 | CIIC39 | Improving the lateral load capacity of small-diameter helical piles<br>Autores: Aylín Vargas Leyva, Willian Daniel Cobelo, Gilberto Rodríguez Plascencia **(CUBA)** | |
| 10:40-10:50 | CIIC43 | Penetración dinámica superpesada (DPSH) vs ensayo de penetración estándar (SPT).<br>Autores: Eddy Hernández Hernández, Hector Rodríguez Casariego **(CUBA)** | |
| 10:50-11:00 | | **DEBATE Y RECESO** | |

| Día: | | 26 DE NOVIEMBRE |
|---|---|---|
| Presidente Sesión: | | Dr. Willian Cobelo Cristiá Sala: Multipropósito Hotel Palco |
| Actividad: | | ESTRUCTURAS |
| **Horario** | **Código** | |
| 11:00-11:30 | CIIC20 | **CONFERENCIA MAGISTRAL. Título:** Development of 3d system for road and airport design.<br>Autor: Dejan Gavran **(SERBIA)** |
| 11:10-11:20 | CIIC37 | Design method for interlocking concrete block pavements on granular base.<br>Autores: Saul David Martínez González, Willian D. Cobelo Cristiá, Anadelys Alonso Aenlle **(CUBA)** |
| 11:20-11:30 | CIIC47 | Procedure for the application of deterioration parameterization in reinforced concrete bridges for highways in Cuba.<br>Autores: Lianny Moreno Alonso, José Alfonso Macías Mesa, Hector Alfonso Pérez, Antonio Amaury Medina Morante **(CUBA)** |
| 11:30-11:40 | CIIC12 | Sistema de Gestión de Puentes Sostenible y Digitalizado para Cuba.<br>Autores: Pedro Antonio Hernández Delgado, Antonio Amaury Medina Moranti, Héctor Alfonso Perez, José Alfonso Macias Mesa **(CUBA)** |
| 11:40-11:50 | CIIC59 | Sistema para la gestión y diagnóstico del patrimonio arquitectónico.<br>Autores: Liamnisbel Hernández Peña, Alessandro Merlo, Ricardo Remond Noa, Sergio E. Ricardo Desdín, Sergio R Arencibia Iglesias **(CUBA)** |
| 11:50-12:00 | CIIC52 | Herramientas de la confiabilidad operacional para la evaluación de edificaciones.<br>Autores: Liyen Pérez Quiñones, Marietta Llanes Pérez, Alejandro López Llanusa **(CUBA)** |
| 12:00-12:10 | CIIC25 | Aplicación de la técnica de georradar en ingeniería civil: Evaluación y búsqueda de redes soterradas.<br>Autores: Lorena Guillén Guzmán, Claudia Hernández Menencia, Orlando Carráz Hernández **(CUBA)** |
| 12:10-12:20 | CIIC46 | Artificial intelligence as a tool for inspection of reinforced concrete bridges.<br>Autores: José Alfonso Macías Mesa, Hector Alfonso Pérez, Antonio Amaury Medina Morante, Pedro Antonio Hernández Delgado **(CUBA)** |
| 12:20-12:30 | CIIC35 | Análisis del comportamiento a compresión de muretes de ladrillos con el empleo de técnicas de modelación numérica.<br>Autores: Javier A. Tejeda Carreras, Alejandro Socorro, Janet O. Martínez Cid, Nelson Fundora Sautié **(CUBA)** |
| 12:30-12:40 | CIIC28 | Influencia del anclaje del refuerzo en el desempeño ante carga de sismo de uniones exteriores viga - columna de hormigón armado con barras de prfv mediante el empleo de técnicas de modelación numérica.<br>Autores: Diana Alicia Toro Toro, Omar Zamora Díaz-Comas, Amanda María Puldón Simpson **(CUBA)** |
| 12:40-13:00 | | **DEBATE Y CIERRE DE SESIÓN** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Día:** | | **27 DE NOVIEMBRE** | |
| **Presidente Sesión:** | | **Dr. Luis Fermín Córdova** | **Sala: Multipropósito Hotel Palco** |
| **Actividad:** | | **HIDRÁULICA** | |
| **Horario** | **Código** | | |
| **9:00-9:30** | | **CONFERENCIA MAGISTRAL. Título:** "Gobernanza del Agua: retos y experiencias en Cuba"<br>Conferencista: MSc. Ing Bladimir Matos Moya. VP Primero INRH **(CUBA)** | |
| 9:40-9:50 | CIIC17 | Metodología cubana para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos.<br>Autores: Yaset Martínez Valdés, Yilian Álvarez Gil, Félix Abelis Riaño Valle **(CUBA)** | |
| 9:50-10:00 | CIIC06 | Cálculo de la recarga potencial del acuífero de la cuenca Ariguanabo.<br>Autores: Yakelin Rodríguez López, Olga Marina Aguilera Burgos **(CUBA)** | |
| 10:00-10:10 | CIIC36 | Calibración de ecuaciones analíticas para uso en vertedores tipo laberinto mediante modelación numérica.<br>Autores: Michel Mirabal Rivero, Rigoberto Morales Hernández, Rafael A. Pardo Gómez **(CUBA)** | |
| 10:10-10:20 | CIIC10 | Simulación del drenaje dual urbano aplicando el modelo IBER-SWMM. Caso de estudio malecón-Vedado de la Habana.<br>Autores: Luis F. Córdova López, Patricia Ruth de Horta Brito, Daniela Córdova de Horta Brito **(CUBA)** | |
| 10:20-10:30 | CIIC07 | Simulación numérica de la red de drenaje pluvial de la cuenca Gancedo. La Habana.<br>Autores: Patricia Ruth de Horta Brito, Luis F. Córdova López **(CUBA)** | |
| 10:30-10:40 | CIIC09 | Estudio del rebase en la zona del malecón de La Habana aplicando el modelo numérico IH-2VOF.<br>Autores: Kevin Cruz Batista, Luis F. Córdova López **(CUBA)** | |
| 10:40-10:50 | CIIC08 | Estudio de las inundaciones costeras en el malecón de La Habana provocadas por los huracanes Wilma (2005) e Irma (2017).<br>Autores: Bryan Pérez León, Daniela Córdova de Horta, Luis F. Córdova López **(CUBA)** | |
| 10:50-11:00 | CIIC48 | Determination of wave overtopping applying the coupled Delft3D and XBeach NH numerical models: Case study Malecón of Havana, Cuba.<br>Autores: Daniela Córdova de Horta Brito, Luis F. Córdova López, Miguel Ángel Pardo Picazo, Daniel Prats Rico **(CUBA)** | |
| **11:00-11:20** | | **DEBATE Y RECESO** | |

| Día | | 27 DE NOVIEMBRE | |
|---|---|---|---|
| Presidente Sesión: | | Dr. Emilio Escartin Sauleda | Sala: Multipropósito Hotel Palco |
| Actividad: | | GEOFÍSICA | |
| **Horario** | **Código** | | |
| 11:20-11:30 | CIIC51 | Enhancing Rainfall-Induced Slope Failure Prediction in Earth Dams through Hybrid Numerical Models and Machine Learning<br>Autores: Isaida Flores Berenguer, Jack Warden, Yoermes González Haramboure, Alejandro Rosete, Jenny García Tristá, Mohammad Reza Najafi **(CUBA)** | |
| 11:30-11:40 | CIIC23 | Evaluación de la vulnerabilidad natural a la contaminación de las aguas subterráneas en cuencas hidrográficas de la región oriental de Cuba.<br>Autores: Jennifer de la Caridad Rodríguez Calderón, Sandra Cruz González, Camila Cruz González, Rosa María Valcarce Ortega, Marina Beatriz Vega Carreño, Willy Roberto Rodríguez Miranda **(CUBA)** | |
| 11:40-11:50 | CIIC24 | Variación espacio-temporal en el período 2000 al 2020 en embalses de la provincia Mayabeque, Cuba.<br>Autores: Isabela Díaz Pérez, Rosa Ma. Valcarce Ortega, Willy R. Rodríguez Miranda **(CUBA)** | |
| 11:50-12:00 | CIIC13 | Efectos de interacción dinámica suelo estructura de cuatro tanques güira en Santiago de Cuba.<br>Autores: Joendris Manual Castellanos, Francisco Calderín Mestre, Darío Candebat Sánchez **(CUBA)** | |
| 12:00-12:10 | CIIC01 | Uso de wavelets para identificar frecuencias dominantes en registros sísmicos de la Ciudad de México.<br>Autores: Francisco A. Flores, Joel de la Rosa **(MÉXICO)** | |
| 12:10-12:20 | CIIC56 | Métodos geofísicos en la caracterización geotécnica de los suelos en Luanda. Caso de estudio.<br>Autores: Maria Amélia Pereira de Barros, Esperança Aldina Gaieta Luango **(ANGOLA)** | |
| 12:20-12:30 | CIIC49 | Modeling RUSLE C-Factor in Ecuadorian Basins Using NDVI and Regional Equation.<br>Autores: Daniel Delgado, Gema Casanova-Ruiz, Olga Briones-Ordoñez, Pablo Farfán-Intriago **(ECUADOR)** | |
| 12:30-12:40 | CIIC04 | Empleo de la teledetección para estimar los parámetros de la calidad de las aguas.<br>Autores: Héctor Manuel Fernández Núñez, Isabela Díaz Pérez, Daily González Henríquez **(CUBA)** | |
| 12:40-12:50 | CIIC32 | Aplicación del geo-radar para la búsqueda de agua en la cuenca sabanalamar, Guantánamo, Cuba.<br>Autores: Juan Inocencio Medina-Hechavarría, Joendris Manual Castellanos **(CUBA)** | |
| 12:50-13:00 | CIIC22 | Investigaciones geofísicas en el Sistema Acuífero Salto-Arapey en Salto, Uruguay.<br>Autores: Julián Ramos, Gonzalo Blanco, Orlando Carraz, Fernando Corbo Camargo, Willy Rodríguez et al. **(CUBA)** | |
| | | **CIERRE DE SESIÓN** | |

| Día | | 28 DE NOVIEMBRE | |
|---|---|---|---|
| Presidente Sesión: | | Dra. Anadelys Alonso Aenlle | Sala: Multipropósito Hotel Palco |
| Actividad: | | VIALES | |
| **Horario** | **Código** | | |
| **9:00-9:10** | | **Apertura de Sesión** | |
| 9:10-9:20 | CIIC27 | Evaluación de las propiedades de una mezcla asfáltica tibia (MAT) usando un asfalto modificado con silicato.<br>Autores: Hugo Alexander Rondón-Quintana, Wilmar Darío Fernández-Gómez y Edgar Humberto Sánchez-Cotte. **(COLOMBIA)** | |
| 9:20-9:30 | CIIC33 | Asfaltos naturales para mezclas frías destinadas al mantenimiento vial.<br>Autores: Rosa Herrera de la Rosa, Norbier Pérez Rubio **(CUBA)** | |
| 9:30-9:40 | CIIC02 | Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos.<br>Autores: M. Isabel Zambrano Meza, Eduardo Tejeda Piusseaut, Anadelys Alonso Aenlle **(ECUADOR)** | |
| 9:40-9:50 | CIIC38 | Aprovechamiento del residuo polvo de bofeo para la industria de la conservación vial en Cuba.<br>Autores: Rosa Herrera de la Rosa, Anadelys Alonso Aenlle, Debora Acosta Alvarez, Geovany Alemán Carmenate, Ing. Zenén Arocha Viera **(CUBA)** | |
| 9:50-10:00 | CIIC26 | Aplicación de la termografía infrarroja en los estudios de pavimentos asfálticos.<br>Autores: Eduardo Tejeda Piusseaut, Kelvin José Franco Mera, Einstein Enmanuel Andrade Fernández, Italo Humberto Navarrete Garcia **(ECUADOR)** | |
| 10:00-10:10 | CIIC44 | Evaluación del sistema de drenaje de una carretera a partir de imágenes obtenidas mediante técnicas de percepción remota.<br>Autores: Elizabeth del Carmen Moreno Díaz, Dania Olga Abreu Hernández **(CUBA)** | |
| 10:10-10:20 | CIIC58 | Andariego Vial, Sistema de información Geográfica para la gestión de la Red Nacional de Vías.<br>Autores: Pavel Rodríguez Rodríguez, Luis Manuel González Medel **(CUBA)** | |
| 10:20-10:30 | CIIC11 | Evaluación de diseño de pavimentos flexibles mediante el método mecanístico empírico ASHTOO 2004.<br>Autores: Eduardo Tejeda Piusseaut, José Fernando Zambrano García, Emily Virginia Cedeño Vélez **(ECUADOR)** | |
| 10:30-10:40 | CIIC18 | Instrumentación en pavimento de hormigón simple para estudios de tensiones de combado originados por gradientes de temperatura.<br>Autores: Edwin Alexander Rodríguez, Félix Michael Hernández López, Eduardo Tejeda Piusseaut **(ECUADOR)** | |
| **10:40-11:00** | | **DEBATE Y RECESO** | |

| Día | | 28 DE NOVIEMBRE |
|---|---|---|
| Presidente Sesión: | | Dra. Marietta Llanes Perez Sala: Multipropósito Hotel Palco |
| Actividad: | | MATERIALES y TECNOLOGIAS DE LA CONSTRUCCIÓN |
| **Horario** | **Código** | |
| 11:00-11:30 | | **CONFERENCIA MAGISTRAL. Título:** El mortero armado (ferrocemento) en América Latina y el Caribe. Desarrollo histórico.<br>Conferencista: Dr. Hugo Wainshtock Rivas **(CUBA)** |
| 11:30-11:40 | CIIC29 | Valoración del sistema SERMAP desde la perspectiva de seguridad y salud.<br>Autores: Marietta LLanes, Gabriel Martinez, Sergio Marrero, Hugo Wainnshtock, Lorena Rodríguez **(CUBA)** |
| 11:40-11:50 | CIIC31 | Black electric arc furnace slag as thick aggregates in concrete.<br>Autores: Iatny de la Roz Martínez, René A. Puig Martínez **(CUBA)** |
| 11:50-12:00 | CIIC30 | Characterization of vinasse for its use as an active component of additives for hydraulic concrete.<br>Autores: Yasser León Benavides, René A. Puig Martínez, María A. Mesa Pérez, Abel Castañeda Valdés **(CUBA)** |
| 12:00-12:10 | CIIC03 | Diseño de un recubrimiento líquido de protección secundaria al hormigón. Análisis de su efectividad.<br>Autores: Delilah Díaz Fernández, Marietta Llanes Pérez, Yorexis González Alfaro **(CUBA)** |
| 12:10-12:20 | CIIC19 | Relación entre métodos eléctricos para evaluar la durabilidad de hormigones sometidos al ambiente marino.<br>Autores: Karla Gabriela Quintana Quiñones, Alejandro Fernández **(CUBA)** |
| 12:20-12:30 | CIIC55 | Estudio experimental de las propiedades mecánicas de hormigones elaborados con agua y arena de mar.<br>Autores: David León González, René A. Puig Martínez, Isel Díaz Pérez **(CUBA)** |
| 12:30-12:40 | CIIC14 | El uso del Mortero Armado y los PRF en la Construcción en AL y el Caribe.<br>Autores: Hugo Rafael Wainshtock, Gabriel Martínez Licea, Isel del Carmen Díaz **(CUBA)** |
| 12:40-12:50 | CIIC21 | Residential roof in “hypar” shape and water treatment tanks in ferrocement.<br>Autores: Sávio Nunes Bonifácio, Edna Alves Oliveira, Marcelo Lobato Franco **(BRASIL)** |
| 12:50-13:00 | CIIC41 | Estudio de la fisuración en losa canal de mortero armado para uso en entrepisos de vivenda<br>Autores: Gabriel Martínez Licea, Hugo Wainshtok Rivas, Isel del Carmen Díaz **(CUBA)** |
| 13:10-13:20 | CIIC60 | Estudio de la contracción por secado en hormigones elaborados con agregados finos reciclados. Autores: Byron Baque Campozano **(ECUADOR)** |
| 13:20-13:30 | | **DEBATE Y CIERRE DE SESION** |

| | |
|---|---|
| **Día:** | **28 DE NOVIEMBRE** |
| **Actividad:** | **TALLER RESILICIENCIA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN COMUNIDADES COSTERAS** |
| **Sala:** | **Multipropósito Hotel Palco** |

| **PANEL DE DISCUSION** | |
|---|---|
| | Moderadores: Patricia Martin. Luis Fermín Córdova y Dayra Gelabert |
| 14:30- 16:30 | Presentaciones y discusión |
| | |

| | |
|---|---|
| **Día:** | **PERMANENTE** |
| **Actividad:** | **POSTER** |

| **EXPOSICIÓN DE PÓSTER** | |
|---|---|
| CIIC40 | Influence of Sample Size on the Performance of Methods for Estimating the Parameters of the Gumbel Distribution<br>Autores: Mirell G. Piloto Torres, Camila Aldereguía Sánchez, Alberto Gutiérrez de la Rosa, Ingrid Fernández Lorenzo, Vivian Beatriz Elena Parnás **(CUBA)** |
| CIIC15 | Piscinas de Mortero Armado (Ferrocemento): 40 años de desarrollo.<br>Autores: Hugo Rafael Wainshtok, Gabriel Martínez Licea, Isel del Carmen Díaz **(CUBA)** |
| CIIC16 | Análisis y diseño del motor lobby del Aparthotel Havana Beach.<br>Autores: Sergio Rubén Medina Martínez, Mercedes Cid Martínez, Isel del Carmen Díaz **(CUBA)** |
| CIIC45 | MIPYME, gestión urbana y desarrollo local: desafíos ante el desarrollo sostenible.<br>Autores: Irina Duverger Johnston, Alicia Espinosa Gronzo, Rosa María Méndez Pérez **(CUBA)** |
| CIIC57 | Estudio de la degradación de la resistencia a flexión de vigas de hormigón con refuerzo híbrido acero-prf en situación de incendio.<br>Autores: Michael R. Mackchaser Vedey, Isel del C. Díaz Pérez **(CUBA)** |
| CIIC54 | Showcrete para el diseño de elementos estructurales aislados de Hormigón armado. Autores: Pedro Juan Piedrahita Pérez, Javier del Sol Pérez, Isel Díaz Pérez **(CUBA)** |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESEMPEÑO ANTE CARGA DE SISMO DE UNIONES EXTERIORES VIGA - COLUMNA DE HORMIGÓN ARMADO CON ACERO Y CON BARRAS DE PRFV MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS DE MODELACIÓN NUMÉRICA

**Omar Zamora Díaz-Comas[1], Diana Alicia Toro Toro[2], Marian Rodríguez Pérez[3]**

[1,2] Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[3]Empresa de Construcción y Montaje ECM Mariel, Carretera Quiebra Hacha, Vista al Mar, km 8 1/2 Mariel, Artemisa, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: omar@civil.cujae.edu.cu
[2]e-mail: dianaaltortor@civil.cujae.edu.cu
[3]e-mail: marianrodriguezperez01@gmail.com

**RESUMEN**

En la presente investigación se realiza una comparación del desempeño ante carga de sismo, empleando técnicas de modelación numérica, de dos uniones exteriores de hormigón armado: una reforzada con barras de acero y otra reforzada con barras de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV). Para ello se desarrollan dos modelos matemáticos - computacionales basado en el Método de los Elementos Finitos implementados con el programa ABAQUS/CAE versión 2017 y calibrados con ensayos a escala real. Se comparan los resultados del desempeño ante carga de sismo de ambas uniones, primeramente, en los parámetros que caracterizan el comportamiento general de la unión y en segundo lugar, en el comportamiento de las barras longitudinales de la viga. Se concluye que la unión reforzada con barras de acero presenta, para todos los niveles de deriva, mayor capacidad de carga sísmica, mayores valores de rigidez y mayor disipación de energía proporcionado por el refuerzo longitudinal de la viga; sin embargo, la unión reforzada con barras de PRFV es capaz de soportar carga sísmica sin fallar con niveles elevados de derivas y también presenta menos degradación de rigidez, ya que su índice de daño para las derivas superiores es menor comparado con el índice de daño de la unión reforzada con acero.

**PALABRAS CLAVES:** Unión viga - columna, carga sísmica, refuerzo de PRFV, simulación numérica.

# EARTHQUAKE LOAD PERFORMANCE OF EXTERIOR BEAM - COLUMN JOINTS OF CONCRETE REINFORCED WITH STEEL AND GFRP BARS THROUGH THE USE OF NUMERICAL MODELING TECHNIQUES

**ABSTRACT**

In the present investigation, a comparison of the performance against earthquake loading is carried out, using numerical modeling techniques, of two exterior reinforced concrete joints: one reinforced with steel bars and the other reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) bars. For this, two mathematical-computational models are developed based on the Finite Element Method implemented with the ABAQUS/CAE program version 2017 and calibrated with full-scale tests. The results of the earthquake load performance of both joints are compared, firstly, in the parameters that characterize the general behavior of the joint and secondly, in the behavior of the longitudinal bars of the beam. It is concluded that the joint reinforced with steel bars presents, for all levels of drift, greater seismic load capacity, higher rigidity values and greater energy dissipation provided by the longitudinal reinforcement of the beam; However, the connection reinforced with GFRP bars is capable of supporting seismic load without failure with high levels of drifts and also presents less degradation of stiffness, since its damage index for the upper drifts is lower compared to the damage index of the steel reinforced joint.

**KEY WORDS:** Beam - column joint, seismic loading, GFRP reinforcement, numerical simulation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el método más exitoso para eliminar de manera definitiva el problema de la corrosión en los elementos de hormigón armado ha sido la sustitución del acero de refuerzo por materiales que no se corroen. En este sentido, uno de los materiales recientes que se viene introduciendo en la industria de la construcción son los Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV), que se pueden emplear en forma de barras como refuerzo en el hormigón estructural. Además de la resistencia a la corrosión, una gran ventaja que presentan estos materiales es que exhiben una elevada resistencia ante esfuerzos de tracción; sin embargo, algunas de las principales características mecánicas de las barras de PRFV como son: su comportamiento lineal - elástico hasta la rotura, el módulo de elasticidad relativamente bajo comparado con el del acero y las bajas resistencias ante los esfuerzos de compresión y cortante, hace que se comporten de manera muy diferente a las barras de acero de refuerzo convencional [1].

La primera preocupación sobre el uso de los materiales de PRFV como refuerzo en elementos de hormigón armado, era si su empleo en regiones de alta sismicidad era completamente factible. El hecho de que el refuerzo de PRFV no exhiba un comportamiento dúctil debido a su naturaleza de comportarse como un material lineal y elástico hasta la rotura, hace que los elementos de hormigón armado con barras de PRFV presenten características notablemente diferentes en cuanto a la capacidad de amortiguamiento y disipación de energía ante la presencia de carga de sismo, si se comparan con los elementos de hormigón armado reforzados con barras de acero [2].

Debido a que los materiales de PRFV presentan módulos de elasticidad relativamente bajos acompañado de una elevada resistencia a la tracción en la rotura, comparados con los valores del acero, hace que elementos de hormigón reforzados con barras de PRFV puedan soportar elevadas tensiones de tracción antes de fallar. Esta última característica ha servido para que diferentes investigaciones [3-7] hayan podido comprobar que dentro de ciertos límites es posible emplear elementos de hormigón armado reforzado con barras de PRFV ante la presencia de carga de sismo, ya que dichos elementos experimentarían deformaciones laterales significativas sin presentar un deterioro considerable, lo que resulta en una menor necesidad de rehabilitación después de haber ocurrido el evento sísmico.

El diseño de las conexiones viga - columna es considerado el aspecto más crítico dentro del diseño de un edificio de hormigón armado situado en zonas de alto riesgo sísmico, sobre todo en aquellas estructuras que carecen de diafragmas o elementos similares capaces de disipar la fuerza sísmica. La ocurrencia de sismos en los últimos años a nivel mundial, ha evidenciado que muchas de las estructuras que colapsaron durante estos eventos, lo hicieron por problemas constructivos o por deficiencias en el detallado del refuerzo de las uniones viga - columna. El deterioro de la rigidez en las conexiones viga - columna conduce a grandes desplazamientos en la estructura que impiden que se desarrollen mecanismos de disipación de energía, poniendo en peligro la integridad de la misma [8].

En el caso de las uniones viga - columna de hormigón armado reforzadas con barras de PRFV, en la última década se han realizado varios estudios experimentales para evaluar su comportamiento ante carga cíclica inversa [9-12]. Los principales resultados arrojados fueron, que las uniones reforzadas con barras de PRFV exhibieron una menor disipación de energía y una menor rigidez lateral, comparadas con las uniones reforzadas con acero. Que en la mayoría de los casos, las uniones reforzadas con PRFV alcanzan relaciones de derivas laterales del 3%, lo que satisface el nivel mínimo de derivas para pórticos resistentes a momentos y que en la medida que se incrementa el nivel de esfuerzo a cortante en la zona de la unión, existe una mayor probabilidad de que el fallo se traslade de la viga hacia el nudo.

En los últimos años se han incrementado a nivel internacional las investigaciones asociadas al estudio del comportamiento de uniones viga - columna de hormigón armado ante la presencia de carga de sismo, empleando modelos matemático - computacionales que, una vez calibrados a partir de resultados experimentales, permiten evaluar disímiles fenómenos sin acudir a la elaboración de nuevos ensayos con los consecuentes costos que implican.

En el campo de los estudios teóricos - computacionales que evalúan el comportamiento ante carga de sismo de uniones viga - columna de hormigón armado con barras de PRFV, no son muchas las investigaciones

que hasta la fecha se reportan [13-16], sobre todo si se comparan con los estudios similares en uniones reforzadas con acero. A partir de ello, el presente trabajo tiene como objetivo fundamental, comparar el desempeño ante carga de sismo, de dos uniones exteriores viga - columna de hormigón armado: una reforzada con barras de acero y otra reforzada con barras de PRFV, mediante la aplicación de técnicas de modelación numérica.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO FÍSICO

El programa experimental empleado en esta investigación fue desarrollado por [17] en la Universidad de Manitoba en Winnipeg, Canadá. El objetivo del programa experimental consiste en evaluar el comportamiento ante carga de sismo de uniones exteriores viga - columna de hormigón armado con acero y barras de PRF, para comparar y establecer sus principales diferencias.

Se construyeron y probaron hasta que fallaron ocho prototipos de uniones viga - columna. La figura 1 muestra las dimensiones generales de un prototipo de prueba de unión viga - columna a ensayar, donde la viga tiene 2100 mm de largo, con 350 × 450 mm de sección transversal y la columna tiene 3650 mm de longitud, con una sección transversal de 350 × 500 mm.

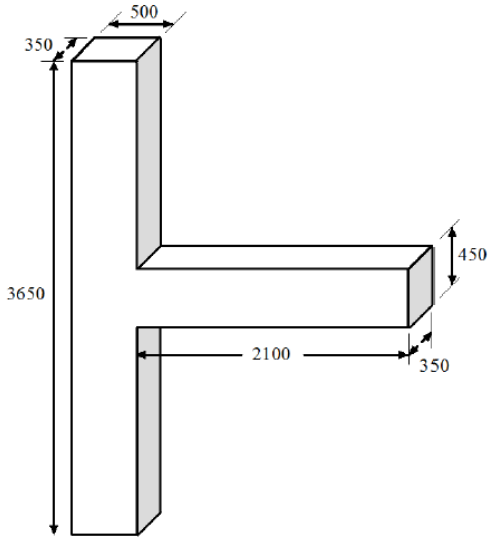



Figura 1. Geometría de la unión exterior viga - columna [17].

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó como objeto de estudio la muestra patrón reforzada completamente con barras de acero (SS03-B06-J06) y una muestra reforzada completamente con barras de PRFV (GG17-B11-J12), que presenta una cuantía de refuerzo a flexión en la viga de $\rho/\rho_b = 1{,}7$ y una relación de refuerzo transversal en la viga de 1,1% y en la zona de la unión de 1,2% respectivamente. La configuración de refuerzo correspondiente para ambas uniones se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción del refuerzo de la unión reforzada con acero y de la unión reforzada con PRFV [17].

| **Tipo de unión** | **Refuerzo de Viga** | | **Refuerzo de Columna** | |
|---|---|---|---|---|
| | **Refuerzo longitudinal** | **Cercos** | **Refuerzo longitudinal** | **Cercos** |
| **Unión con acero** | 5 No.20 en la zona superior e inferior | 2 ramas No.10 @100mm | 8 No.15 distribuidas en todo el perímetro | 3 ramas No.10 @90mm |
| **Unión con PRFV** | 5 No.19 en la zona superior e inferior | 3 ramas No.13 @100mm | 8 No.19 distribuidas en todo el perímetro | 3 ramas No.13 @90mm |

Todas las muestras fueron ensayadas con la columna colocada horizontalmente y la viga vertical, posición girada $90^0$ con respecto a la condición real. Se aplicó una carga cíclica en la punta de la viga a través de un actuador totalmente dinámico, de 1000 kN de capacidad y ± 250 mm de desplazamiento. Se les aplicó a

todas las uniones una carga axial de compresión constante en la columna con un valor de 800 kN y seguidamente se aplica la carga cíclica a la viga mediante la fase de desplazamiento controlado, siguiendo las recomendaciones del código estadounidense [18].

Con relación al principal resultado del ensayo realizado a la unión reforzada con acero (SS03-B06-J06), se muestra en la figura 2, la curva de histéresis que representa el comportamiento ante carga de sismo en términos de fuerza contra deriva de la unión viga - columna de hormigón armado. Se puede observar en dicha figura (Figura 2) que la muestra ensayada alcanzó la capacidad máxima de carga lateral de aproximadamente 178 kN, en el primer ciclo del paso de carga con una relación de deriva del 5 %.

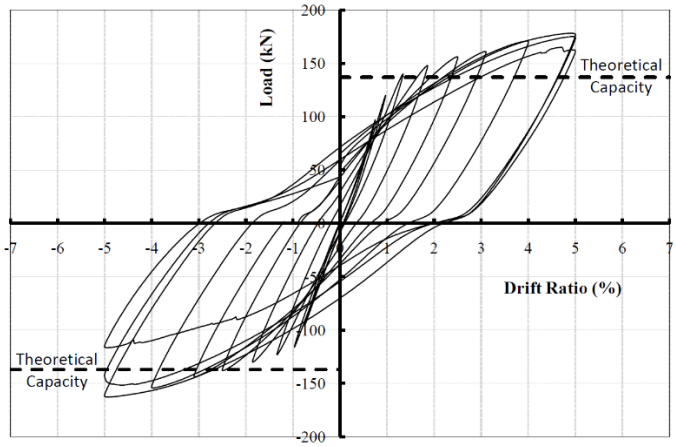



Figura 2. Curva de comportamiento de histéresis de la unión reforzada con acero [17].

En el caso del ensayo realizado a la unión reforzada con barras de PRFV (GG17-B11-J12), se muestra en la figura 3, el comportamiento de la curva de histéresis ante la carga cíclica aplicada. Se puede observar en dicha figura (Figura 3) que la muestra ensayada alcanzó la capacidad máxima de carga lateral de 150 kN para un nivel de deriva del 4% y a partir de ese valor, se experimentó un fallo en la unión producto del aplastamiento a compresión del hormigón.

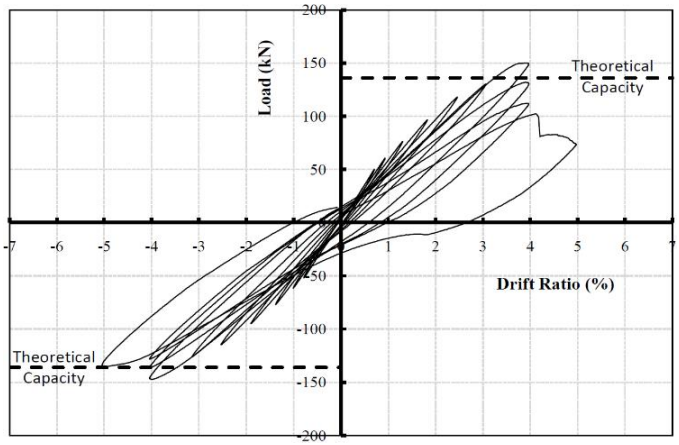



Figura 3. Curva de comportamiento de histéresis de la unión reforzada con PRFV [17].

## 3. MODELACIÓN COMPUTACIONAL DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LAS UNIONES

En el presente trabajo se realizaron dos modelos numéricos con el empleo del programa ABAQUS/CAE en su versión 2017, con la finalidad de reproducir los ensayos experimentales ante carga de sismo simulada de la unión exterior viga - columna de hormigón armado con barras de acero (SS03-B06-J06) y de la unión exterior reforzada con barras de PRFV (GG17-B11-J12), ambos realizados por [17] en su investigación.

Como parte de la modelación fueron definidas la geometría, materiales, condiciones de borde, mallado del dominio y carga aplicada.

**Geometría**

Las uniones viga - columna constituyen una estructura de hormigón que fueron modeladas como un sólido 3D homogéneo y deformable de dimensiones finitas, mientras que las barras longitudinales y los estribos del refuerzo de acero y de PRFV fueron idealizados en 3D, pero como estructuras tipo cable (Wire).

**Materiales**

En el caso del acero de refuerzo, se empleó un modelo bilineal elasto - plástico, donde se tuvo en cuenta un incremento gradual de la tensión del acero a partir del valor de su tensión de fluencia, para tener en cuenta el efecto de endurecimiento del acero por deformación. En la tabla 2 se muestran las propiedades físico - mecánicas del acero de refuerzo que se emplearon en la modelación computacional.

Tabla 2. Propiedades físico - mecánicas de las barras de acero empleadas en el modelo.

| Densidad ($kN/m^3$) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Tensión de fluencia (MPa) | Deformación de fluencia | Coeficiente de Poisson |
|---|---|---|---|---|
| 78,50 | $2 \cdot 10^5$ | 460 | 0,0023 | 0,3 |

Para modelar el material PRFV, se empleó un modelo constitutivo lineal y elástico hasta la rotura, a partir de la naturaleza del comportamiento ante esfuerzos de tracción de los materiales de PRF. En la tabla 3 se muestran las propiedades físico - mecánicas del refuerzo de PRFV que se emplearon en la modelación computacional.

Tabla 3. Propiedades físico - mecánicas de las barras de PRFV empleadas en el modelo.

| Barra de PRFV | Densidad ($kN/m^3$) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Resistencia límite a tracción (MPa) | Coeficiente de Poisson |
|---|---|---|---|---|
| No.13 | 19,90 | 46300 | 590* | 0,2 |
| No.19 | 19,90 | 47600 | 728 | 0,2 |

*Debido a que la barra No. 13 se emplea para los estribos, se asume en la investigación [17], que la resistencia a tracción de las barras dobladas de PRFV es el 75% de la resistencia a la tracción de las barras rectas de PRFV, debido a que las barras dobladas de PRFV experimentan una pérdida de resistencia con relación a las barras rectas.

Para simular la respuesta no lineal del material hormigón, se empleó el Modelo de Daño Plástico (MDP). Este modelo depende de un conjunto de parámetros constitutivos y de las curvas de comportamiento en compresión y tracción uniaxial del hormigón [19]. Los parámetros del Modelo de Daño Plástico definidos en el programa ABAQUS/CAE se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros constitutivos del Modelo de Daño Plástico del hormigón.

| Ángulo de dilatancia ($\psi$) | Factor de Forma ($K_c$) | $\sigma_{b0}/\sigma_{c0}$ | Excentricidad ($\in$) | Parámetro de Viscosidad ($\mu$) |
|---|---|---|---|---|
| 35º | 0,67 | 1,16 | 0,1 | 0,0005 |

El comportamiento a compresión del hormigón está definido mediante el modelo propuesto por [20], cuya expresión analítica se define en la ecuación 1, donde $f'_c$ es la resistencia a compresión del hormigón, que es igual a 32 MPa; $\varepsilon_c$ es la deformación en compresión del hormigón y $\varepsilon_o$ es la deformación alcanzada para la máxima resistencia a compresión que es igual a 0,002.

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^2\right] \qquad (1)$$

El comportamiento a tracción del hormigón está definido según el modelo del código [21], donde se caracteriza por presentar un comportamiento lineal y elástico para el hormigón no fisurado, hasta donde se alcanza el valor de la máxima resistencia a la tracción, la cual pude ser estimada según la ecuación 2.

$$f_{ctm} = f_{ctko.m}\left(\frac{f_{ck}}{f_{cko}}\right)^{2/3} \quad (2)$$

En la ecuación 2, $f_{ctm}$ es la resistencia media a la tracción del hormigón, $f_{ctko.m} = 1{,}40\ MPa$, $f_{cko} = 10\ MPa$ y $f_{ck}$ es la resistencia característica a compresión del hormigón. El módulo de deformación longitudinal del hormigón ($E_c$) se determinó basándose en la ecuación 3, a partir del modelo propuesto por [20] y su coeficiente de Poisson se definió igual a $\nu = 0{,}2$.

$$E_c = 4500\sqrt{f'c} \quad (3)$$

Para el comportamiento del hormigón fisurado, se adopta un modelo tensión de tracción ($\sigma_{ct}$) contra abertura de fisura ($w$), que aparece representado en la figura 4 y que responde a las expresiones analíticas de las ecuaciones 4 a la 7, según el código [21].

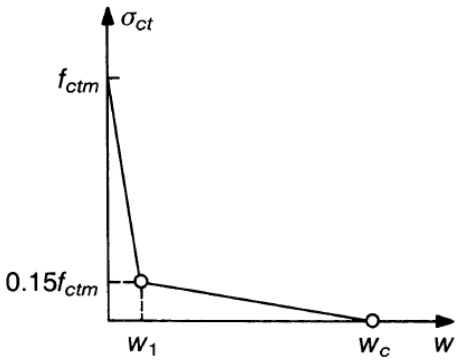



Figura 4. Curva tensión de tracción del hormigón contra ancho de fisura [21].

$$\sigma_{ct} = f_{ctm}\left(1 - 0{,}85\frac{w}{w_1}\right)\ para\ \ 0{,}15f_{ctm} \le \sigma_{ct} \le f_{ctm} \quad (4)$$

$$\sigma_{ct} = \frac{0{,}15f_{ctm}}{w_c - w_1}(w_c - w)\ para\ \ 0 \le \sigma_{ct} < 0{,}15f_{ctm} \quad (5)$$

$$w_1 = 2\frac{G_F}{f_{ctm}} - 0{,}15w_c \quad (6)$$

$$w_c = \alpha_F \frac{G_F}{f_{ctm}} \quad (7)$$

En las ecuaciones anteriores, $G_F$ es la energía de fractura, que se determina $G_F = G_{Fo}\left(\frac{f_{cm}}{f_{cmo}}\right)^{0{,}7}$, donde $f_{cmo} = 10\ MPa$, $G_{Fo}$ es el valor base de la energía de fractura, $f_{cm}$ es la resistencia media a compresión del hormigón y $\alpha_F$ es un coeficiente que depende del tamaño máximo del árido.

**Modelo de las interacciones**

Las armaduras de refuerzo de acero y de PRFV se declaran embebidas en la masa de hormigón por medio de la opción Embedded Elements [22], opción que se define como una restricción y para ello es necesario declarar una región como embebida (Embedded Region) y la otra como anfitrión (Host Region). Esta técnica elimina los grados de libertad traslacionales del elemento embebido (las barras de refuerzo de acero y de PRFV) y los hacen corresponder con los del elemento anfitrión (el hormigón), simulando así una adherencia perfecta entre el hormigón y las barras de acero y PRFV respectivamente.

**Condiciones de borde y cargas aplicadas**

Con relación a las condiciones de borde de los modelos de las uniones, en el extremo donde se aplica la carga axial en la columna se restringió el desplazamiento en Y y en Z, mientras que en el otro extremo de la columna se restringió el desplazamiento en las tres direcciones, o sea, en X, Y y Z. En ambos extremos de la columna no se restringen las rotaciones, tal y como se realizaron en los ensayos. En los modelos se tuvieron en cuenta dos tipos de cargas aplicadas. Primeramente, se aplicó una carga axial de compresión en la columna, semejante a la del ensayo con un valor de 800 kN, en forma de presión sobre el área de la sección transversal de la misma, a través del módulo Step mediante un análisis de Static General [22] y seguidamente, se aplicó en la viga, una carga monotónica incremental en forma de desplazamiento controlado, para simular el efecto de la carga de sismo aplicada en las uniones y obtener la envolvente positiva de la curva de histéresis, ya que la curva obtenida bajo cargas monotónicas, resulta en una envolvente de las curvas bajo carga cíclica [23-25]. Este tipo de carga fue realizado igualmente a través del módulo Step mediante un análisis Dynamic Implicit [22]. En la figura 5 se muestran las condiciones de borde y las cargas aplicadas en los modelos de las uniones objeto de estudio.

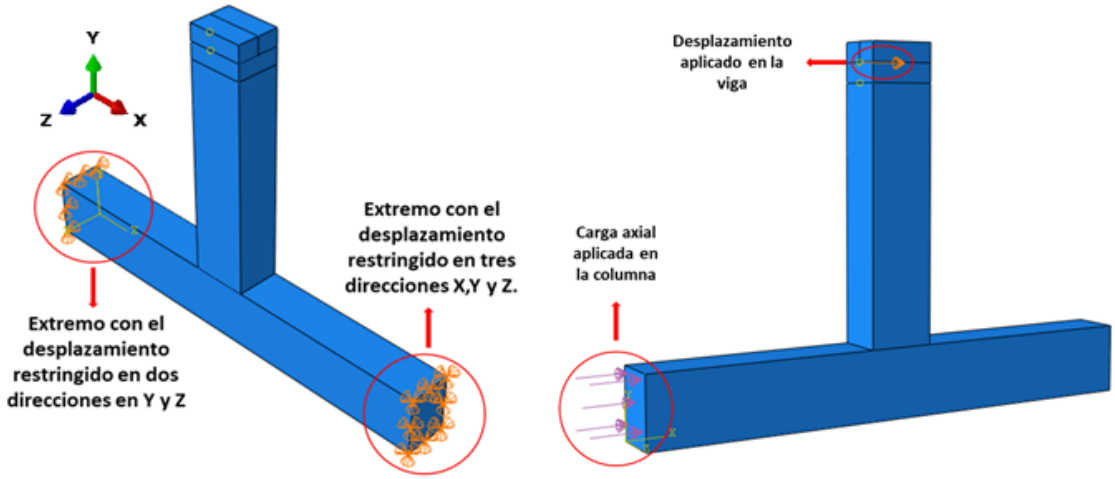


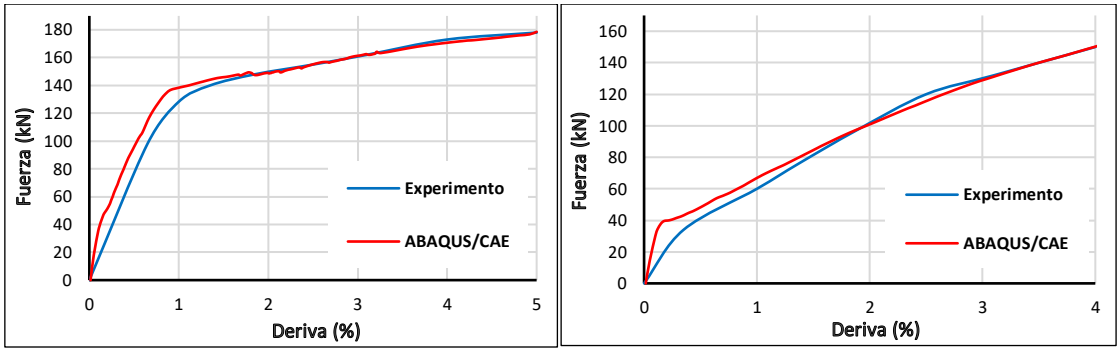

Figura 5. Condiciones de borde y cargas aplicadas en los modelos de las uniones.

**Calibración del modelo**

El objetivo de la calibración matemática del modelo radica en la determinación de los dos parámetros óptimos asociados al mallado que se emplearon: tipo de elemento finito y densidad de malla. Los tipos de elementos adoptados en el modelo de la unión reforzada con acero fueron el T3D2 para las barras de acero y el C3D8 para el hormigón, puesto que este último fue el que menor error relativo arrojó (0,63%) con respecto al resultado de la fuerza máxima registrada en el ensayo. En el caso del modelo de la unión reforzada con PRFV, los tipos de elementos adoptados fueron el T3D2 para las barras de PRFV y el C3D4 para el hormigón, puesto que este último fue el que menor error relativo arrojó (0,29%) con respecto al resultado de la fuerza máxima registrada en el ensayo. Para determinar la densidad de malla óptima, se establecieron ocho valores de densidades de malla (desde 100 mm hasta 30 mm) y se realizaron corridas, analizando el error relativo de la fuerza máxima registrada en el modelo con respecto a la fuerza máxima registrada en el ensayo. En este sentido, para el modelo de la unión reforzada con acero, se escogió como tamaño definitivo de malla el valor de 50 mm, ya que fue el que menor error relativo arrojó (0,63%) con respecto al resultado del experimento; mientras que en el caso del modelo de la unión reforzada con PRFV, se escogió como tamaño definitivo de malla el valor de 70 mm, ya que fue el que menor error relativo arrojó (0,21%) con respecto al resultado de la fuerza máxima registrada en el ensayo.

También se realizó el proceso de calibración física a ambos modelos y en este caso, se tuvo en cuenta la resistencia a compresión del hormigón y la fuerza máxima registrada en el ensayo, con el objetivo de lograr una mayor convergencia entre los resultados. En este sentido, se calibró el modelo constitutivo elasto -

plástico del hormigón a partir de generar curvas de comportamiento con el valor medio de la resistencia a compresión y los extremos del intervalo generado, a partir de establecer una desviación estándar de 2,4 MPa para dicho parámetro, y así, poder determinar la fuerza máxima registrada en la unión como variable respuesta. Con los resultados anteriores, se estimó la posible resistencia a compresión del experimento a través de un análisis inverso y se simuló el ensayo con esas nuevas condiciones para compararlo con los resultados obtenidos en el experimento real. En la figura 6 se muestra, para ambos modelos realizados, la comparación de la curva envolvente positiva de la histéresis de la unión obtenida en el ensayo y de la curva envolvente obtenida mediante la modelación computacional.




a) b)

Figura 6. Comparación entre la curva envolvente del ensayo y la envolvente del modelo computacional. a) Unión reforzada con acero y b) Unión reforzada con PRFV.

## 4. RESULTADOS

### Comparación del desempeño ante carga de sismo de la unión reforzada con acero y la unión reforzada con barras de PRFV

A continuación, se presentan resultados del desempeño ante carga de sismo, basados en la modelación numérica realizada, de la unión viga - columna reforzada con barras de acero y la unión viga - columna reforzada con barras de PRFV, con el objetivo de realizar una comparación entre el comportamiento de ambas uniones. El análisis se realiza, primeramente, comparando el comportamiento general de la unión ante carga de sismo, a través de los resultados referidos a: capacidad de carga, degradación de rigidez e índice de daño de las conexiones, y en segundo lugar, se compara el comportamiento de las barras longitudinales de la viga, a través de los resultados referidos a: nivel de tensión alcanzado en las barras, nivel de deformación desarrollado en las barras y nivel de disipación de energía proporcionado en las barras longitudinales de la viga de ambas uniones.

### Curva de capacidad de carga de las uniones

En la figura 7, se muestra el comportamiento de las curvas de la envolvente positiva del grafico de histéresis del modelo de la unión reforzada con acero y del modelo de la unión reforzada con barras de PRFV. En dicha figura se puede observar cómo, hasta aproximadamente un nivel de capacidad de carga de 40 kN, el comportamiento de ambas curvas es similar; sin embargo, a partir de dicho de valor, la envolvente del modelo de la unión reforzada con acero experimenta valores superiores de capacidad de carga, para todos los niveles de deriva realizados en el ensayo. En este caso, la mayor diferencia de capacidad de carga de la unión reforzada con acero con respecto a la unión reforzada con PRFV, se da para el nivel de deriva del 1%, con un valor de 107% aproximadamente. También se puede observar en la figura 7, para el modelo de la unión reforzada con acero, producto de la entrada en fluencia del refuerzo longitudinal de la viga, a partir de la deriva del 1%, empieza a reducirse la diferencia de capacidad de carga con relación al modelo de la unión reforzada con barras de PRFV, a tal punto, que para el nivel de deriva del 4%, la diferencia entre los valores de capacidad de carga de ambas uniones es de 14% aproximadamente. Es importante señalar, que ambas uniones cumplen el criterio de aceptación para pórticos resistentes a momentos que se plantea en el código estadounidense [18], ya que al menos las tres cuartas partes de su máxima capacidad de carga se da para niveles iguales o superiores al nivel de deriva del 3,5%.

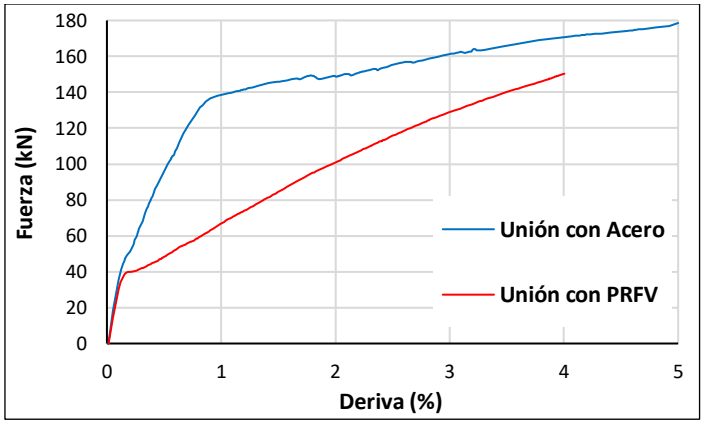



Figura 7. Curvas de capacidad de carga de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

**Degradación de rigidez de las uniones**

En la figura 8, se muestra el comportamiento de la degradación de rigidez del modelo de la unión reforzada con barras de acero y del modelo de la unión reforzada con barras de PRFV, en la medida que se incrementan los niveles de deriva de la carga aplicada. En el caso de la unión reforzada con acero, para todos los niveles de deriva, se observan mayores valores de rigidez con relación a la unión reforzada con barras de PRFV. Lo anterior se debe fundamentalmente al mayor valor que presenta el módulo de elasticidad de las barras de acero comparado con el módulo de elasticidad del refuerzo de PRFV. En este sentido, la mayor diferencia obtenida de rigidez entre ambas uniones se da para el nivel de deriva del 1%, con una diferencia de 113% aproximadamente, lo cual es lógico, porque coincide con la etapa donde el acero de refuerzo todavía no ha experimentado la fluencia y por lo tanto, no ha comenzado una gran pérdida de rigidez en la unión reforzada con acero. También se puede observar en la figura 8, como a partir de la deriva del 2%, empieza a reducirse la diferencia de valores de rigidez del modelo de la unión reforzada con acero con relación al modelo de la unión reforzada con barras de PRFV, precisamente por la entrada en fluencia del acero de refuerzo, a tal punto, que para el nivel de deriva del 4%, la diferencia entre los valores de rigideces de ambas uniones es de 12,1% respectivamente.

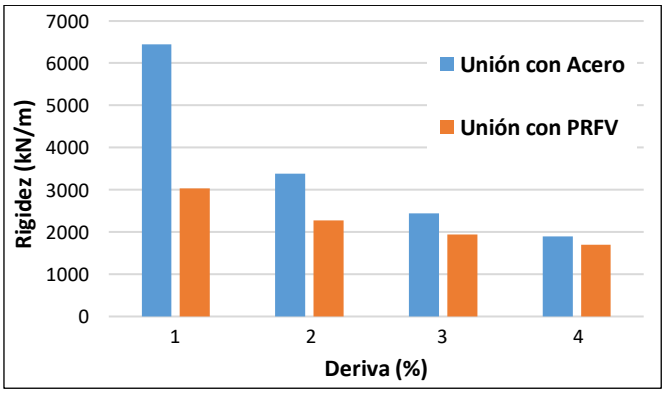



Figura 8. Degradación de rigidez de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

**Índice de daño en las uniones**

En la figura 9, se muestra el comportamiento del índice de daño del modelo de la unión reforzada con barras de acero y del modelo de la unión reforzada con barras de PRFV, en la medida que se incrementan los niveles de deriva de la carga aplicada. Como es lógico, se observa como en la medida que se incrementa el nivel de deriva, se obtienen mayores valores de índice de daño en las uniones, precisamente debido a la degradación de rigidez que se manifiesta en cada incremento del nivel de deriva. Se puede observar como

la unión reforzada con barras de PRFV presenta mayores valores de índice de daño, con relación a la unión reforzada con acero para los niveles de deriva del 1% y 2% respectivamente; mientras que para los niveles de deriva de 3% y 4%, es la unión reforzada con barras de acero la que presenta ligeramente mayores valores de índice de daño. Lo anterior sucede porque, en el caso de la unión reforzada con acero, a partir de la entrada en fluencia del acero de refuerzo de la viga (a partir del 1% de deriva), los valores de rigidez de la unión empiezan a disminuir de una manera mucho más rápida con relación a los valores de rigidez de la unión reforzada con barras de PRFV, lo que provoca que las diferencias entre valores de rigideces de ambas uniones se vayan acortando, a tal punto que a partir del nivel de deriva del 3%, la unión reforzada con acero presenta una mayor degradación de rigidez con respecto a la rigidez inicial que presenta dicha unión antes de su fisuración y por ende, muestra mayor índice de daño a partir del nivel de deriva del 3%.

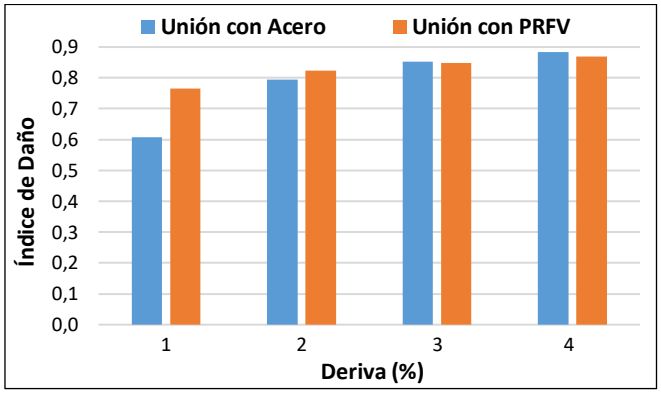



Figura 9. Índice de daño de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

**Nivel de tensión de las barras longitudinales de la viga en las uniones**

En la figura 10, se muestra el comportamiento de los niveles de tensión de tracción que alcanza el refuerzo longitudinal de la viga, en la medida que se incrementan los niveles de deriva de la carga aplicada, tanto para la unión reforzada con barras de acero, como para la unión reforzada con barras de PRFV. En dicha figura se puede observar como el comportamiento de las barras de acero es lineal - elástico hasta su tensión de fluencia (460 MPa) y a partir de ahí, experimenta un comportamiento marcadamente plástico con un incremento gradual de su tensión producto del endurecimiento por deformación del acero; mientras que en el caso del refuerzo de PRFV, se observa su comportamiento lineal - elástico hasta el fallo de la unión. También se puede observar, como para el nivel de deriva del 4%, el refuerzo longitudinal de PRFV de la viga, presenta un nivel de tensión de tracción superior al del refuerzo de acero, lo que se traduce en que las uniones reforzadas con PRFV, pueden soportar sin fallar, niveles considerados de carga sísmica (derivas superiores al 3%), experimentando niveles elevados de tensión de tracción en el refuerzo de PRFV.

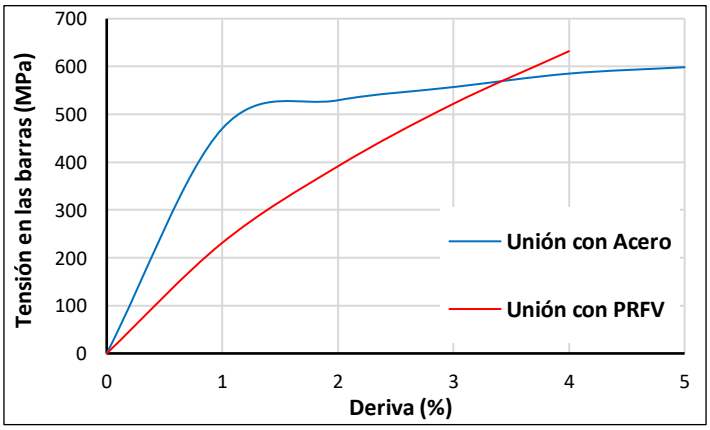



Figura 10. Niveles de tensión en el refuerzo longitudinal de la viga de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

**Nivel de deformación de las barras longitudinales de la viga en las uniones**

En la figura 11, se muestra el comportamiento de los niveles de deformación de tracción que alcanza el refuerzo longitudinal de la viga, en la medida que se incrementan los niveles de deriva de la carga aplicada, tanto para la unión reforzada con barras de acero, como para la unión reforzada con barras de PRFV. En la figura se puede observar como hasta el nivel de deriva del 1%, las deformaciones del refuerzo longitudinal de la viga en ambas uniones prácticamente son iguales; sin embargo, a partir de la deriva del 2%, las deformaciones del refuerzo de acero comienzan a ser significativamente superiores a las deformaciones de las barras de PRFV, debido a la entrada en fluencia y el marcado comportamiento plástico del acero de refuerzo, lo que hace que experimente grandes valores de deformaciones remanentes. Es importante destacar, que el hecho de que en el refuerzo de PRFV no se experimenten deformaciones plásticas remanentes, hace que las capacidades de autorecuperación de este material sean considerables, lo que resulta en una menor necesidad de rehabilitación después de haber ocurrido el evento sísmico.

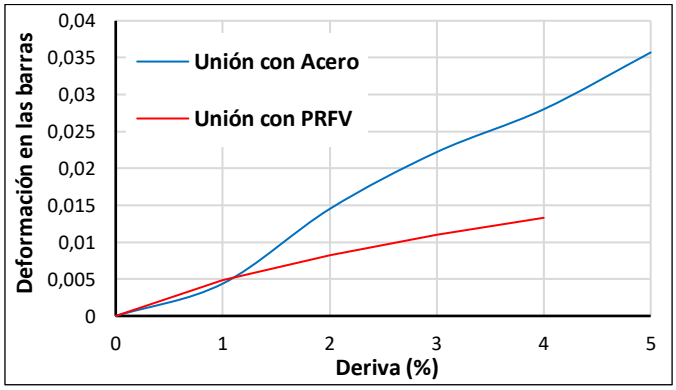



Figura 11. Niveles de deformación en el refuerzo longitudinal de la viga de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

**Disipación de energía de las barras longitudinales de la viga en las uniones**

En la figura 12, se muestra el comportamiento de los niveles de disipación de energía que experimenta el refuerzo longitudinal de la viga, en la medida que se incrementan los niveles de deriva de la carga aplicada, tanto para la unión reforzada con barras de acero, como para la unión reforzada con barras de PRFV. Como es evidente, enseguida que el acero de refuerzo entra en fluencia (a partir de la deriva del 1%), empieza a experimentar deformaciones plásticas significativas, lo que hace que la disipación de energía se incremente de manera notable con relación a la disipación de energía proporcionada por el refuerzo de PRFV, que se debe solamente a las deformaciones elásticas que experimenta. En ese sentido, solamente hasta el nivel de deriva del 1%, se puede afirmar que ambos refuerzos proporcionan similares niveles de disipación de energía, ya que ambos materiales se encuentran trabajando en el régimen elástico de su comportamiento.

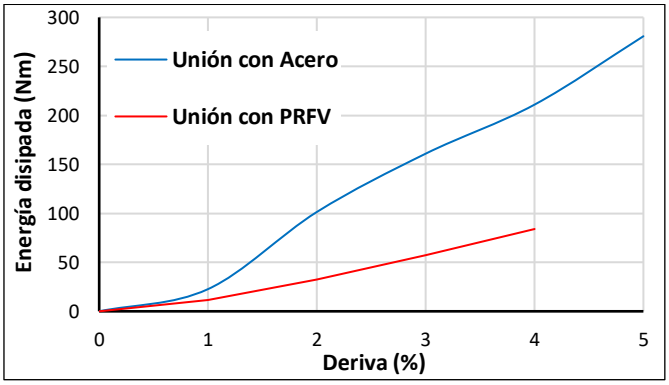



Figura 12. Disipación de energía en el refuerzo longitudinal de la viga de la unión reforzada con barras de acero y de la unión reforzada con barras de PRFV.

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos a través de la realización de dos modelos numéricos que simulan el ensayo ante carga de sismo de uniones exteriores de hormigón armado: una reforzada con barras de acero y otra reforzada con barras de PRFV, se extraen las siguientes conclusiones:

- La unión reforzada con acero posee para todos los niveles de deriva mayor capacidad de carga que la unión reforzada con PRFV, aunque ambas uniones cumplen con el criterio del código [18], de que al menos las tres cuartas partes de su máxima capacidad de carga se da para niveles iguales o superiores al nivel de deriva del 3,5%.
- La unión reforzada con acero posee para todos los niveles de deriva mayores valores de rigidez con relación a la unión reforzada con PRFV; sin embargo, la unión reforzada con acero presenta mayor índice de daño para los niveles superiores de deriva, ya que presenta mayor degradación de rigidez con respecto a su valor inicial.
- Para los niveles superiores de deriva, el refuerzo longitudinal de PRFV en la viga, alcanza valores de tensión de tracción iguales o superiores a los alcanzados por el refuerzo de acero, lo que permite que el refuerzo de PRFV soporte carga sísmica sin fallar con elevados niveles de esfuerzo.
- Producto de las deformaciones plásticas significativas que experimenta el acero de refuerzo, los niveles de disipación de energía proporcionados por las barras de acero longitudinales de la viga, son considerablemente superiores, a los niveles de disipación de energía que proporciona el refuerzo longitudinal de PRFV de la viga.

## 6. REFERENCIAS

1- MOHAMMAD, Mu'taz. "Performance evaluation of high-strength concrete circular columns reinforced with GFRP bars and spirals". Tesis de maestría, Universidad de Manitoba. Winnipeg, Canadá. 2021.
2- GHOMI KHALILI, Shervin "Seismic Performance of GFRP-RC Beam-Column and Beam-Column-Slab Subassemblies." Tesis de doctorado, Universidad de Manitoba. Winnipeg, Canadá. 2019.
3- GHOMI, S; EL-SALAKAWY, E. "Seismic behavior of GFRP-reinforced concrete interior beam–column–slab subassemblies." *Journal of composites for construction.* ASCE. 2019. Vol 23, núm. 6.
4- NAQVI, S. EL-SALAKAWY, E. "Lap splice in GFRP-RC rectangular columns subjected to cyclic-reversed loads." *Journal of composites for construction.* ASCE. 2017. Vol 21, núm. 4.
5- ALAJARMEH, O., MANALO, A., BENMOKRANE, B., KARUNASENA, W. MENDIS, P. "Axial performance of hollow concrete columns reinforced with GFRP composite bars with different reinforcement ratios." *Composite Structures.* 2019. Vol 213. pp 153–164.
6- ARAFA, A., FARGHALY, A. BENMOKRANE, B. "Experimental behavior of GFRP-reinforced concrete squat walls subjected to simulated earthquake load." *Journal of composites for construction.* ASCE. 2018. Vol 22, núm 2.
7- HASSANEIN, A., MOHAMED, N., FARGHALY, A. BENMOKRANE, B. "Experimental investigation: New ductility-based force modification factor recommended for concrete shear walls reinforced with GFRP bars." *ACI Structural Journal.* 2019. Vol 116, núm 1. pp 213–224.
8- GUTIÉRREZ BLANCO, Sergio. "Evaluación del comportamiento bajo cargas cíclicas de conexiones viga-columna de concreto reforzado con reforzamiento anclado con adhesivos". Director: Nancy Torres. Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2019.
9- GHOMI, S., EL-SALAKAWY. E. "Seismic performance of GFRP-RC exterior beam–column joints with lateral beams." *Journal of composites for construction*. 2016. Vol 20, núm. 1.
10- HASABALLA, M. EL-SALAKAWY, E. "Anchorage Performance of GFRP Headed and Bent Bars in Beam-Column Joints Subjected to Seismic Loading". *Journal of composites for construction*. ASCE. 2018. Vol 22, núm. 6.
11- GHOMI, S., EL-SALAKAWY, E. "Effect of joint shear stress on seismic behaviour of interior GFRP-RC beam column joints." *Engineering Structures*. 2019. Vol. 191. pp 583–597.
12- MUHAMMAD, S. NEAZ, M. MUHAMMAD, N. "Glass Fiber-Reinforced Polymer-Reinforced Beam-Column Connections with Novel Connection Details". *ACI Structural Journal.* 2022. Vol 119, núm. 2.
13- BALAMURALIKRISHNAN, R. SARAVANAN, J. "Finite Element Analysis of Beam – Column Joints Reinforced with GFRP Reinforcements". *Civil Engineering Journal.* 2019. Vol 5, núm. 12.

14- KYTINOU, V. K., KOSMIDOU, P. K., CHALIORIS, C. "Numerical Analysis Exterior RC Beam-Column Joints with CFRP Bars as Beam's Tensional Reinforcement under Cyclic Reversal Deformations". *Applied Sciences.* 2022. Vol 12.
15- EL-MANDOUH, M., MOSTAFA, S., ELNAGGAR, M., EL-MAULA, A. "Cyclic Behavior of High-Strength Lightweight Concrete Exterior Beam-Column Connections Reinforced with GFRP". *Applied Sciences.* 2021. Vol 12.
16- MOHAMED, S., RIHAM, K., EMAN, E., MAHMOUD, Z. "Structural efficiency of fly-ash based concrete beam-column joint reinforced by hybrid GFRP and steel bars". *Construction Materials*. 2024. Vol. 20.
17- MOHAMED Hassan. "Seismic Behaviour of Exterior Beam-Column Joints Reinforced with FRP Bars and Stirrups". Tesis de doctorado. Universidad de Manitoba. Winnipeg, Canadá. 2011.
18- ACI 374. *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*. Reported by ACI Committee 374. American Concrete Institute. 2005.
19- OLLER, S. "Modelo de Daño Plástico". *Mecánica de la Fractura. Enfoque Global*. 2001. pp. 174-187. Barcelona, España: CIMMNE.
20- KENT, D. C. PARK, R. "Flexural members with confined concrete". *Journal of the structural division.* 1971. Proceedings of the American Society of the Civil Engineers.
21- CEB - FIP. *Model Code for Concrete Structures*. Comité Euro - International Du Béton. Gran Bretaña. 1991.
22- ABAQUS Analysis User's Manual. *Dassault Systems Simulia Corp. Providence*. 2017. RI, Estados Unidos.
23- KAVIANI, A., DABIRI, H., & KHEYRODDIN, A. "Effect of beam and column dimensions on the behavior of RC beam-column joints". *Asian Journal of Civil Engineering.* 2021.
24- SABAH, H. HARBA, I. (2022). "Numerical Analysis of Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joints Under Limited Cycles of Repeated Loading". *Diyala Journal of Engineering Sciences.* 2022. Vol 15, núm 4. pp 108-129.
25- ABUSAFAQA, F. R., SAMAANEH, M. A. DWAIKAT, M. B. "Improving ductility behavior of sway-special exterior beam-column joint using ultra-high performance fiber-reinforced concrete". *Structures.* 2022. Vol 36. pp 979-996.

## SOBRE LOS AUTORES

**Omar Zamora Díaz-Comas.** Ingeniero Civil. Máster en Ciencias. Profesor Asistente de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Imparte asignaturas relacionadas con el Diseño de Hormigón Estructural y Mampostería. Pertenece al grupo de Investigación de Hormigón y Mortero armado con Polímeros Reforzados con Fibras (PRF), perteneciente al Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT). Forma parte del subcomité dentro del Comité Técnico de Normalización NC/CTN 38 que elaboró la propuesta de Norma Cubana "Edificaciones y Obras Civiles — Diseño y Construcción de Componentes de Hormigón Armado Reforzado con PRF — Requisitos". Pertenece a la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros Civiles de Cuba (UNAICC).

**Diana Alicia Toro Toro.** Ingeniera Civil. Profesora Adiestrada de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Imparte asignaturas relacionadas con el Diseño de Hormigón y Mampostería. Pertenece al grupo de Investigación de Hormigón y Mortero armado con Polímeros Reforzados con Fibras (PRF), perteneciente al Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT). Pertenece a la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros Civiles de Cuba (UNAICC).

**Marian Rodríguez Pérez.** Ingeniera Civil. Trabaja en la Empresa de Construcción y Montaje ECM, Mariel, en la provincia de Artemisa, Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN Y MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y REFORZADA.

Ing. Jean Carlos Caballero Cruz[1], Dr. Ing. Nelson Fundora Sautié[2], Dr. Ing. Darío Candebat Sánchez[3], Dra. Ing. Janet Otmara Martínez Cid[4]

[1,2,4]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, calle 114 #11901, e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba
[3]Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba

email: nfsautie@gmail.com , nelsonfs@civil.cujae.edu.cu

**Resumen**

La mampostería confinada es utilizada como elemento rigidizador lateral ante carga sísmica, pudiendo ser la misma reforzada. Investigaciones han demostrado que la presencia del refuerzo en los muros confinados garantiza un comportamiento menos frágil a la estructura y controla las derivas y desplazamientos ante cargas laterales cíclicas. En la presente investigación se evalúa el comportamiento estructural de edificaciones porticadas de cuatro niveles bajo carga sísmica rigidizadas con muros de mampostería confinada y mampostería confinada reforzada ubicadas en la provincia de Santiago de Cuba. El objetivo es determinar la influencia del refuerzo en la mampostería confinada en el mecanismo de colapso y el nivel de desempeño. Se considera la interacción dinámica suelo estructura mediante la inclusión de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento de A.E Sargsian y se realiza el análisis no lineal (Pushover) mediante el software Midas Gen v21. Se demuestra que la presencia del refuerzo influye positivamente en el desempeño y el mecanismo de colapso de la estructura según la NC 46:2017.

**Palabras claves:** Mecanismo de colapso, mampostería confinada, nivel de desempeño sísmico.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DEL MECANISMO DE COLAPSO PROGRESIVO DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA SS1 BAJO CARGA DE VIENTO

**MSc. Ing. Gerardo Pérez Martínez[1], Dra. Ing. Patricia Martín Rodríguez[2], Dra. Ing. Vivian Beatriz Elena Parnás[3]**

[1,2,3] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana 19390, Cuba
e-mail: [1] gperezm@civil.cujae.edu.cu, [2] vivian@civil.cujae.edu.cu, [3] patriciamr@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las torres de celosía, usadas como soporte de cables conductores aéreos en tramos de línea de alta tensión, son de gran relevancia para el desarrollo de un país. Estas estructuras son vulnerables frente a fenómenos naturales, especialmente los eventos meteorológicos que reportan altas velocidades de viento. Cuba es un país anualmente azotado por ciclones y huracanes, que han ocasionado el fallo de numerosas torres a lo largo de los años, y donde la carga de viento extremo rige su diseño estructural. El colapso de estas estructuras lleva consigo elevadas pérdidas económicas y sociales, de ahí la importancia de determinar su mecanismo de colapso para lograr diseños más eficientes. Aunque internacionalmente el estudio del colapso progresivo en estructuras ha sido investigado en los últimos años, aún son insuficientes los estudios en torres reticuladas. En este trabajo se identifica el mecanismo de colapso progresivo y la capacidad de redistribución de esfuerzos de un modelo cubano de torre de transmisión eléctrica bajo condiciones de viento extremo en Cuba. Se implementó el método Nacimiento-Muerte (Birth-to-Death) a través de un análisis dinámico en el dominio del tiempo con comportamiento no lineal del material, se utilizó como herramienta el software computacional de análisis estructural SAP2000. Los resultados obtenidos son la determinación de los elementos que detonan el fallo y su propagación hacia otros elementos de la estructura hasta provocar el colapso.

**PALABRAS CLAVES:** torre autosoportada, colapso progresivo, mecanismo de colapso, capacidad de redistribución, viento extremo.

# PROGRESIVE COLLAPSE MECHANISM ANALYSIS OF THE SS1 ELECTRICAL TRANSMISSION TOWER UNDER WIND LOAD

**ABSTRACT**

Lattice towers, used as supports for overhead conductor cables in high-voltage line sections, are of great relevance for the development of a country. These structures are vulnerable to natural phenomena, especially meteorological events that report high wind speeds. Cuba is a country annually battered by cyclones and hurricanes, which have caused the failure of numerous towers over the years, where extreme wind loads govern their structural design. The collapse of these structures leads to significant economic and social losses, highlighting the importance of determining their collapse mechanism to achieve more efficient designs. Although the study of progressive collapse in structures has been researched internationally in recent years, studies on lattice towers are still insufficient. This work identifies the progressive collapse mechanism and the load redistribution capacity of a Cuban model of electrical transmission tower under extreme wind conditions in Cuba. The Birth-to-Death method was implemented through a dynamic time-domain analysis with nonlinear material behavior, using the structural analysis software SAP2000 as a tool. The results obtained include the identification of the elements that trigger failure and their propagation to other elements of the structure until collapse occurs.

**KEYWORDS:** self-supporting tower, progressive collapse, collapse mechanism, stress redistribution capacity, extreme wind.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL MODELO COMPUTACIONAL DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA

**Katia Luis García[1], Vivian Beatriz Elena Parnás[2]**

[1-2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda
[1]e-mail: katial@civil.cujae.edu.cu
[2]e-mail: vivian@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La modelación computacional es ampliamente usada para estudiar el comportamiento de estructuras tales como las torres de telecomunicaciones, sin la certeza de que la predicción del comportamiento estructural sea correcta. Las incertidumbres en la modelación están asociadas a las simplificaciones que se realizan en las invariantes del proceso de modelación: geometría, material, masa, condiciones de borde y la carga aplicada sobre las torres. La vía para eliminar o mitigar dichas incertidumbres es la realización de ensayos a escala real, donde se obtienen entre otras cosas, las características dinámicas y mediante estas se ajusta el modelo hasta lograr correspondencia entre los resultados experimentales y los simulados computacionalmente. En el presente trabajo se realiza un análisis de sensibilidad del modelo computacional de una torre autosoportada mediante el estudio de los parámetros: material, a partir de la evaluación de dos valores de módulo de elasticidad, el tipo de conexión entre elementos con el estudio de tres formas de modelar las conexiones y la variable masa se evaluó con la incorporación o no de los pesos asociados a la tornillería. El estudio de sensibilidad se basó en el análisis de las diferencias de frecuencias naturales y de formas modales con respecto a las obtenidas de un ensayo a escala real. Finalmente se evaluó la influencia de las variables mediante un análisis estadístico con diseño de experimento. La investigación arrojó que el parámetro tipo de conexión es el más influyente en la obtención de un modelo computacional que reproduzca correctamente el comportamiento dinámico de la torre.

**PALABRAS CLAVES:** características dinámicas, incertidumbre, influencia, parámetro.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OBTENCIÓN DE COEFICIENTES AERODINÁMICOS EN SECCIÓN COMPUESTA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA

**Nelson Fundora Sautié[1], Leonardo Romero Monteiro[2], Vivian Beatriz Elena Parnás[3]**

[1]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría/Cuba (CUJAE), [2]Universidade do Estado de Santa Catarina/Brazil (UDESC), [3]Universidad Tecnológica de la Haba-na José Antonio Echeverría/Cuba (CUJAE).

E-mail: nfsautie@gmail.com, nelsonfs@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las características aerodinámicas de las secciones transversales de los elementos utilizados en las torres de celosía de telecomunicaciones son vitales para calcular con precisión las cargas de viento que actúan sobre estas estructuras. Este trabajo tiene como objetivo determinar los coeficientes aerodinámicos en la sección de un miembro formado por dos ángulos de lados iguales como parte de una torre de telecomunicaciones triangular autosoportada. Los coeficientes se determinaron mediante simulaciones de dinámica computacional de fluidos, con el software de código abierto OpenFOAM. Los modelos numéricos se implementaron mediante Simulaciones Navier-Stokes Promediadas por Reynolds, en dos dimensiones a escala reducida con una malla no estructurada, implementando el algoritmo de Ecuaciones Vinculadas Implícitas de Presión. Los modelos numéricos fueron calibrados sobre la base de pruebas experimentales realizadas en un túnel de viento. Para la validación se utilizaron dos tramos adicionales, cuyos coeficientes aerodinámicos se reportan en las normas de carga de viento revisadas. Los resultados muestran una buena concordancia entre los valores de los coeficientes aerodinámicos obtenidos de las pruebas en el túnel de viento y las simulaciones para ángulos de ataque de 0°, 45°, 90°, 135° y 180°. Los coeficientes calculados se utilizan para determinar los valores de carga de viento y fuerza axial sobre los soportes de una torre de celosía triangular autoportante. Se reportaron aumentos de hasta 43,8% y 36,8% en la carga de viento y en los valores de fuerza axial de las reacciones de la torre, respectivamente.

**PALABRAS CLAVES:** Coeficientes aerodinámicos, CFD, simulaciones RANS, modelo de turbulencia k – ωSST, Open FOAM, torres reticuladas

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA LATERAL DE PILOTES HELICOIDALES DE DIÁMETROS PEQUEÑOS.

**Aylín Vargas Leyva[1], Willian Daniel Cobelo Cristiá[2], Gilberto Rodríguez Plascencia[3]**

[1,] University of Holguín, Oscar Lucero, Holguín, Cuba.[2,] Technological University of Havana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Havana, Cuba.[3] University of Ciego de Ávila, Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba.

[2]wcobelo@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La gran versatilidad de los pilotes helicoidales ha permitido una rápida expansión de esta tecnología de cimentación. Su empleo en prácticamente todo tipo de suelo, facilidad y rapidez de instalación le aseguran una amplia aplicación tanto en obras nuevas como en la rehabilitación de estructuras existentes. Su conformación a partir de un fuste de pequeño diámetro con hélices adosadas de diferentes diámetros le permite soportar eficientemente cargas axiales de compresión y tracción, pero frente a cargas laterales quedan limitados por el bajo aporte del fuste en la capacidad de carga. La incorporación de dispositivos mecánicos al pilote ha sido la solución para incrementar la capacidad de soporte lateral del pilote sin incrementar su diámetro. Los métodos numéricos permiten la simulación de la interacción pilote - suelo, tanto en suelos con comportamiento friccionantes como en suelos cohesivos, lo que permite evaluar la influencia de la colocación del dispositivo mecánico. El empleo del software Abaqus/CAE, posibilita la implementación de un modelo en 3D, que considera el trabajo conjunto del pilote, el suelo y el dispositivo que restringe el desplazamiento horizontal del pilote. La presencia de este dispositivo redunda en el incremento de la capacidad de carga lateral del pilote

**PALABRAS CLAVES:** Pilote helicoidal, Capacidad de carga lateral; Modelación numérica, Dispositivo de restricción horizontal.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PENETRACIÓN DINÁMICA SUPERPESADA (DPSH) VS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

**Eddy Hernández Hernández[1], Hector Rodríguez Casariego[2]**

[1]M. Sc. en Ingeniería Geológica, GEOCUBA Estudios Marinos, Punta Santa Catalina, s/n, Regla, La Habana, Cuba, [2]Ingeniero Geólogo, GEOCUBA Estudios Marinos, Punta Santa Catalina, s/n, Regla, La Habana, Cuba
[1]e-mail: edd20009@gmail.com, hector.casariego@icloud.com

**RESUMEN**

El ensayo de penetración dinámica superpesada (DPSH) es un ensayo rápido y relativamente barato, de amplio uso en las investigaciones geotécnicas en Europa y en los últimos años en algunos países latinoamericanos. Sin embargo, la correlación entre los resultados de dicho ensayo y las propiedades físico-mecánicas de los suelos no están bien establecidas. En este trabajo, utilizando los datos de investigaciones realizadas en diferentes sitios de Cuba, se muestran las correlaciones entre los resultados del ensayo de penetración dinámica y el ensayo de penetración estándar (SPT), para suelos granulares y arcillosos, hasta una profundidad de diez metros a partir del nivel del terreno. La vinculación entre estos dos ensayos, ha permitido el uso de las ya bien establecidas relaciones entre las propiedades de los suelos y el ensayo de penetración estándar. Adicionalmente se muestran ejemplos de resultados del uso del ensayo de penetración dinámica superpesada.

**PALABRAS CLAVES:** Investigación geotécnica, ensayo de penetración estándar, ensayo de penetración dinámica, suelos, propiedades.

**ABSTRACT**

The dynamic probing super-heavy test (DPSH) is a fast and relatively inexpensive test widely used in geotechnical investigations in Europe and in recent years in some Latin American countries. However, the correlation between the results of this test and the physical-mechanical properties of soils is not well established. In this work, using data from investigations carried out in different sites in Cuba, the correlations between the results of the dynamic probing super-heavy test and the standard penetration test (SPT) are shown for granular and cohesive soils up to a depth of ten meters from ground level. Additionally, examples of the results of the use of the super-heavy dynamic penetration test are shown.

**KEY WORDS:** Geotechnical investigation, standard penetration test, dynamic probing super-heavy test, soils, properties.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En la práctica nacional e internacional de las investigaciones geotécnicas del sitio con fines constructivos, el ensayo de penetración estándar (SPT) tiene un alto uso. El mismo consiste en la hinca a percusión, en el fondo de la perforación, de un porta-testigo con dimensiones estandarizadas, contabilizándose el número de golpes en tres tramos de 15 cm y finalmente obteniéndose la sumatoria de los dos últimos tramos, valor que se le denomina como el número de golpes del ensayo de penetración estándar ($N_{SPT}$). Con el número de golpes ($N_{SPT}$), se pueden estimar las propiedades mecánicas de suelos arcillosos y granulares, a partir de tablas, las cuales están internacionalmente establecidas y ampliamente aceptadas [1]. Este ensayo suele realizarse en el proceso de perforación con espaciamiento entre 1 y 4 m.

De igual manera, se realizan diferentes ensayos de penetración dinámica, que consisten en esencia en la hinca de una puntaza cónica y un tren de varillas de forma continua, contabilizándose en número de golpes cada 10 o 20 cm de penetración [2]. En este caso, se ha utilizado en ensayo de penetración dinámica superpesada (DPSH), con un alcance en profundidad de hasta 20 m y donde se contabiliza en

número de golpes cada 20 cm de penetración ($N_{20}$). Este ensayo in situ, suele realizarse durante la investigación del sitio, pero independiente de la perforación [1].

## 2. CONTEXTO.

El ensayo de penetraciónón dinámica superpesada ha sido utilizado ampliamente en Europa y se ha ido introduciendo paulatinamente en países latinoamericanos [3;4]. La tendencia internacional ha sido establecer la correlación entre el ensayo de penetración dinámica super-pesada DPSH y el ensayo de penetración estándar SPT. Ambos ensayos in situ se basan en una acción dinámica, por lo que internacionalmente se han establecido correlaciones entre ellos, para diferentes tipos de condiciones geotécnicas, que incluyen elementos como tipos de suelos, profundidad, presencia de agua subterránea [5]. De esta manera, se pueden obtener parámetros geotécnicos a partir de tablas y relaciones bien establecidas por la practica internacional de la ingeniería geotécnica para los ensayos SPT.

Desde el año 2012, y sobre la base de diferentes trabajos realizados de investigaciones geotécnicas en diferentes partes de Cuba, se han podido acopiar datos relativos a valores aparejados del número de golpes del ensayo de penetración estándar $N_{SPT}$ y del número de golpes del ensayo de penetración dinámica $N_{20}$ y se ha podido establecer la correlación entre dichos valores del número de golpes para suelos arcillosos y granulares cubanos, hasta una profundidad de 10 m a partir del nivel del terreno. Los valores del número de golpes del ensayo de penetración estándar han sido corregidos para el 60 % ($N_{SPT}$ (60%)) de la energía del martillo, debido a que se han utilizado martillos automáticos que aportan más energía y muchas de las tablas internacionales de parámetros geotécnicos de suelos, están elaboradas sobre la base de un ensayo de penetración estándar realizado mecánicamente por el operador del equipo de perforación. Para el ensayo de penetración estándar se ha utilizado la norma cubana NC 203: 2002 y para el ensayo de penetración dinámica DPSH la norma UNE-EN ISO 22476-2.

## 3. RESULTADOS

Para suelos granulares, que incluyen arenas predominantemente calcáreas y rellenos granulares de contenido mineralógico variado, se ha establecido una correlación con 51 pares de valores (Fig. 1) que responde a la ecuación:

$$N_{SPT} = 1{,}57 \cdot N_{20} \tag{1}$$

Donde:
$N_{SPT}$- Número de golpes en 30 cm del ensayo de penetración estandar.
$N_{20}$- Número de golpes en 20 cm del ensayo de penetración dinámica super pesada.

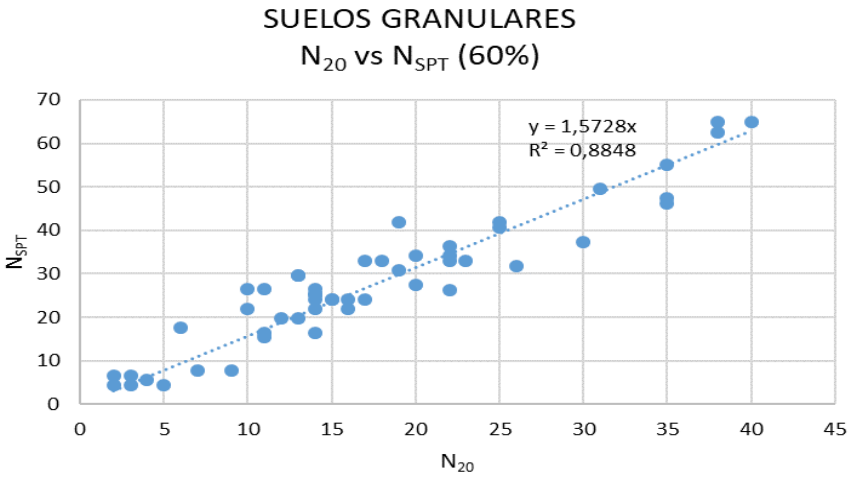



Figura 1. Correlación entre el $N_{20}$ y el $N_{SPT}$ para suelos granulares.

En el eje horizontal de la Figura 1, se muestran los valores del número de golpes ($N_{20}$) del ensayo de penetración dinámica y en el eje vertical los valores del número de golpes del ensayo de penetración estándar ($N_{SPT}$). El gráfico muestra la ecuación lineal de la correlación establecida para suelos granulares y el coeficiente de correlación al cuadrado.

Para suelos arcillosos, se ha establecido una correlación con 42 pares de valores (Fig. 2) que responde a la ecuación:

$$N_{SPT} = 2{,}07 \cdot N_{20} \tag{2}$$

Donde:
$N_{SPT}$- Número de golpes en 30 cm del ensayo de penetración estandar.
$N_{20}$- Número de golpes en 20 cm del ensayo de penetración dinámica super pesada.

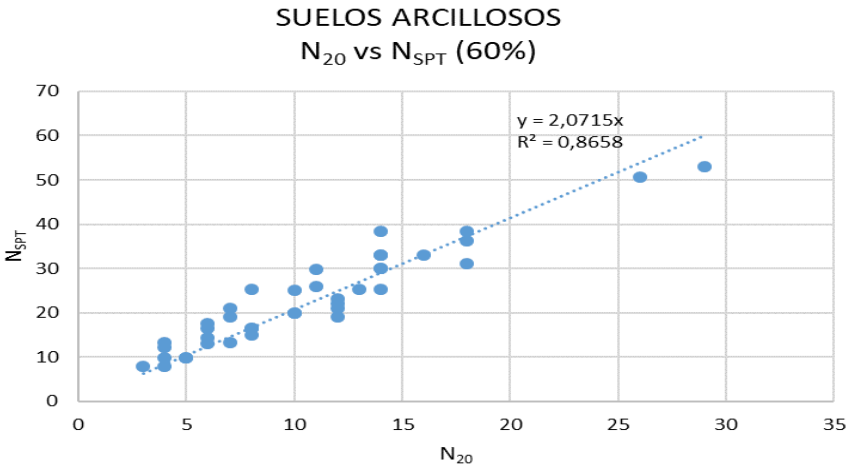



Figura 2. Correlación entre el $N_{20}$ y el $N_{SPT}$ para suelos arcillosos.

En el eje horizontal de la Figura 1, se muestran los valores del número de golpes ($N_{20}$) del ensayo de penetración dinámica y en el eje vertical los valores del número de golpes del ensayo de penetración estándar ($N_{SPT}$). El gráfico muestra la ecuación lineal de la correlación establecida para suelos arcillosos y el coeficiente de correlación al cuadrado.

## 4. CASOS DE ESTUDIO

Las correlaciones antes expuestas han sido y son utilizadas ampliamente en las investigaciones geotécnicas para la determinación de las propiedades mecánicas de los suelos con vistas al diseño geotécnico de cimentaciones y excavaciones. Algunos ejemplos de columnas o descripciones de perforaciones (Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5), se exponen a continuación. En dichas columnas se muestran intervalos de profundidad, descripciones de las capas de suelos, valores del ensayo de penetración dinámica superpesada ($N_{20}$), valores estimados del número de golpes del ensayo de penetración estándar ($N_{SPT}$) y valores estimados de las propiedades geotécnicas, tales como ángulo de fricción interna (Φ), cohesión no drenada (Cu) y módulo de deformación (E). Obsérvese que los valores del $N_{20}$ del ensayo de penetración dinámica super pesada, reflejan los cambios litológicos presentes.

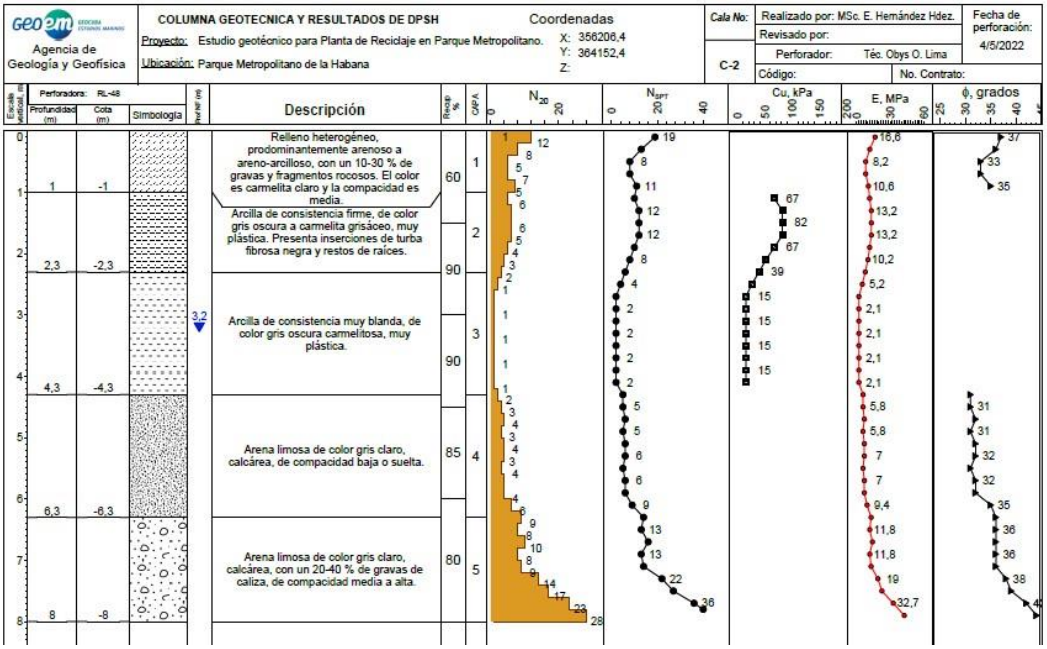


Figura 3. Ejemplo de columna en el Parque Metropolitano de la Habana.

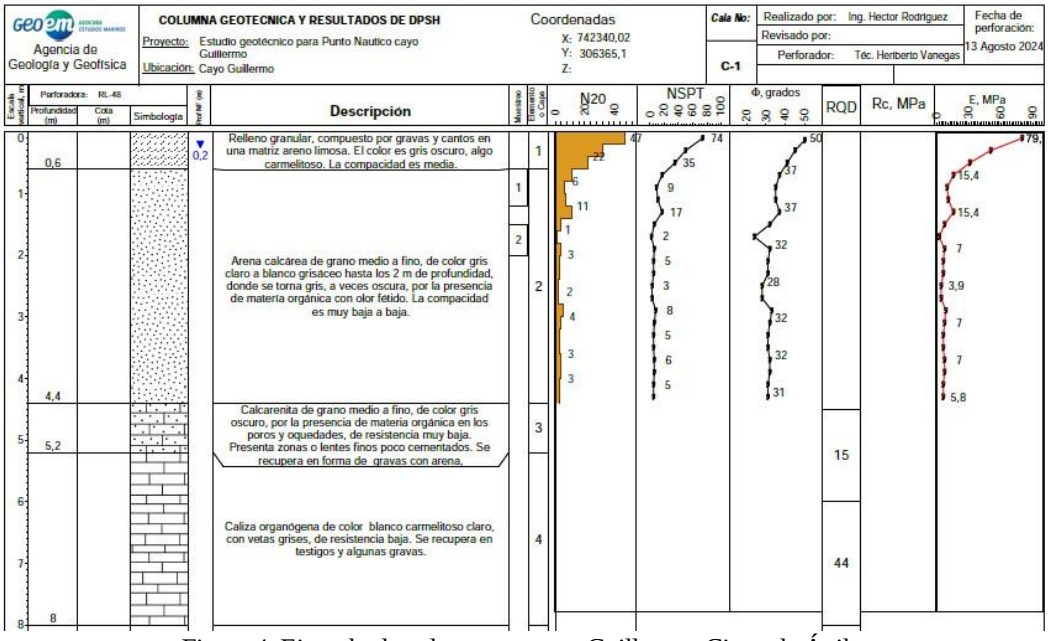


Figura 4. Ejemplo de columna en cayo Guillermo, Ciego de Ávila.

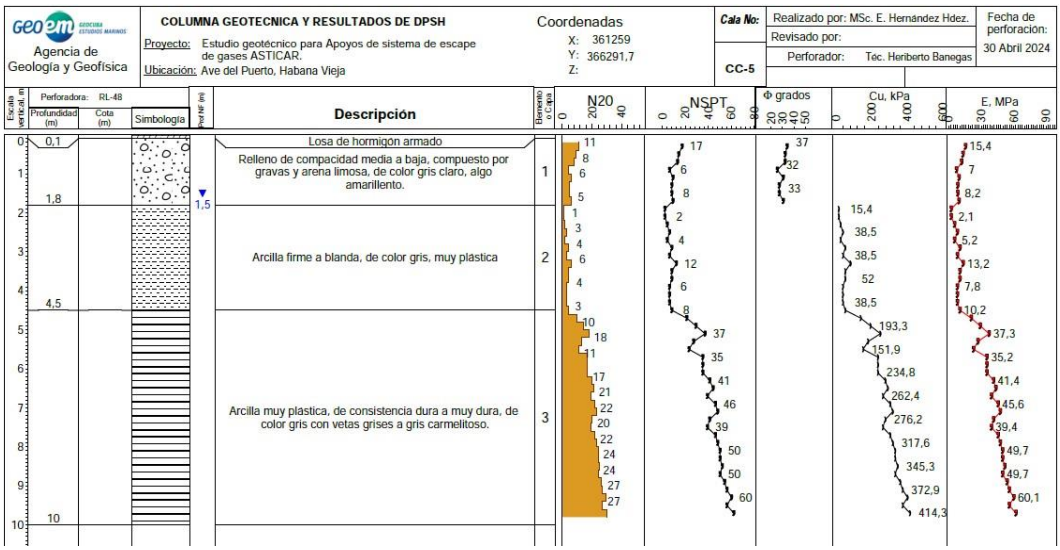



Figura 5. Ejemplo de columna en margen occidental de la bahía de la Habana.

## 5. CONCLUSIONES

El ensayo de penetración dinámica superpesada DPSH es relativamente más fácil de ejecutar y en menor tiempo se obtiene un volumen de datos varias veces superior al que se obtendría solamente con la ejecución de los ensayos de penetración estándar SPT. Por tanto, con una aceptable correlación entre ellos, disminuyen los costos y el tiempo de trabajos de campo y se gana en volumen de datos geotécnicos. El proceso de establecimiento de dichas correlaciones es y debe ser dinámico y constantemente debe enriquecerse con el aporte de datos complementarios, de nuevos trabajos de investigación.

Los casos de estudio antes mostrados, evidencian la utilidad de un ensayo de campo contínuo, como es el ensayo de penetración dinámica super pesada, que muestra las variaciones de tipos de suelos presentes hasta la profundidad de investigación, así como los rangos de variación de sus propiedades mecánicas.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo brindado por la Dirección de GEOCUBA Estudios Marinos en la recopilación de datos y la implementación en la práctica de los resultados aquí mostrados.

## 6. REFERENCIAS

1. HERRERA, J; CASTILLA, J. “Utilización de Técnicas de Sondeos en estudios Geotécnicos” (en línea). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, 2012. Disponible en WEB: https://oa.upm.es/10517/.
2. UNE-EN ISO 22476-2. Investigación y Ensayos Geotécnicos. Ensayos de Campo. Parte 2: Ensayos de Penetración Dinámica. 2008.
2. PEDRUEZA, Bautista; THEAUX, Franco Alberto. “Correlación entre ensayo SPT y DPSH”. Director: Arnaudo, Carlos .Tesis de grado. Universidad Católica de Córdoba, Argentina, 2023.
3. SALAMANCA MEDINA, Edgar Leonardo; LÓPEZ DOMÍNGUEZ, Juan José. “Ensayo de Penetración Dinámica Súper Pesada (DPSH): Equivalencia para el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) en Colombia”. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, vol. 21 (2), pp.47-56, julio. 2021.
4. CABRERA, Marc; CARCOLÉ, Alfonso. “RELACIÓN ENTRE ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA TIPO SPT Y DPSH”. XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Madrid 2007.

**Sobre los autores**

M. Sc. Eddy Hernández Hernández. Trabaja en la empresa GEOCUBA Estudios Marinos como especialista principal de la Agencia de Geología y Geofísica, tiene 35 años de experiencia de trabajo en el sector de las investigaciones geotécnicas. Obtuvo el grado de master en el Instituto Internacional de Ciencias Terrestres y del Especio, el Delf, Países Bajos, 2002.

Ing. Hector Rodríguez Casariego. Trabaja como especialista en la Agencia de Geología y Geofísica de GEOCUBA Estudios Marinos. Graduado de Ingeniero geólogo en la Universidad de Pinar del Río en el 2023.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DEVELOPMENT OF 3D SYSTEM FOR ROAD AND AIRPORT DESIGN

**Dejan Gavran**

Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Serbia

e-mail: gavran@eunet.rs

**ABSTRACT**

The paper presents the over three decades long development of GCM. GCM, or "GAVRAN-Civil Modeller" is a 3D based software for road and airport design. From its very inception, in the early 1990s, the software was conceived as a set of tools for construction, editing and analyses of triangulated 3D models of civil engineering facilities. By its nature, civil engineering facilities could be linear (roads, runways, taxiways) or planar (aprons, parking lots). In practice, these facilities could be interrelated, just as the motorway is tightly interrelated (both laterally and vertically) with the neighboring local roads within a single corridor. Also, the airside of the airport is a network of interconnected runways, taxiways and aprons. Appropriate design solutions could hardly be achieved by treating these facilities separately. Even producing integral cross sections or integral volumetric analyses from independent facilities is cumbersome and error prone. Therefore, GCM supports gradual 3D modeling (construction) of complex civil engineering facilities. The models produced consist of spatial triangles and, by using relatively simple software tools, cross and longitudinal sections, grading plans, volumes etc. could be extracted from either the finished model or from a partially completed model, thus prompting timely corrections in the design solution.

**KEY WORDS**: road design, airport design, 3D model, triangulated model

## 1. INTRODUCTION

By the end of the 20th century, architecture and mechanical engineering had progressed more rapidly into 3D than civil engineering. In these fields of engineering most of the objects could be represented by regular shapes: boxes, cylinders, cones, spheres. Quite complex 3D shapes could be produced by applying Boolean operations (union, subtraction etc.) on these basic shapes. More complex surfaces, such as the splined ones, could be deployed as well and all the surfaces mentioned could be represented by using a closed mathematical form $f(x,y,z)=0$. Such a definition enables creation of a 3D model and facilitates development of a mathematical apparatus that generates the project documentation (plans, sections, views) from the model.

Unlike that, on road projects, the designer conceptualizes the object in separate projections from the onset. Firstly, design parameters, coming from relevant standards, are defined in separate projections. Elements of plan projection, curves and transition curves, are those controlling the geometry in $f(x,y)=0$ terms. On the other hand, elements of longitudinal profile, grades and vertical curves, control the geometry in $f(l,z)=0$ terms (with $l$ standing for the longitudinal coordinate - station or chainage). Minimal radio in plan projection are governed by centrifugal forces. In vertical projection, minimal grades are governed by drainage conditions, maximum grades are governed by traction capabilities of the vehicle, while minimal radio of crest and sag vertical curves come from sight distance requirements. So, elements of horizontal plan and elements of vertical plan are assembled separately. Of course, to avoid problems in drainage and to provide for adequate sight distances, there must be coordination between horizontal and vertical plan. Though $f(x,y)=0$ and $f(l,z)=0$ definitions are coordinated, the integral definition of a 3D road centerline in $f(x,x,z)=0$ terms is both unnecessary and impractical (if not impossible) [1]. Not to mention the $f(x,x,z)=0$ definitions of drain trenches, cut and fill slopes etc.

In the airside of the airport there could be a multitude of linear facilities (runways and taxiways), each with its distinctive mathematical definition, in both $f(x,y)=0$ and $f(l,z)=0$ terms. Though mathematically isolated from each other, these linear

facilities must be precisely interrelated, resulting in the finely remodeled terrain surfaces between them and in smooth pavement surfaces at intersections. And aprons, as typical representatives of planar surfaces, must be incorporated in the design solution as well.

Both for checking and documenting the design solution of the airside, grading plans with the contours at 2cm, 5cm or 10cm intervals have been used for decades. The grading plan could be considered as a predecessor of the 3D model, with the third dimension brought in by using contours. Furthermore, integral analyses of interrelated runways, taxiways and aprons become essential when it comes to volumetric analyses. When working on a single linear facility, such as a rural road, volumetric analyses are usually concentrated on the longitudinal transport of earth masses, up and down the road. But, in the airside it becomes apparent that the lateral transport of earth masses might be as much important as the longitudinal transport. Therefore, even in times long preceding CAD systems, manual methods of calculating cut and fill volumes in a grid cell format were devised.

It quickly became apparent that civil engineering facilities needing 3D model the most were airsides and, of course, complex motorway interchanges. Figure 1. shows airside 3D models, as well as an example of a grading plan and an example of a grid cell volumetric analysis. These two graphical documents demonstrate that geometrical 3D reasoning has always been present in airport design.

Figure 1: 3D geometrical reasoning in airport design

## 2. STARTING FROM 2D

Though not having much to do with the third dimension, software for airside design in plan projection (in 2D) had to be developed first. Figure 2. shows the system's command template. In that era, it was customary to graphically represent the commands by using pictograms, group them into a so-called template, place the template over a digitizing tablet and call the commands from the tablet. The software was named AeroCAD [2] and was developed in 1991. It took a whole year to develop the software, as numerous international standards, as well as variations in relevant national standards, had to be analyzed in parallel.

Special care was given to aircraft movement simulations - following the guideline on pavement surface by the cockpit or by the nose wheel, generating trajectories and safety margins (module AERO). Module APRON supported generation of aircraft parking maneuvers and the positioning of loading bridges. Command group RUNWAY supported the runway plan, with all the elements of lighting and marking – approach lights, centerline and edge lights, touchdown zone lighting, threshold and runway end lighting, runway designation marking, threshold marking, touchdown zone marking etc. Turnaround and rapid exit taxiway design was also supported. Group TAXIWAY supported design of taxiways in 2D. These were the commands for taxiway fillet design and for placing elements of taxiway lighting and marking.

Figure 2: Command template of the early CAD system for airside design in 2D, AeroCAD

## 3. MOVING TO 3D

Unlike AeroCAD (2D), which never went commercial and stayed as an inhouse software, its successor AeroCAD 3D [3], under the name GCM (GCM is AutoCAD based application, *AutoCAD is registered trademark of Autodesk, inc*.), spread to some 15 countries and has been used in road, airport, railway, tunnel, bridge and maritime design. It took only one summer to develop AeroCAD 3D and its command template from 1993 is presented in Figure 3.

Figure 3: AeroCAD 3D, command template

At that time there were CAD systems for road design that were used in airport design as well. But, these systems were 2.5D at best and were primarily oriented to the design of linear facilities. After starting with the TIN terrain model, these systems were quickly turning to the design in separate projections - to the drafting of plans and longitudinal profiles and generation of series of cross sections. TIN terrain model was used to generate longitudinal terrain profiles, while cross sections taken from the TIN model were supplemented with the cross sections of a newly designed facility. The 3D model of a newly designed facility was usually a rudimentary one.

TIN model stands for the Triangulated Irregular Network and it connects the terrain points with the triangles non-overlapping in plan projection, each triangle tending to be the most equiangular as possible (also in plan projection) [4]. Consequently, closed surfaces with the triangles overlapping in plan (tunneling structures, bridges, pipes) could not be modeled by using TIN. In general, in those early CAD systems TIN model was not used in an appropriate manner. In Figure 4. left, the TIN model of a crossroad is shown. Pavement surface points are connected with the triangles, as if the ordinary terrain surface is to be modelled. But, when triangulating the pavement surface of the crossroad, contours along the through lanes of the primary road must not be disturbed. Also, the largest possible area of the crossroad must be of regular and constant grades, so it could be easily constructed with the paver. On the right side of the figure, a triangulated model of a tunnel is given. To provide that there are no triangles overlapping in plan projection within a single TIN, the model is assembled of separate triangulated models (sets of nonoverlapping triangles). The cross section of such a model had to be created by manually assembling cross sections extracted from separate TIN models, which was a tedious process.

Figure 4: Shortcomings of early CAD systems for road and airport design

## 4. MODELING TECHNIQUES

From its earliest version, GCM has been based on the creation of triangulated models of linear and planar facilities, but not necessarily TIN models [3][5]. In Figure 5. road and bridge models are presented.

Figure 5: Triangulated models of linear facilities

These models are based on templates (kind of typical cross sections). Templates consist of straight lines and everything that could be approximated by using straight lines may become a template. So, even the closed triangulated surfaces, such as tunnels and bridges could be modelled in GCM and incorporated into the 3D environment.

A special methodology of modeling the intersections was devised (Figure 6.). The method relies on the use of some eight commands only. These are the commands for editing regular (manmade) triangulated surfaces, like pavement surfaces of intersecting roads, and the commands for the precise placement of point entities (point objects). With the points and triangles correctly interrelated, the points could serve as a skeleton for a proper TIN model which, when combined with the triangulated models of intersecting linear facilities, produce the surface that could be easily constructed with a paver and adequately drained. It must be said that the modeling of a taxiway intersection is much simpler than the modelling of a channelized crossroad.

Figure 6: Modeling crossroads and planar facilities

One of the weak points of early CAD systems for road and airport design was inadequate modeling of the elements of grading, where modeling intersecting cut and fill slopes was seen as the most acute problem. In GCM it was always possible to model linear and conical slopes, as well as their intersections. By the end of 90s even the filleting of slope-terrain contact was introduced. In the space between the pavement and the cut or fill slope, the model of a sidewalk, retaining wall, or any other element, could be inserted (Figure 7).

Figure 7: Modeling elements of grading

## 5. ANALYSES OF THE MODEL

Contour lines, longitudinal profiles and cross section could be generated or extracted at any stage of the model's construction, either from the finished or partially completed model [1, 3, 5]. Analytical tools supporting these techniques are relatively simple as they all rely on the analyses of spatial triangles. In Figure 8. the model of a complex motorway corridor is shown. On its sides, the motorway is bordered by local roads. Some streams are regulated and culverts are added. There is also a network of ditches. Some of the ditches follow the motorway, while the others follow the local roads. But, there are also some independent ditches. Long retaining wall (a series of piles) is inserted on the left side of the motorway. Even the pipes connecting the ditches at the crossing of local roads are added (upper left). Two viaducts are visible in the distance, as well as the overpass and the underpass in the foreground. Extracting cross sections from such a model could be compared with cutting the model with giant vertical planes. The planes are perpendicular to the axis of the motorway and as wide as the cross sections to be extracted. Intersection of a single vertical plane with each of the model's triangles, produces an intersecting line. A single cross section is assembled from these intersecting lines – every feature presented by triangles in 3D participates in the extracted cross section with its intersecting lines.

Figure 8: Extracting cross sections from the triangulated model of a motorway corridor

Analysis specific to airports is shown in Figure 9. Here are the obstacle limitation surfaces placed over the grid terrain model [6]. Squared grid cells consist of pairs of triangles but their diagonals are automatically turned off, just to produce a better view of the model. Obstacle limitation surfaces are triangulated as well, also with many of the edges turned off.

Figure 9: 3D analysis of obstacle limitation surfaces

A set of red lines is generated along the intersection of obstacle limitation surfaces with the terrain, clearly delineating terrain protrusions. Generating the lines along the triangles' intersections is a relatively simple procedure. More complex would be decomposing the intersecting triangles into the subtriangles that do not intersect, but touch each other along the lines of intersection [3]. This is how the models of intersecting cut/fill slopes are created. After decomposing the fill slopes' triangles, the lower triangles (those remaining below the intersecting lines) are removed, while after decomposing the cut triangles, the upper triangles would be surplus triangles. Just to give an overall impression of analytically handling a triangles' intersection, a simplified algorithm is given in Figure 10.

Figure 10: Modeling intersections of triangulated surfaces - algorithm

The algorithm that handles the intersection of multiple triangles is a sophisticated one, because all of the newly created subtriangles deriving from one decomposition ("explosion" between two particular triangles) and touching each other perfectly, must be checked again for potential "explosions" with the rest of the starting triangles. To speed up the process, family relations are introduced between the triangles.

The pretriangles are the triangles belonging to the starting set of triangles, while the subtriangles created in the explosion of one particular triangle are brothers (or sisters). Besides the brothers and the sisters, each subtriangle has its mother and father: the triangle of origination and the triangle in relation to which the originating triangle was exploded. As the algorithm starts to dissipate the triangles, the number of candidates for the "explosion" grows rapidly. Keeping track of family relations, unnecessary (impossible) "explosions" are skipped, making the software run faster.

The general idea of how an explosion goes is given in the upper left corner, while the main body of the program starts just below. At first, the list of triangles to be exploded (list *listri*) contains starting triangles, each one defined by its vertices (*t1*,*t2*,*t3*), name (address *en*, which is important only within the exact programming environment), color (*col*), layer (*lay*) and father's index within the list (*No*, pretriangles have no father). The length of the starting set of triangles is *len + 1* (as the list of the triangles is zero-based, the index of the first pretriangle is 0, while the index of the last one is *len*). As the program keeps running, the list *listri* grows in size, while new triangles are added to the list.

The program takes triangles one by one and tries to explode them. The taken triangle, as a candidate for explosion, is a potential mother triangle and is drawn in black. At the start, variable *codx* takes *"T"* value. When (and if) the mother explodes, it changes to *nil* value.

The question is: in collision with which triangle could the mother explode? If the mother triangle is one of the pretriangles (if its index *no* is less than or equal *len*), it could be any of the pretriangles. But, if the candidate mother is one of the newly created triangles (resulting from previous explosions, *no* > *len*), then it could be exploded only when colliding with the pretriangles positioned in the list *listri* after her father. If the mother of the potential mother has not found a potential father before finding the actual one (father), neither the potential mother could collide with the triangle preceding the actual father – as the potential mother (if resulting from the explosion and not being one of the pretriangles) is only a fraction of its mother. Consequently, the counter for potential fathers (*no1*) starts from 0, if the candidate mother is one of the pretriangles, or from her father's index *No* increased by 1, if the mother results from a previous explosion. The program then cycles through list *listri*, searching for a potential father. The fathers' cycle goes to the end of that portion of the list containing pretriangles only (*no1* < = *len*), as only pretriangles could act as potential fathers. Taking newly created triangles (resulting from the explosions) for candidate fathers has no sense - a triangle not colliding with a particular pretriangle could not collide with its children either.

Unlike the father, the potential mother could be any of the pretriangles, or newly created triangles. A spatial triangle could collide with two or more triangles. In this case, the particular triangle must be exploded in relation to the first one (father). Its children (resulting from the explosion) will be touching the father's plane by their edges, but would still collide with some other triangles. Therefore, these new triangles must be given a chance to act as mothers and collide with the second (or even third) triangle. When a potential mother finds an appropriate father, it explodes, variable *codx* takes value *nil* and the program takes the next triangle from list *listri* as a potential candidate mother.

Resolving a potential collision between a potential mother (black triangle) and a potential father (white one) starts in subroutine *(incalc).* Actually, *(incalc)* subroutine determines in how many points the father's edges penetrate the mother's plane. The mother triangle resides in plane Π, while the father triangle resides in plane Γ. If these two planes are parallel, or coincide, there is no collision. Also, if some of the mother's edges reside within a father's plane, there is no collision either (the potential mother touches the potential father by her edge). In these cases, the program leaves subroutine *(incalc).* Otherwise, the program proceeds with determining penetration points of the father's edges through the mother's plane. These points are stored in the list named *intpnt*. The rule is: no point could appear in the list twice. If one of the father's vertices resides exactly within a mother's plane, it is logical that this vertex would be added to the list *intpnt* twice - once for each of the two edges meeting at that vertex. However, this is prohibited and the maximum length of *intpnt* list is 2. If, after analyzing all of the three father's edges, the length of list *intpnt* stays at 1, it means that one of the father's vertices resides exactly within the mother's plane, while the remaining two vertices are located on the same side of the mother's plane. In that case, there is no collision. Also, there is no collision if the length of *intpnt* list is 0.

The collision between the potential mother and the potential father may occur (mothers' explosion takes place) only if the length of *intpnt* list equals 2. In that case, the program proceeds to subroutine *(newtri)* which executes the explosion. The subroutine first determines how many of the father's penetration points (points from *intpnt* list) reside within the mother triangle (the number of these points is *cou*). If no point from *intpnt* list resides within mother's triangle, but any of the mother's edges penetrates a potential father, then the collision exists and the explosion is executed by subroutine *(int0).* If no point from *intpnt* list resides within mother's triangle, but no mother's edge penetrates a potential father, then the collision does not exist and flow leaves subroutine (*newtri).* If only one of the points from *intpnt* list resides within the mother's triangle, the explosion is executed according to the scheme from *(int1)* subroutine. For two points residing within a mother's triangle, subroutine *(int2)* is executed. Each one of the three subroutines executing an explosion (*int0, int1* and *int2*) explodes the mother's triangle into triangles that touch the father's triangle either by their edges, or by their vertices. Graphically, the mother entity (triangle) is erased, but it remains within *listri* list. If the mother's triangle belongs to the starting set of pretriangles, it could even serve as a potential father for some other triangles. Each newly created triangle

(emanating from the explosion) is drawn by using the mother's color and layer and is added to the end of the list *listri*. In fact, the entire group of newly created triangles (ranging in size from 3 to 5 triangles) is added to the end of list *listri*. Within the list, the newly created member triangle contains its vertices (*t1,t2,t3*), name (address in memory – *entlast*), mother's color (*col*), mother's layer (*lay*) and father's index (*no1*).

In Figure 11. numerical basics of grid cell volume calculation are shown [1][3][5]. The sheer size and shape of the airside necessitates planar format of volumetric analyses. Cut and fill volumes are not reported by cross sections (which tend to be hundredths of meters wide, to cover the entire airside), but by using rectangular grid cells, usually aligned with the runway centerline. Grid format facilitates optimization of both longitudinal and lateral transport of masses. Also, centroids of earthwork masses are found easily, indirectly producing the mean transport distances between the centroids.

Figure 11: Volumetric analyses

Figure 11. demonstrates of one the methodologies of grid cell volume calculation that could be deployed in GCM. The giant red mold, with openings matching the grid cells, is lowered onto the model. A particular grid cell protrudes several triangles from the constructed surface (first surface). Intersection with one of these triangles results in a blue polygon. This polygon could be a triangle, a rectangle, a pentagon or a hexagon. No matter what the number of polygon sides is, the intersecting polygon is always a convex one. Starting from an arbitrary chosen polygon vertex, it is possible to quickly decompose this polygon into nonoverlapping triangles – blue triangles with blue points at vertices. Then the program takes one of these triangles, searches through the terrain triangles (second, existing surface) and identifies black points, points resting on the terrain surface exactly beneath the blue vertices. So, between the blue and black vertices, a prism with a triangular base is formed. That prism might be entirely in cut or entirely in fill. But, it may also partially be in cut and partially in fill – with one height of the prism differing in sign from the other two (two positive and one negative height or vice versa). In both cases, formulas producing volume of the prism are very simple, using elementary operations (no need for trigonometry). Even horizontal triangles' areas *P* and *Px* could be based on elementary mathematics: $P= (1/2) [x1(y2-y3)+x2(y3-y1)+x3 (y1-y2)]$. As the volumes of a single cell come from several polygons, each polygon decomposed into several triangles (prisms), the number of elementary volumes to be calculated might be very high. Therefore, elementary volumetric calculations must be kept at the simplest possible level.

## 6. RECENT DEVELOPMENTS

Just before the year 2000. dynamics was introduced. It means that the model became alive. While moving centerlines, entire models of linear facilities (with crossings) were modified automatically. In 2024, dynamics was applied even on the elements of horizontal marking. Also, special modules are developed for dynamic roundabouts and turbo-roundabouts.

The latest addition, also from 2024, is a module for traffic simulation on urban transportation networks. The New University Curriculum introduced new subjects on traffic planning, so the new module is primarily devised to help students in this field.

As for 3D, some specific modules were added in the 2010-2012. period. The first one was the module supporting 3D printing [5][7]. As early as the 1990s, it had been apparent that, in the future, triangulated 3D models could be ideal for rapid prototyping. In theory, to be 3D printed, the model must be "watertight" (absolutely closed from all sides, with no holes) and made from triangles, providing that the normal of each triangle points outward. It means that the triangle's vertices must be arrayed in such a way that, when the normal is defined in accordance to the "right hand rule", it points outwards from the model. So, certain internal rearrangement of triangles' vertices might be needed to make the model 3D printable. What is more, to be printed, the model must be closed. In other words, it must have an underside. Furthermore, to reduce printing material consumption, the model should be hollowed out, with the side walls and some structural elements providing the stiffness of the model. Such a model is presented in Figure 12. The model consists of both the top surface and the underside. Sidewalls and structural elements are visible from below. As the model is gradually built (printed) in thin horizontal layers (0.2mm thick, for example), 3D printer driver has to know the contour to be filled with the printing material at each incremental level. In the middle part of Figure 12, horizontal sections of the model to be 3D

printed are shown. Each section consists of straight lines – each line resulting from the intersection of a horizontal plane, placed at the specified level, with the model's triangle. It should be noted that, at each incremental level, the section consists of one or more closed contours. Based on the triangles' outward normals, 3D printer driver retrieves the outward normal of each intersecting line and, consequently, the inner area of each contour. So, this is how the printer retrieves the inner area(s) to be filled with the printing material at each incremental level (shaded area).

When it comes to machine control (automated construction), in theory it is less demanding than 3D printing. Every layer of the pavement structure to be constructed needs to be defined by its top surface only (no underside needed). There were some estimates that, to properly guide the machinery, the top surface triangles had to be internally arranged (by the "right hand rule"), providing upward normals' orientation. It was this scenario, rather than explicit 3D printing requirements, that instigated the development of 3D printing module. After all, accurate construction is of far greater importance than 3D printing. But, according to the feedback from the building sites (since 2016. on), it appears that even the oldest GCM modeling techniques (those unchanged from 1993.) serve machine control flawlessly.

Figure 12: Preparing the model for 3D printing

In 2010-2012. modules dealing with driving dynamics were developed [5][8]. From then on, it has been possible to calculate travel times and fuel consumption of heavy vehicles and to estimate operating speeds of passenger cars. Furthermore, based on the variations in operating speeds, stopping sight distances could be calculated. In Figure 13, a kind of hybrid cross section is shown.

Figure 13: Sight distance analyses on the model

Based on the operating speed levels, stopping sight distances are inserted into the model. The bright green lines are the stopping sight distances of a vehicle moving up the stations, while the red lines represent the stopping sight distances of the vehicle moving in the opposite direction. Stopping sight line is the one starting at the specific driver's eye position and extending up to the distance sufficiently long to enable a vehicle travelling at the estimated operating speed to stop before reaching a stationary obstacle on the pavement surface. Besides the physical 3D model, even the stopping sight lines could be literally cut by an imaginary vertical plane and placed into the extracted cross section. Cross section on the right contains protrusions of stopping sight lines through the cross section's plane. It clearly indicates that, to provide for minimal sight distance requirements, the cut slope on the inner side of the curve must be displaced further away from the road.

## 7. CONCLUSION

Though not big in size (some 450 commands), GCM contains several modules that could not have even been mentioned in this paper, such as the pavement resurfacing module, or CSC module, whose functionality is based on the specially devised macro language intended for automated construction of large series of cross sections.

An important aspect of GCM development is its use in education. At the Department for Highways, Railways and Airports, the students specializing in geometrical design of roads and airports usually complete the master thesis which consists of two parts – the smaller part is research (analyses of national and international standards, discussing design practices, software development), while the larger part is the design of a particular facility, usually an interchange. While accurately modelling motorways, ramps, crossroads, bridges, tunnels, cut and fill slopes, retaining walls and ditches, students bolster the knowledge acquired in previous years and get final preparation for engineers' duties laying ahead.

Figure 14: Master theses – Milos Petrovic and Bojan Besednik

**References**

1. GAVRAN, Dejan. *"Development of Interactive Graphical System for Airside Design"*. Master thesys, Faculty of Civil

Engineering - University of Belgrade, Belgrade, 1991.
2. PETRIE, G; KENNIE, J.M. "*Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering*". *Computer Aided Design*, 1987, 19(4).
3. GAVRAN, Dejan. *"Development of Three-Dimensional Airport Design Methodology and Technology"*. Doctoral thesys, Faculty of Civil Engineering - University of Belgrade, Belgrade, 1996.
4. GAVRAN, Dejan. "*GCM-D / Gavran - Civil Modeller User's Manual*". Belgrade, 2024. 312 pp.
5. GAVRAN, D; FRIC, S; ILIĆ, V; TRPČEVSKI, F; VRANJEVAC, S; "*3D Control of Obstacles in Airport Location Studies*", Proceedings of the International Congress on Transport Infrastructure and Systems - TIS Roma 2017, April 10th - 12th 2017, CRC Press/Balkema Taylor & Francis Group, Italian Association for Traffic and Transport Engineering - AIIT, Rome, Italy, 2017. pp. 283-290. ISBN 978-1-138-03009-1.
6. GAVRAN, Dejan. "*Road Design in 3D (Moving from 2D to 3D)".* In: 3rd IRF International Road Congress for South East Europe, Belgrade, 2002.]
7. GAVRAN, D; FRIC, S; ILIĆ, V; TRPČEVSKI, F; "*Sight distance analyses in road design process: Serbian practice*", Transport, Taylor and Francis Group, Vol. 31, Issue 2: "Special Issue on the Vehicle Movement on Exploitation Parameters of Roads and Runways ", DOI:10.3846/16484142.2016.1193052, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press, Vilnius, Lithuania, 2016, pp. 250-259. ISSN 1648-4142.
8. GAVRAN, Dejan. "*Izrada fizičkih modela putnog pojasa metodom 3D štampe*". First Serbian Road Congres, Belgrade, June 2014. pp.294-304.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MÉTODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS CON ADOCRETOS SOBRE BASE GRANULAR

**Saul David Martínez González[1], Willian Daniel Cobelo Cristiá[2], Anadelys Alonso Aenlle[3]**

[1, 2, 3] Technological University of Havana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Havana, Cuba
[3]anadelys@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La pavimentación con adocretos representa una alternativa favorable para diferentes soluciones viales. En Cuba se ha impulsado su utilización recientemente, pero se carece de procedimientos de diseño estandarizados que tengan en cuenta las condiciones de materiales y carga del país. Se presenta como objetivo analizar y diseñar pavimentos de adocretos sobre bases granulares para diferentes niveles de tráfico, espesores y calidades de las capas granulares y la subrasante. Se calibra un modelo computacional tridimensional basado en el método de los elementos finitos, para el análisis tenso deformacional de la estructura del pavimento articulado que comprende, el adocreto, la cama y junta de arena y el suelo de apoyo de esta. Se determinan las dimensiones del dominio, la densidad de malla y el tipo de elemento finito a emplear, modelando la superficie de adocreto y la cama de arena como una capa continua y articulada. Además, se lleva a cabo una comparación de los resultados de las tensiones, deformaciones y deflexiones entre los modelos de superficie continua y articulada, considerando modelos constitutivos lineal y Mohr Coulomb. A partir del modelo numérico en 3D obtenido y aplicando diferentes leyes de falla, se propone un método de diseño para pavimentos de adocretos sobre base granular. Se realizan comparaciones con otros métodos de diseño, obteniendo diferencias entre ellos.

**PALABRAS CLAVES:** Pavimentos de adocretos, Modelo de elementos finitos, Comportamiento estructural, Método de diseño.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LA PARAMETRIZACIÓN DEL DETERIORO EN PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO PARA CARRETERAS EN CUBA

**Lianny Moreno Alonso[1], José Alfonso Macías Mesa[2], Hector Alfonso Pérez[3], Antonio Amaury Medina Morante[4]**

[1] Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, [2] Universidad de Matanzas, [3] Polimeros del Caribe SRL, [4] Ministerio de la Construcción de República de Cuba
e-mail: [1] liannyma@gmail.com, [2] ammibi55@gmail.com, [3] hector.alfon@gmail.com, [4]dgdesarrollo@oc.micons.gob.cu

**RESUMEN**

Los manuales internacionales de inspección y mantenimiento de puentes contemplan la homogeneización de las evaluaciones de deterioro de puentes. Cuba carece de un sistema propio de evaluación de daños en puentes de hormigón armado, generando incompatibilidades entre evaluaciones de diferentes puentes. Con la creación de un procedimiento para la evaluación de daños de puentes de hormigón armado, será posible obtener equivalencia entre inspecciones. Esta investigación permitió obtener el procedimiento para la evaluación de daños de puentes de hormigón armado en carreteras de Cuba con parametrizaciones para cada deterioro. La importancia de esta investigación radica en la creación de una metodología que estandarice los resultados de la evaluación del deterioro de puentes en Cuba.

**PALABRAS CLAVES:** Mantenimiento, Puente, Parametrización

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Sistema de Gestión de Puentes Sostenible y Digitalizado para Cuba.

**Lic Ing. Pedro Antonio Hernández Delgado[1], MSc. Ing. Antonio Amaury Medina Moranti[2], MSc. Ing. Héctor Alfonso Perez[2], Dr. Ing. José Alfonso Macias Mesa[4].**

[1]EMPAI Matanzas, MICONS, [2]MICONS. Viceministro, [3]Polimeros del Caribe SRL, [4]Universidad de Matanzas
E-mail: [1]hpedroa79@gmail.com, [2]dgdesarrollo@oc.micons.gob.cu, [3]hector.alfon@gmail.com, [4]ammibi55@gmail.com.

**RESUMEN**

La agenda 2030 de la ONU sobre el desarrollo sostenible se plantea 17 objetivos, de los cuales el 9º: Industria, Innovación e Infraestructura, comprende la infraestructura vial, incluyendo los puentes, contribuyendo al desarrollo del transporte de mercancías y personas. Los sistemas de infraestructuras comprenden activos físicos más los conocimientos, instituciones y marcos políticos en los que existen y que les permiten funcionar. La digitalización es una innovación de uso general que consiste en recopilar datos sobre objetos físicos y convertirla en una representación digital que pueda procesarse automáticamente. La digitalización de los sistemas de infraestructuras es la fuerza motriz de las infraestructuras inteligentes. La transformación de los datos en información significativa es la principal tarea de un Sistema de Gestión de Puentes (SIGEP), desarrollando Indicadores Claves para una toma de decisiones óptimas, empleando técnicas de análisis de grandes datos (Big-Date), Inteligencia Artificial (IA) y Building Information Model (BIM), para garantizar las tareas de mantenimiento y reparación de puentes durante su ciclo de vida y lograr una extensión de su vida útil. De esta manera se logra satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. En el trabajo se exponen los lineamientos para el desarrollo modular y por etapa de un SIGEP para Cuba sostenible y digitalizado.

**PALABRAS CLAVES:** Sostenibilidad, Gestión de Puentes, Digitalización, BIM.

# Sustainable and Digitalized Bridge Management System for Cuba.

**ABSTRACT**

The UN 2030 Agenda for Sustainable Development sets out 17 goals, of which Goal 9: Industry, Innovation and Infrastructure, encompasses road infrastructure, including bridges, contributing to the development of transport for goods and people. Infrastructure systems comprise physical assets plus the knowledge, institutions and policy frameworks within which they exist and which enable them to function. Digitalization is a general-purpose innovation that involves collecting data about physical objects and converting it into a digital representation that can be processed automatically. The digitalization of infrastructure systems is the driving force behind smart infrastructures. The transformation of data into meaningful information is the main task of a Bridge Management System (BMS), developing Key Indicators for optimal decision making, using Big-Date analysis techniques, Artificial Intelligence (AI) and Building Information Model (BIM), to guarantee the maintenance and repair tasks of bridges during their life cycle and achieve an extension of their useful life. In this way, the needs of the present are met without compromising the capacity of future generations, ensuring a balance between economic growth, care for the environment and social well-being. The paper sets out the guidelines for the modular and phased development of a sustainable and digitalized BMS for Cuba.

**KEY WORDS:** Sustainability, Bridge Management, Digitization, BIM.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de infraestructuras, como los puentes, son un motor para el crecimiento económico y el desarrollo de los países [1]. las entidades responsables de su gestión deben proporcionar a los usuarios estructuras fiables que garanticen una economía próspera y el correcto funcionamiento de la sociedad. Todos los países cada año dedican parte de su presupuesto al mantenimiento de su infraestructura de trasporte siendo una problemática mundial la forma de su asignación, razón por la cual es importante el desarrollo e implementación de Sistemas de Gestión de Puentes (SIGEP) óptimos y eficaces. Cuba no es una excepción a esta problemática, razón por la cual ha desarrollado un sistema de gestión de puentes de carreteras consistente en un inventario de puentes y los archivos de la información correspondiente con un mínimo empleo de las tecnologías de la información. En esta ponencia se propone un esquema de desarrollo moderno, actualizado y sostenible de la gestión de puentes.

Los puentes, como todos los activos de infraestructura, se desarrollan en etapas: planificación, diseño, construcción, gestión y explotación, las cuales conforman su Ciclo de Vida (CV). De estas etapas, los SIGEP participan en la etapa de Operación y Mantenimiento (OyM). Esta etapa es la de mayor duración de los puentes, los cuales se diseñan para mas de 50 años de Vida Útil (VU). En los Estados Unidos el tiempo de VU exigido es de 75 años [2] y en España 100 años [3]. En Cuba no se plantea un tiempo de VU en la normativa de diseño de puentes, pero es posible extrapolar la requerida por la normativa de diseño de estructuras hormigón que la fija en 50 años. Teniendo en cuenta que la duración de las etapas anteriores a OyM raramente sobrepasa el 5% de la VU, se puede afirmar a que la etapa de OyM abarca mas del 90% del tiempo de VU de un puente. Por la razón anterior y la importancia de los puentes para la economía y la sociedad de un país es necesario el desarrollo e implantación de un SIGEP.

La agenda 2030 de la ONU sobre el desarrollo sostenible plantea 17 objetivos, de los cuales el objetivo 9 pretende construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación [4]. Los sistemas de infraestructuras comprenden los activos físicos, más los conocimientos, instituciones y marcos políticos en los que existen y que les permiten funcionar. El progreso de la ciencia y la tecnología ha contribuido a la aparición de la tecnología BIM en la ingeniería de la construcción. Este fenómeno, conocido como "Transformación Digital", ha influido en la evolución de la construcción hacia la Industria 4.0 [5].

## 2. DIGITALIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PUENTES.

Los puentes están sujetos a daños causados por su uso continuo a lo largo del tiempo. Además de los efectos de las cargas (fatiga, impactos, sobrecargas, etc.), están sometidos a la degradación de los materiales y de las condiciones de apoyo, así como a la exposición a condiciones ambientales adversas. Por ello, se hace imprescindible adoptar prácticas de gestión de infraestructuras que tengan como objetivo controlar la vulnerabilidad de las obras y planificar el mantenimiento de forma oportuna y eficiente. Esto implica varias actividades, como la inspección periódica de los puentes para identificar cualquier signo de daño, la evaluación de la capacidad estructural para garantizar que puedan soportar las cargas previstas y la planificación de acciones de mantenimiento preventivo. En este contexto, el SIGEP es una herramienta clave para diagnosticar, evaluar y gestionar el estado de los puentes. El primer SIGEP se originó en Estados Unidos con el sistema PONTIS iniciado en 1975, el cual evolucionó con el tiempo y proporciona un modelo para el desarrollo de sistemas similares en todo el mundo [5].

La evolución de los SIGEP es un proceso continuo, con un énfasis cada vez mayor en la digitalización, el uso de tecnologías avanzadas como el Modelado de Información de Edificios (BIM) y la adopción de enfoques proactivos para la gestión de infraestructuras. Por esta razón, se propone un enfoque empleando el BIM como herramienta principal para la gestión de la información de los puentes existentes, considerando un SIGEP de acuerdo al largo periodo de vida de los puentes, en concordancia con el concepto de sostenibilidad.

Los puentes son activos importantes de las infraestructuras de un país. Como definición de activo hemos adoptado la establecida por la ISO 55000.2014. Gestión de Activos. Aspectos Generales, Principios y Terminología, activo: *"objeto o entidad que tiene valor real o potencial para una organización"* [6]. Esta

norma está destinada para que la usen aquellos involucrados en establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de activos. Esta norma provee el contexto para las Normas ISO 55001 e ISO 55002. Estas tres normas se refieren a un sistema de gestión para la gestión de activos, referido como un "sistema de gestión de activos". La gestión de activos permite que una organización examine la necesidad de activos y sistemas de activos y el desempeño de los mismos en diferentes niveles. Además, permite la aplicación de enfoques analíticos para la administración de un activo a lo largo de las diferentes etapas de su Ciclo de Vida (CV), definido en la mencionada ISO 55000: "*etapas de la gestión de un activo*" [6].

Las diferentes etapas del ciclo de vida de un puente: diseño, construcción y explotación (operación y mantenimiento), pueden ser vinculadas con los niveles de desarrollo BIM, según ilustramos figura 1.

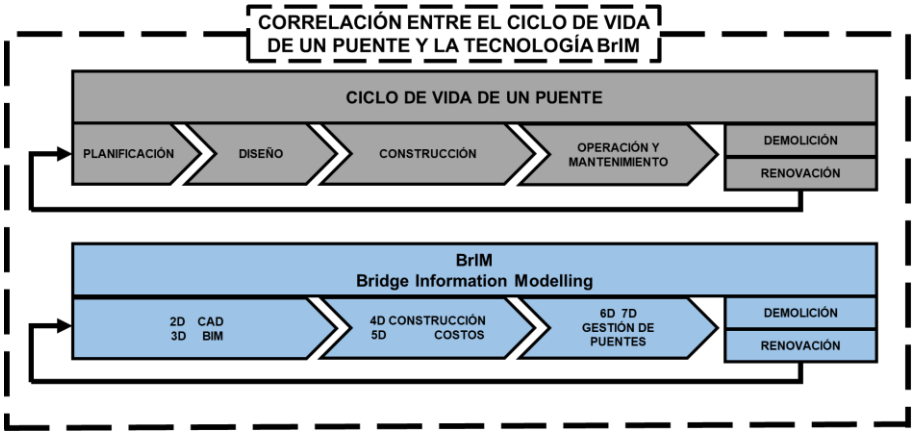



Figura 1. Correlación entre el ciclo de vida de un puente y la tecnología BrIM.

La conjunción del ciclo de vida de los puentes con la tecnología BIM (Building Information Modeling) se denomina BrIM (Bridge Information Modelling) [7]. Los Sistemas de Gestión de Puentes (SIGEP) se integran en el BrIM en la sexta y séptima dimensiones (6D y 7D): Sostenibilidad y Explotación. Dado que el BIM ha demostrado su eficacia a la hora de integrar los datos de los edificios para controlar su diseño, construcción y funcionamiento a lo largo de sus ciclos de vida previstos, se prevé que el BrIM pueda ayudar en gran medida a ofrecer alternativas de diseño adecuadas para la construcción, el mantenimiento y la rehabilitación de puentes.

La mayor dificultad en la aplicación de la tecnología BIM en la gestión de puentes, en el mundo y en Cuba, es la ausencia de un modelo BIM del puente. En los puentes hechos en Cuba en los últimos 25 años se puede contar solamente con modelos CAD, es decir modelos en dos dimensiones. Por esta razón el primer paso para aplicar la tecnología BrIM es la realización de un modelo BIM del puente.

El éxito de la modelación BIM en obras de construcción se caracterizan por el gran volumen de la información necesaria que contiene en la etapa de la construcción, lo cual impacta en la velocidad y la capacidad del equipamiento informático durante la explotación del modelo BIM. Al comenzar su empleo la velocidad de carga es lenta y su volumen dificulta su uso por el usuario. Por tal razón, para el BrIM se necesita simplificar el modelo para facilitar su uso e interacción con las interfaces. Este modelo simplificado se denomina Modelo BrIM (M-BrIM) y debe ser el elemento más importante de la base de datos del SIGEP [8]. Los modelos M-BIM agilizan la evaluación y el mantenimiento de los puentes utilizando una única base de datos, lo que facilita una gestión eficiente e integrada de la información sobre puentes. Permiten la integración de datos de daños y registros de inspección dentro del mismo modelo, lo que facilita las evaluaciones de su condición estructural, funcional y su impacto social [5].

Uno de los objetivos de definir el nivel de información necesario es evitar el procesamiento de excesiva información. Las normativas internacionales más empleadas internacionalmente para definir las necesidades de información durante el CV de un activo, son las emitidas por la American Institute of Architects (AIA) [9] y la ISO 19650 [10]. Ambas normas, aunque se diferencian en la escala y designación de las diferentes etapas del CV, son compatibles y coinciden en diferenciar las etapas de concepción, diseño y construcción de la etapa de operación y mantenimiento. La AIA define en *G202-2013 Project BIM Protocol* Form [9], seis niveles LOD, el sexto: LOD 500, es el que se corresponden con la etapa OyM. Este nivel no indica un nivel superior al LOD 400, sino que indica que la geometría del elemento determinada mediante la observación de un elemento existente por medio de la observación de un elemento existente en el lugar o diseñado para su construcción.

La Norma ISO 19650.2018: *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling* [10], establece los conceptos y principios para definir el nivel de necesidad de la información que forma parte de los procesos de intercambio de información durante el ciclo de vida de los activos construidos mediante el modelado BIM. Esta norma establece nueves niveles de desarrollo y el designado como GM es el que comprende la gestión y mantenimiento de activo, incluyendo los puentes. La correspondencia entre ambas normativas se muestra en la tabla 1, recomendando emplear para Cuba la establecida por la AIA por su simplicidad y mejor adaptación a las normativas de diseño de nuestro país.

Tabla 1. Comparación entre los niveles de información entre AIA y la ISO 19650.

| Comparación entre los niveles de información entre AIA y la ISO 19650 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Etapas** | **Descripciones del nivel de desarrollo, según AIA** | | **Descripciones del nivel de desarrollo, según ISO 19650** | | |
| | **LOD** | **Descripción** | **Niveles** | **Descripción** | |
| **Etapas de construcción** | LOD 100 | Los elementos se incluyen como sistemas esquemáticos, conjuntos o agrupaciones destinadas a proporcionar un contexto | **DC** | | Diseño Conceptual |
| | LOD 200 | Los elementos se incluyen como sistemas o conjuntos generalizados con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados. | **DA** | Información de Diseño | Diseño de Anteproyecto |
| | LOD 300 | Los elementos se incluyen como conjuntos específicos precisos en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. | **DB** | | Diseño de Básico |
| | | | **DD** | | Diseño de Detalle |
| | LOD 400 | Los elementos se incluyen como conjuntos reales que muestran con precisión el tamaño, la forma, la ubicación, la cantidad y la orientación. Información completa sobre fabricación, montaje y detalles. | **CC** | Información de Construcción | Coordinación de Construcción |
| | | | **CM** | | Construcción, Manufactura y Construcción |
| | | | **AB** | | As Built |
| **Etapas de Operación y Mantenimiento** | LOD 500 | A determinar conjuntamente con el propietario según sus necesidades y especificaciones. | **PM** | Información de Operación | Puesta en Marcha |
| | | | **GM** | | Gestión y Mantenimiento del Activo |

Los modelos M-BrIM pueden ser realizados por una de las siguientes variantes:
a) A partir de la información 3D del puente, digital o papel.
b) A partir de un modelo BIM del puente.
c) A partir de levantamiento empleando la tecnología escáner 3d.

## 3. SISTEMA DE GESTIÓN DÉ PUENTES.

Un Sistema de Gestión de Puentes (SIGEP) estructurado según la tecnología BrIM se esquematiza en la figura 2.

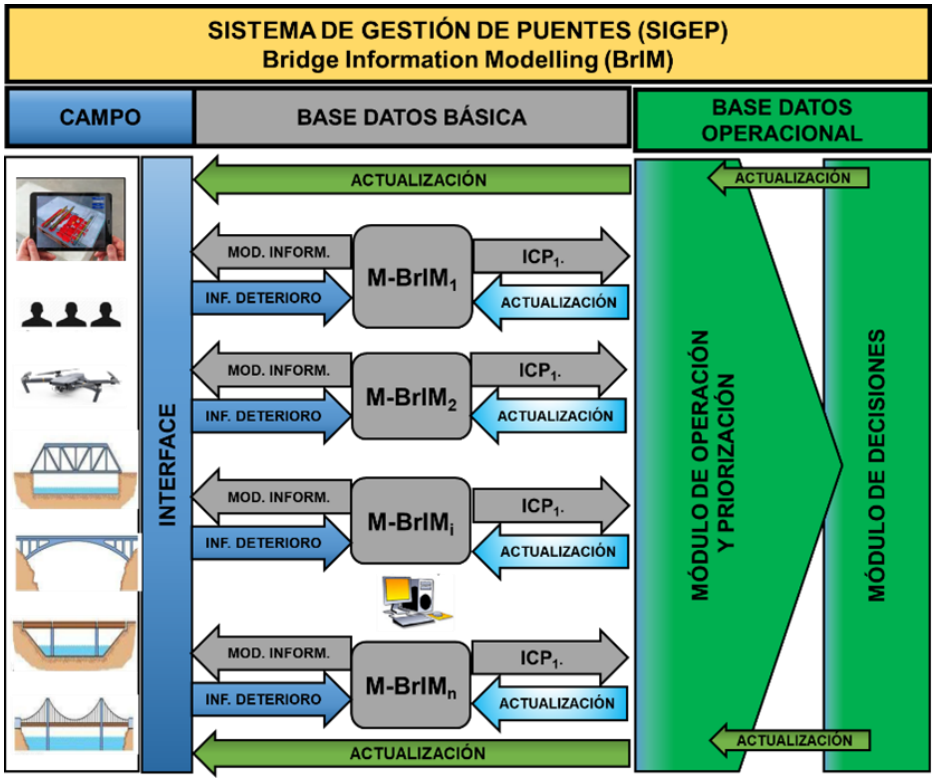



Figura 2. Esquema de un Sistema de Gestión de Puentes (SIGEP).

Este sistema se divide en tres fases:
A. Campo.
B. Base de Datos Básica (BDB).
C. Base de Datos Operacional (BDO).

La realidad física del puente y sus alrededores es determinada por parámetros descriptores obtenidos por diferentes tipos de interfaces y enviados a la BDB donde es procesada y como resultado entrega al módulo operacional del SIGEP el Índice de la Condición del Puente (ICP), el cual es el elemento fundamental para el análisis de priorización de las acciones de operación, mantenimiento y toma de decisiones. Las etapas de este sistema se detallan a continuación:

**A. Campo.** Comprende el espacio físico real del puente y su área circundante, el cual es determinado por sus variables descriptoras: geométricas, estructural, deterioro y operacional. Interactúa con las bases básicas y operacional mediante una interface que lo comunica con las bases básicas (BDB) y operacional (BDO), sirviendo de enlace entre el espacio físico y el cibernético conformando ambos el espacio ciber-físico. Esta interface comprende los levantamientos topográficos, escáner, inspecciones, señales, acciones de mantenimiento y de operación. De la BDB recibe los modelos de registros y emite los valores de las variables descriptoras registrados por personal técnico calificado, sensores, drones, ensayos, etc.

El desarrollo de las tecnologías informáticas nos permite considerar tres niveles de desarrollo:

- Inspecciones y ensayos. Es el procedimiento más utilizado mundialmente y el único que se utiliza en Cuba hasta el momento. Se basa en métodos organoléptico, ensayos no destructivos y especializados, pruebas de cargas y otros.

- Realidad Aumentada (RA). La recopilación e interpretación de los ensayos no destructivos (END) obtenidos por inspección posibilita el acoplamiento del espacio real con el virtual 3D con posibilidad de actualización en tiempo real del modelo M-BrIM, mediante el empleo de la INTERNET de las

Cosas (IoT) [11], permitiendo emplear la infraestructura de la nube que contiene los componentes de hardware y software necesario para la correcta implementación de un modelo de computación en la nube describiendo la realidad a partir de dispositivos inteligentes sin excluir los usados por los humanos.

- Realidad Virtual (RV). Es la réplica en tres dimensiones (3D) de un activo, en el caso que se presenta, un puente, se incorpora en tiempo real la información que describe su desempeño supervisando su condición y mediante análisis predictivo se garantiza el funcionamiento continuado del puente. Es una etapa superior a la RA.

El uso de la tecnología BIM combinada con la Realidad Aumentada y Virtual (AR/VR) son los componentes esenciales de la Construcción 4.0 ayudando a la reducción de los gastos y contribuyendo a su sostenibilidad [12].

Determinar el Índice de la Condición del Puente (ICP), implícitamente implica un nivel de incertidumbre. Con el objetivo de disminuir esta incertidumbre en la actualidad se están empleando herramientas de lógica difusa (fuzzy set) para la clasificación de la condición de los elementos modelando la incertidumbre de los datos visuales de la inspección, costos, velocidad del deterioro y las diferencias entre las estimaciones de los inspectores debido a factores humanos [13]. Estas técnicas se aplican en este módulo.

En general las variables que describen un puente lo caracterizan mediante índices que se establecen como la relación entre la capacidad real y la demandada para cada una de las condiciones que ellas caracterizan, cuyo valor varíe entre cero (0), para el caso más desfavorable, y uno (1) para el más favorable. El proceso por medio del cual se le asigna la pertenencia a uno de estos subconjuntos a cada variable o índice se denomina fusificación. Posteriormente se continúan con los procesos de "agregación fuzzy" y de "defusificación" para obtener la evaluación deseada [14].




Figura 3. Fusificación de las variables que describen un puente.

**B. Base de Datos Básica (BDB).** Comprende el espacio virtual o digital donde se almacena toda la información en servidores y se realiza todo su procesamiento y análisis, constituye la modelación de la información del puente (BrIM). Para garantizar la interoperabilidad entre los diferentes programas BIM, sin la pérdida o distorsión de la información, se emplea el formato de archivo IFC (Industry Foundation Classes), Este formato está regulado por la ISO 16739-1:2024. La novedad de esta reciente versión es la aprobación del formato IFC 4.3 para activos lineales, es decir, activos de "infraestructura que se extiende por el paisaje, como carreteras y ferrocarriles y todas sus características asociadas. El alcance completo incluye Carreteras, Ferrocarriles, Puertos y Vías Navegables, Puentes y los elementos comunes entre todos estos" [15].

La BDB está compuesta por el modelo BrIM y un módulo de cálculo para determinar el Índice de la Condición del Puente (ICP), lo cual se muestra en la figura 4.

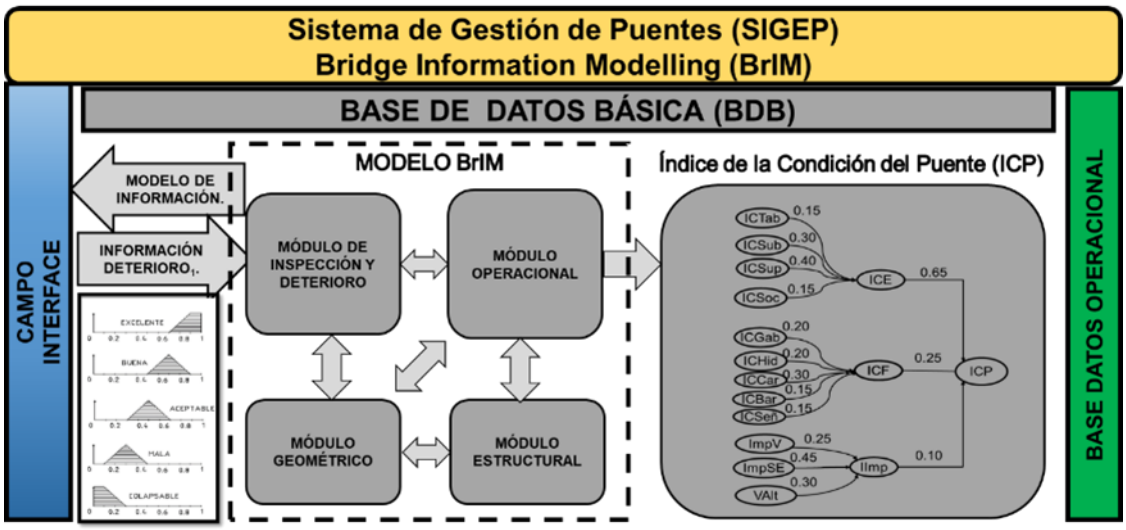



Figura 4. Esquema de la Base de Datos Básica (BDB)

El modelo BrIM está compuesto por cuatro módulos:

- Módulo informativo**.** Interacciona con el espacio campo mediante la interface campo. Contiene toda la información relacionada con el deterioro, inventario de puente, catálogos de daños, registros, procedimientos, información, tránsito, etc., y es responsable de filtrar y procesar la información a los módulos geométricos y operacional.
- Módulo geométrico. Contiene el modelo geométrico con toda la información necesaria, siendo capaz de registrar los deterioros espacialmente y según su intensidad. Es soportada por un sistema BIM, siendo los más empleados mundialmente el REVIT, ARCHICAD y ALLPLAN.
- Módulo estructural. Es un software de análisis estructural por elementos finitos (MEF) como el SAP, CSI Bridge, Minas u otros. Interacciona con el modelo geométrico del cual recibe la información y la procesa, lo que determina la capacidad resistente real de los elementos componentes y con el módulo operacional al cual le envía los resultados del desempeño estructural del puente.
- Módulo de operaciones. Interacciona con los otros tres módulos del espacio BrIM y con la fase operacional mediante el cálculo de los indicadores de desempeño del puente. Puede ser soportado por NAVIWORK.

**C. Base de Datos Operacional (BDO)**. Esta base de datos es escalonada desde niveles locales hasta nacional, y contienen el Inventario Nacional de Puentes el cual se basa en la información actualizada de cada puente y en especial por su condición (ICP). La tendencia internacional es clasificar las acciones de conservación según cuatro categorías:

- Mantenimiento
- Reparación
- Rehabilitación
- Sustitución o Alternativas.

Las funciones fundamentales de la gestión de puentes comprenden la optimización de las inversiones, el establecimiento de criterios de desempeño y niveles de financiamiento, conjuntamente con las opciones adecuadas de alcance y momento de las acciones de conservación de cada puente a lo largo de su vida útil. Los índices que caracterizan los criterios de desempeño de un puente son calculados por el módulo de operaciones y suministrado a la fase operacional.

## 4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN DEL PUENTE (ICP).

La evaluación basada en el desempeño de las estructuras de ingeniería es cada vez más importante y permite llevar a cabo la gestión del mantenimiento y la planificación a largo plazo en función de las necesidades del usuario y el propietario. *A menudo, en las evaluaciones del desempeño se utiliza el término Indicador de Desempeño (ID), que procede de la economía y mide el éxito de una organización o de una actividad concreta (como los proyectos) con la que se compromete. La aplicación de este término a los objetos físicos está vinculada a su adecuación a un fin. El ID mide la adecuación a su finalidad de un objeto físico como una carretera, un puente o uno de sus elementos* [1].

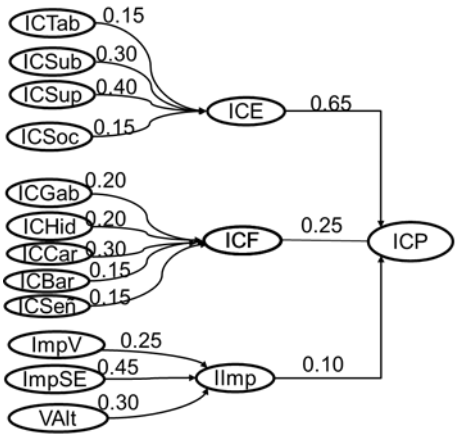
Para lograr un funcionamiento y mantenimiento óptimo de los puentes, es fundamental la toma de decisiones a todos los niveles dentro de las organizaciones explotadoras en base a la información y el conocimiento de las estructuras y su deterioro, su funcionabilidad e impactos social y ambiental, siendo necesario desarrollar indicadores que permitan evaluar los correspondientes criterios. Estos indicadores se agrupan en Indicadores de Desempeño (ID) e Indicadores Claves del Desempeño (IC). Entre estos últimos se incluye un Indicador Global (ICG) que caracteriza totalmente el puente.

Al analizar el estado del arte respecto a los criterios de desempeño de los puentes se observó que en general los elementos y componentes para su establecimiento son similares, diferenciándose en la forma de su agrupación, principalmente en los criterios no estructurales. Teniendo en cuenta las características de los puentes y la geografía cubana se proponen tres indicadores claves (ID), los que se ilustra en la tabla 2.

Tabla. 2 Indicadores claves para evaluar los criterios de desempeño.

| Criterios de Desempeño | Indicador Clave (IC) |
|---|---|
| Estado de Conservación | Índice de la Condición Estructural (ICE) |
| Grado de Funcionabilidad | Índice de la Condición de Funcionabilidad (ICF) |
| Importancia Social y Económica | Índice de Importancia (IImp) |

Como Indicador clave global (ICG) del desempeño de un puente se establece el Índice de la Condición del Puente (ICP), con un rango entre 0 y 1, el cual esquematizamos a continuación:




- **INP:** Inventario de Puentes.
- **ICPi:** Índice de la Condición de cada Puente.
- **ICE:** Índice de la Condición estructural.
- **ICTab:** Índice de la Condición del Tablero.
- **ICSub:** Índice de la Condición de la Subestructura.
- **ICSup:** Índice de la Condición de la Superestructura.
- **ICE:** Índice de la Condición Funcional.
- **ICSoc:** Índice de la Condición de la Socavación.
- **ICGal:** Índice de la Condición de los Gálibos.
- **ICHid:** Índice de la Condición Hidrológica.
- **ICCar:** Índice de la Condición de Carga.
- **ICBar:** Índice de la Condición de las Barandas.
- **ICSeñ:** Índice de la Condición de la Señalización
- **ImpV:** Índice de la Importancia de la Vía.
- **ImpSE:** Índice de la Importancia Socioeconómica.
- **VAlt:** Existencia de Vías Alternativas.

Figura 5. Red Jerárquica para la Determinación del Índice de la Condición de un Puente (ICP).

En la figura anterior, a la izquierda se indican los ID, al centro se los tres IC: Condición estructural (ICE), funcionabilidad (ICF) e importancia (IImp). Estos indicadores se relacionan por medio de factores de ponderación, siendo su determinación uno de los objetivos de un sistema de gestión de puentes. El análisis de estos IC permite establecer la toma de decisiones para las acciones de OyM.

Para problemas de toma de decisiones que involucran varios criterios de desempeño es necesario establecer un orden de preferencia o de jerarquía de las medidas de desempeño, desde el punto de vista de quien toma las decisiones. Esta clase de técnicas se desarrolla en la Teoría de la Utilidad [16], la cual se basa en las premisas de que la estructura de las preferencias de quien toma las decisiones puede ser representada por una Función de Utilidad generalmente desarrollada en tres etapas:

- Ponderación: Asignación de pesos relativos a cada uno de los múltiples criterios sobre la base de su importancia relativa.
- Escalamiento: Proporciona una escala común de medición para criterios de desempeño que tienen diferentes unidades de medida, implicando desarrollar una función de utilidad única para cada criterio.
- Síntesis: Combina las funciones de utilidad simples empleando las relaciones de ponderación en una función de utilidad general que mide el criterio de desempeño.

Al evaluar los diferentes métodos para determinar los pesos relativos se seleccionó el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Este método tiene como objetivo determinar los pesos relativos de múltiples criterios teniendo en cuenta las diferencias de opiniones de los expertos consultados. Este proceso se basa en tres principios: descomposición, juicios comparativos y síntesis de prioridades. Construye una estructura jerárquica y utiliza comparaciones pareadas (pairwise) en cada nivel para estimar los pesos relativos. En consecuencia, con la cantidad y complejidad de los criterios para evaluar el desempeño de un puente, se empleó el Modelo de Red, también denominado Proceso de Red Analítico (Analytic Network Process (ANP) como puede observarse en la figura 5.

## 5. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD.

La sostenibilidad en la industria de la construcción se basa en tres pilares independientes e interconectados: económico, social y medioambiental. Los SIGEP, se pueden considerar sostenibles al abarcar todo el ciclo de vida (CV) de los puentes. Sus dos objetivos fundamentales; prolongación de su tiempo de vida útil (VU) y la realización de acciones de mantenimiento óptimas con el fin de minimizar costos, impactos medioambientales, seguridad y disponibilidad, este último aspecto con un importante impacto social [17]. Una aproximación de los indicadores de desempeño claves (IC) con los tres mencionados pilares se puede observar en la figura 6.

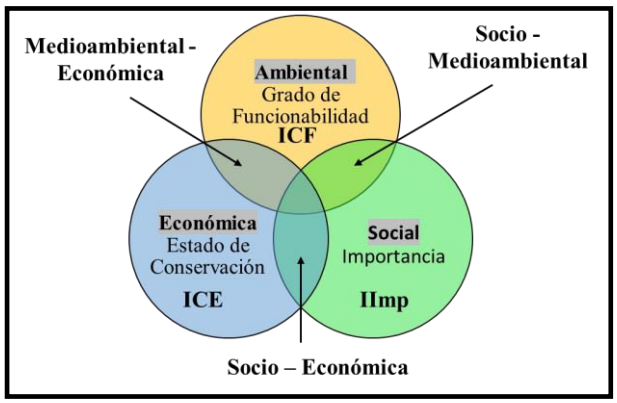



Figura 6. Correlación entre lo IC y los pilares de la sostenibilidad.

## 6. PRIORIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

Para evaluar y priorizar las acciones de conservación de un puente, el Bridge Preservation Guide [18] emplea una escala de 0 a 9 y establece valores de fronteras entre cada acción de conservación. Basado en lo anterior y teniendo en cuenta que el ICP tiene un valor de 0 a 1, se normaliza la escala del BPD y se confecciona la siguiente tabla 3:

Tabla 3. Acciones de conservación en puentes.

| Acciones de Conservación de Puentes | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Grado de Conser-vación | ICP | Tipo de Acción | | Descripción |
| 1 | <0.7 | Manteni-miento | Planificado (Cíclico) | Trabajo periódico de carácter preventivo y planificado que se realiza durante su explotación para conservar las propiedades y capacidades funcionales que son afectadas por la acción del uso, agentes atmosféricos o su combinación sin que sus elementos componentes fundamentales sean objeto de modificación o sustitución total o parcial. Su planificación se basa en la durabilidad de sus elementos componentes. |
| | | | Según Condición Estructural | |
| 2 | ≥0.7 y <0.5 | Reparación | | Acciones que se realizan durante el periodo de explotación del puente para arregla o sustituir partes o elementos componentes deteriorados. Pueden ser preventivas o correctivas. |
| 3 | ≥0.5 y <0.4 | Rehabilitación | | Acciones para restituir o incrementar la capacidad de carga de diseño del puente. |
| 4 | ≥0.4 | Sustitución o alternativa | | |

En base a la clasificación anterior se confecciona la matriz de priorización, la cual sirve de base a la toma de decisiones respecto a las acciones de mantenimiento en concordancia con los presupuestos asignados y recursos existentes. Esta matriz se estructura en dependencia de los niveles de financiamiento de cada entidad responsabilizada con las acciones OyM de puentes, lo cual se ilustra en la figura 7.

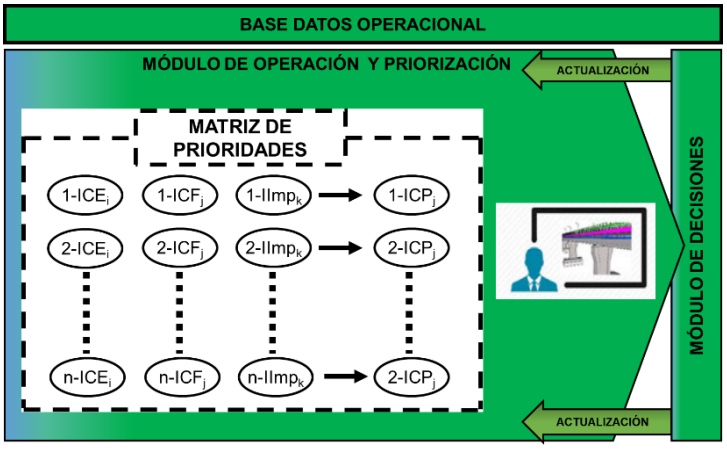



Figura 7. Esquema de la base de datos operacional.

Finalmente, el módulo de decisiones es la herramienta que permite a los expertos y decisores realizar la asignación de recursos financieros óptimamente y en concordancia con las categorías de las acciones de conservación de puentes según los diferentes niveles de administración.

## 7. CONCLUSIONES.

Se propone un esquema organizativo para un Sistema de Gestión de Puentes (SIGEP) digitalizado, empleando herramientas BIM e integrado con el Ciclo de Vida, en concordancia con la ISO 55000. Se precisa que los objetivos de un SIGEP comprenden las dimensiones 6D y 7D (Sostenibilidad y Operación y Mantenimiento, OyM) según la ISO 19650. Se establecen el nivel de información LOD 500 para la etapa de OyM. Para garantizar la interoperabilidad entre los diferentes programas BIM y según la ISO 16739-1:2024, se especifica el formato IFC 4.3 para activos lineales que incluyen las carretera y puentes.

Se propone un SIGEP dividido en tres fases: Campo, Base de Datos Básica (BDB) y Base de Datos Operacional (BDO), explicándose cada una de ellas. Para evaluar las estructuras de los puentes, su deterioro, su funcionabilidad e impactos social y ambiental, se desarrollan indicadores que permitan evaluar los correspondientes criterios. Estos indicadores se agrupan en Indicadores de Desempeño (ID) e Indicadores Claves del Desempeño (IC). Entre estos últimos se incluye un Indicador Global (ICG) que caracteriza totalmente el puente denominado Índice de la Condición del Puente (ICP). Para la determinación de estos indicadores se emplea técnicas de la Teoría de la Utilidad, la cual se basa en las premisas de que la estructura de las preferencias de quien toma las decisiones puede ser representada por una Función de Utilidad generalmente desarrollada en tres etapas: ponderación, escalamiento y síntesis. En consecuencia, con la cantidad y complejidad de los criterios para evaluar el desempeño de un puente, se empleó el Modelo de Red, también denominado Proceso de Red Analítico (Analytic Network Process (ANP). Para determinar los pesos relativos se seleccionó el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Se establece una clasificación de las acciones de mantenimiento mediante la confección de una matriz de prioridades basada en el escalafón de los indicadores claves (IC) para la determinación de las acciones de mantenimiento y su financiamiento.

Desde el punto de vista de sostenibilidad se demuestra la integración de este concepto en un SIGEP, al integrar el concepto ciclo de vida. Se expone una relación entre los tres pilares de la sostenibilidad y los indicadores claves para evaluar el desempeño de un puente.

## 8. Referencias.

1.Linneberg, P, A. Strauss. “Current and future decision-making in Danish and Austrian bridge management”. Proceedings of the 12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. 24-28 June 2024, Copenhagen, Denmark. Pag. 1099. DOI: 10.1201/9781003483755-127.
2. Lund, Mia, Langlois, Anne-Marie. “A Briefing on Life-Cycle Cost Analysis of New Bridge Design Alternatives”. Strategic Highway Research Program, AASHTO, EEUU. 2019. Pag. 11.
3. IAP-11. “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera”. Boletín Oficial del Estado, Num. 254. Ministerio de Fomento de España. 2024.
4. Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. “Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación”. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/.
5. Gragnaniello, C, Mariniello G, Asprone, D. “Strategies for effective bridge information management with OpenBIM”. Proceedings of the 12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management”. 24-28 June 2024, Copenhagen, Denmark. Pag. 2057. DOI: 10.1201/9781003483755-242.
6. ISO 55000.2014. “Asset management. Overview, Principles and Terminology”. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/052abe11-f29b-4a6c-8b9cfcb13eb3a2c5/sist-iso-55000-2017.
7. Rios, T, M. L, Cardoso, L. R. A, Montelato, B, Mognhol, T. Z. “Bridge Information Modeling (BrIM) used in the operation and maintenance of Civil Engineering Structures (CES)”, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais (Aug 2023)., vol. 17, no. 3. https://doi.org/10.1590/S1983-41952024000300004.

8. Salamak M., Januszka, M. "BrIM bridge inspections in the context of Industry 4.0. trends". Proceedings of the 12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. 9-13 Jule 2018, Melbourne, Australia, 23 pp. ISBN 978-1-138-73045-8.
9. AIA Document G202™–2013. "Project Building Information Modeling Protocol Form". Copyright © 2013 by The American Institute of Architects. https://assets.aiacontracts.com/ctrzdweb02/zdpdfs/aia-g202-2013-free-sample-preview.pdf.
10. ISO 19650.2018. "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building modelling (BIM). Information management using building information modelling". Partes 1, 2 y 3. Website: www.iso.org.
11. Gilson, K, Mallela, J, Goodrum, P. "Leveraging Augmented Reality for Highway Construction". Publication No.: FHWA-HRT-20-037. 2020. https://highways.dot.gov/research.
12. Karmakar A, Kumar Delhi, V. S. (2021). "Construction 4.0: What we Know and Where we Are Headed". www.itcon.org - Journal of Information Technology in Construction. ISSN 1874-4753.
13. Amin, Amini y Navid, Nikraz. "A Fuzzy Approach for Maintenance Management of Urban Roadway Bridges". Fuzzy Information and Engineering, Vol. 11, No. 1, 12–38. 2019. https://doi.org/10.1080/16168658.2021.1886810.
14. Hernández Delgado, Pedro A, González Arestuche, Luís R. "Análisis Neuronal de Variables Fusificadas para la Caracterización y Determinación del Rating de un Puente de Carretera". Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 4, núm. 1, abril, 2010. E-ISSN:1990-8830. articulo.oa?id=193915919005.
15. IFC 4.3. 2021. "Deployment guidelines for IFC 4.3.x". BuildingSMART International. https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/#:~:text=This%20is%20the%20official%204.3.2.0%20documentation%20for%20%22IFC%204.3%22.%20It.
16. Kogut, Anna. "Building Information Modeling based Bridge Sustainability Analysis". Jorma Säteri, Head of School. Bachelor of Engineering. Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finlandia. Abril 2019. https://www.metropolia.fi/en.
17. Patidar V, Labi S, Sinha, Kumares C, Thompson P. "Multi-Objective Optimization Bridge Management Systems" National Cooperative Highway Research Program. NCHRP_RPT 590, 2007. Transportation Research Board of the national Academies. Library of Congress Control Number 2007905890.
18. Federal Highway Administration (FHWA). "Bridge Preservation Guide10 (BPD 2018)". U.S. Department of Transportation.

**Sobre los autores.**

Ingeniero Civil Pedro Antonio Hernández Delgado (https://orcid.org/0009-0001-5673-675X) es Asesor de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Además es Licenciado en Física por la Universidad de La Habana y pertenece a la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. El Ingeniero Civil Antonio Amaury Medina Morante (https:/orcid.org/0009-0000-6081-5314) es Viceministro del Ministerio de la Construcción de la República de Cuba, Master en Ciencias y Profesor Asistente de la Universidad Tecnológica de La Habana, es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. El Ingeniero Civil Héctor Alfonso Pérez (ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2203-7600) es Gerente Técnico de Polímeros del Caribe SRL, Master en Ciencias y Profesor Asistente de la Universidad de Matanzas, miembro de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba y de ALCONPAT. El ingeniero Civil José Alfonso Macías Mesa (https://orcid.org/0000-0003-2639-5998) es Catedrático y Profesor Visitante de la Universidad de Matanzas, Doctor en Ciencias Técnicas y es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA PARA LA GESTIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

**Liamnisbel Hernández Peña[1], Alessandro Merlo[2] Ricardo Remond Noa[3], Sergio E. Ricardo Desdín[4], Sergio R Arencibia Iglesias[5]**

[1] GEOCUBA, GEODESA, Loma y 39, Plaza de la Revolución. La Habana Cuba. lia@geodesa.geocuba.cu, [2] UNIFI, DIDA, Florencia, Italia. alessandro.merlo@unifi.it , [3] Universidad de la Habana, La Habana Cuba. remond@geo.uh.cu, [4] GEOCUBA, 19 y 84, Playa. La Habana Cuba. sergior@geocuba.cu, [5] Colegio San Gerónimo, Universidad de la Habana, La Habana Cuba. remond@geo.uh.cu,

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un Sistema para la Gestión y Diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico, es el resultado de una investigación interdisciplinaria en la que se vinculan métodos científicos con el empleo del potencial tecnológico de la Geomática en función del Patrimonio Arquitectónico. Es aplicable a todo tipo de bien patrimonial (urbanos o rurales), basado en fundamentos matemáticos para predecir y diagnosticar el comportamiento y la presencia de deterioros en las edificaciones. Se favorece mediante el desarrollo informático y como resultado permite la gestión integral, visualización bidimensional y tridimensional del área de estudio con posibilidades de realizar consultas, análisis estadísticos, determinación de probabilidades y diagnósticos integrales del Patrimonio Arquitectónico. Todo lo anterior posibilita el ahorro de recursos en el sector de la construcción, permite conocer durante la elaboración de los proyectos, los materiales que se deben emplear, a partir del análisis de las variables ambientales en la zona. Favorece los procesos de mantenimiento y conservación del bien patrimonial; la productividad y calidad en la elección de los materiales para la restauración a partir de los diagnósticos y además permite evaluar el impacto del medio ambiente en el deterioro de las edificaciones a partir de mediciones ambientales y viceversa.

**PALABRAS CLAVES:** deterioros, diagnóstico, Modelos de Información de Edificaciones Patrimoniales, patrimonio arquitectónico, SIG.

## SYSTEM FOR THE MANAGEMENT AND DIAGNOSIS OF ARCHITECTURAL HERITAGE

## ABSTRACT

The System for the Management and Diagnosis of Architectural Heritage is the result of an interdisciplinary research in which scientific methods are linked to the use of the technological potential of Geomatics in terms of Architectural Heritage, applicable to all types of heritage assets (urban or rural), based on mathematical foundations to predict and diagnose the behavior and the presence of pathologies in buildings and favored through computer development for comprehensive management, two-dimensional and three-dimensional visualization of the study area with the possibility of carrying out consultations, statistical analysis, determination of probabilities and integral diagnoses of the architectural heritage, all of which allows savings of resources in the construction sector, offers the possibility of knowing during the elaboration of the projects, the materials to be used, from the analysis of the environmental variables in the area, favors the processes of maintenance and conservation of the heritage property; The productivity and quality in the choice of materials for restoration based on the diagnoses and also allows to evaluate the impact of the environment on the deterioration of the buildings based on environmental measurements and vice versa.

**KEY WORDS:** deterioration, diagnosis, HBIM, architectural heritage, GIS.

**NTRODUCCIÓN**

El mundo se encuentra en constante desarrollo y avance tecnológico; la aplicación de nuevas tecnologías en función de los estudios urbanos y más específicamente para la conservación del Patrimonio Arquitectónico (PA) dentro de zonas urbanas de relevancia y zonas rurales, constituye un reto importante que aporta ventajas cualitativas y cuantitativas tanto para la economía como para la sociedad. Los procesos de adaptación tecnológica y su dinámica dependen en gran medida de la interacción con la sociedad, con la forma en que esta la acepta, la regula, la gestiona, difunde y aplica [1].

La aplicación de tecnologías geomáticas para la recolección de información espacial, ha revolucionado los levantamientos morfométricos, los cuales, además de elaborar y mejorar metodologías de ejecución de trabajos de campo, proporcionan ahorro de tiempo y costos en los procesos de documentación y levantamiento, además generan densas nubes de puntos y mallas 3D, que luego de su procesamiento, permiten la obtención de nuevos productos en diversas ramas como la geografía, arquitectura, arqueología, construcción, medicina, criminalística, ingeniería civil, etc. Los resultados obtenidos tras el empleo de estos avances generan un impacto positivo en los países donde se utilizan.

Asociado al desarrollo tecnológico debe ser visto el impacto y la relación de este con el medio ambiente, medio geográfico y viceversa, teniendo en cuenta que los estudios que se realicen empleando tecnologías innovadoras en función del desarrollo; debe contribuir al equilibrio ambiental, social, económico y físico del territorio y a su vez debe ser analizada la influencia que tiene el medio geográfico en el deterioro de las infraestructuras.

El PA constituye en la actualidad una premisa fundamental para el desarrollo socioeconómico y la reafirmación de la identidad cultural de las ciudades, este revela su historia, y transmite de generación en generación con muestras palpables los estilos de vida de nuestros antepasados, por lo que es de vital importancia su conocimiento y conservación.

Es importante además en el desarrollo del turismo, pues su conservación propicia que personas de otras partes del mundo viajen para conocer esos símbolos de identidad, lo que mejora la economía local, la calidad de vida y el refuerzo de la identidad nacional. Los turistas no son meros actores pasivos que observan los sitios históricos desde lejos, sino que desean involucrarse en la cotidianidad del destino y sentir que son parte de él. Desean experimentar algo auténtico durante el tiempo de su estadía y se interesan en consumir productos y servicios que perciben como tradicionales [2]. Todo esto favorece además que los visitantes tengan una experiencia única y de calidad.

Esta investigación es el resultado de una tesis doctoral conjunta que se realiza en el programa de doctorado de Arquitectura, Proyecto, Conocimiento y Salvaguarda del Patrimonio Cultural de la Universidad de Florencia, Italia y el programa de doctorado de Geografía de la Universidad de La Habana, apoyados en varios proyectos de investigación como el Proyecto Internacional “¡Que no baje el Telón!” y el proyecto Sistema para la Gestión del Patrimonio Arquitectónico. También se reconoce el apoyo de la Universidad de Florencia, la Universidad de la Habana, el colegio San Gerónimo y la Empresa GEODESA, que han ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en esta investigación para lo cual también existen convenios de cooperación entre estas entidades y el politécnico de Milano, Italia. Esta investigación integra las geociencias con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), posibilitando la adquisición, procesamiento, análisis, interpretación y gestión de datos morfométricos adquiridos por distintos métodos, como la fotogrametría, la teledetección y los sistemas de posicionamiento global (GNSS). Sea cual sea la herramienta o el procedimiento adoptado para la documentación digital del PA, lo que se obtiene son siempre nubes de puntos, con o sin información cromática, que describen las superficies de los objetos del espacio circundante. A partir de estos datos los procedimientos *Scan to BIM* permiten crear modelos 3D paramétricos, cada vez más fieles a la realidad, a los que se pueden asociar bases de datos.
En el contexto de la conservación del PA, la información sobre los datos geográficos y ambientales, como la conformación y las características del suelo, el nivel de humedad, la temperatura, etc., adquieren especial relevancia, ya que contribuyen a la aparición de la mayor parte de las degradaciones que pueden producirse en las superficies y la alteración de las estructuras.

Relacionar estos datos con la configuración geométrico-dimensional de un edificio supondría predecir la aparición de posibles problemas con un cierto grado de fiabilidad, lo que permitiría aplicar una serie de medidas preventivas.

Esta investigación es aplicable no solo en edificaciones existentes, sino en áreas de proyecto ya que el estudio previo del análisis de las condiciones del entorno y el comportamiento de las variables ambientales permite predecir las posibles apariciones de deterioros, teniendo en cuenta el tipo de material que se empleará en la construcción en el área de proyecto, lo que favorece la toma de decisiones y poder tomar medidas para el mantenimiento e incluso para la selección adecuada de los materiales a emplear según las condiciones medioambientales.

El caso de estudio para la validación de la investigación es la Facultad de Artes Escénicas y su alrededor, pertenecientes al Instituto Superior de Arte (ISA). Este es también el objeto de estudio del importante proyecto de cooperación "¡Que no baje el telón!" firmado por la Agencia Italiana de Cooperación al Desarrollo (AICS) y el Ministerio de Cultura (MINCULT) por la parte cubana, con el objetivo de rehabilitar y restaurar la sede original de la Facultad para que pueda volver a tener un papel fundamental en la preparación de artistas socialmente comprometidos y con una excelente formación académica.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales en el desarrollo del procedimiento se emplean las tecnologías para el levantamiento topográfico y fotogramétrico como los Escáner Láser Terrestre (ELT), Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) y cámaras fotográficas.

Los VANT son aeronaves que vuelan sin tripulación y ejercen su función remotamente [3]. Estos son capaces de realizar tomas fotográficas y de videos y en postprocesamiento permiten la generación de nubes de puntos, vistas aéreas y ortofotos que tienen disímiles aplicaciones. Otra de las tecnologías que se emplean son las cámaras fotográficas, las cuales son dispositivos utilizados para capturar imágenes o fotografías. Se emplea, además, el ELT, que es un instrumento topográfico moderno que permite obtener modelos tridimensionales de nubes de puntos, los cuales al ser procesados y exportados hacia otros *software* de diseños, permiten crear modelos 3D paramétricos, generación de planos de planta "*As Built*", alzados, secciones, etc. Poseen una precisión de 0.2 mm, lo que proporciona una gran ventaja respecto a los levantamientos con métodos tradicionales o con técnicas menos sofisticadas, que además del error implícito del instrumento y de los que puedan influir por las condiciones ambientales, también incluye la los errores humanos, [4].

*Software* de procesamiento:
El *software Cyclone* se compone por cinco módulos individuales principales, *Cyclone Scan*: Controla el proceso de escaneado del equipo, *Cyclone Register*: Ofrece un conjunto de herramientas para registrar o georreferenciar las nubes de puntos escaneadas desde distintas posiciones de manera rápida y precisa, *Cyclone Survey*: Permite extraer la información de las nubes de puntos, *Cyclone Model*: posibilita extraer, medir elementos y crear modelos 3D, *Cyclone Publisher*: Permite publicar los datos en formato de vista panorámica y visualizarlos desde cualquier lugar del mundo mediante Internet Explorer con el *plugg-in TrueView* [5].

En el *software* gratuito *TruView*, además de la simple visualización, medición y marcado, los usuarios también pueden controlar unidades de medida; extracción de coordenadas, texto, rectángulos y círculos, guardar vistas específicas y marcas con una cámara de visión asociada; crear sencillos "mapas del sitio" [6]. Es fácil de encontrar la ubicación del escáner para la visualización de nubes de puntos, permite definir elementos específicos de interés, como las edificaciones patrimoniales de un interés específico, clasificaciones del Patrimonio en una zona urbana, agregar atributos de comentarios, incluyendo hipervínculos a esta etiqueta, extraer coordenadas, medir distancias, etc.

El *Software PhotoScan* es un tipo de *software* autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D, es usado en aplicaciones SIG, documentación de

patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas [7].

El *software Revit* es conocido por su uso y utilidad con respecto al modelado de información de construcción. Es un programa que se utiliza para el modelado BIM, se puede abordar y tratar todo lo relacionado con el proyecto de un edificio o una construcción, desde su diseño hasta el levantamiento y puesta en marcha, pues el programa permite simular y trabajar en la construcción con exactitud. Permite presentar y visualizar proyectos de gran envergadura o de todo tipo y enseñarlos a la hora de mostrar un proyecto a un cliente o en una reunión del equipo de trabajo. Facilita, además, diseñar el edificio para comprobar si funciona bien el diseño y qué necesita mejorar [8]. Este *software* como otros *software* BIM permite a partir de bibliotecas HBIM [9], la modelación 3D del Patrimonio, modelando obras específicas y generalizando a partir del procedimiento desarrollado para la gestión de varias obras patrimoniales, por lo que posibilita la gestión territorial del PA.

Se emplean además métodos científicos como los teóricos (análisis-documental, histórico-lógico, hipotético-deductivo, la modelación) y los empíricos (observación, medición, experimento) y el dialéctico materialista como método general del conocimiento.

## 2. CASO DE ESTUDIO

**Facultad de Artes Escénicas del ISA**

El área específica que ocupa la Facultad de Artes Escénicas, la cual forma parte de las cinco Escuelas de Arte del ISA (Danza Moderna, Artes Plásticas, Artes Dramáticas, Música y Ballet – Fig. 1), fue proyectada por el arquitecto italiano Roberto Gottardi y construida, parcialmente, entre 1961 y 1965 solo el 35%.

El diseño de las escuelas inicialmente estaba compuesto por tres principios rectores: primero, las Escuelas deberían respetar y responder al ambiente verde del antiguo *Country Club*. Como segundo principio se debían emplear materiales de producción nacional debido a la escasez de recursos y a la subsecuente inflación en el precio de los materiales importados, así fue como los ladrillos y las tejas de terracota se convirtieron en los principales materiales utilizados en la construcción de las Escuelas. El tercero principio consistía en utilizar la bóveda catalana como principal sistema estructural [10].



Fig. 1 Las Escuelas de Arte de Cubanacán (créditos: Archivo Gottardi).

La Escuela de Arte dramático se encuentra al este de la escuela de danza moderna, en un lugar que baja a una curva de densa vegetación en el río Quibú. Esta escuela y la de música habrían sido las más grande del complejo si se hubieran construido íntegramente [11].

Como parte de las tareas a realizar, se llevó a cabo un estudio geográfico de las condiciones ambientales, con el fin de analizar el impacto de las variables ambientales en el deterioro de las estructuras y elementos constructivos.

## 3. PRINCIPALES RESULTADOS

La investigación aborda la propuesta de un Modelo (SIGEDPA) Sistema para la gestión y el diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico (PA) (Fig. 2). Para ello se describen los diferentes procedimientos que permiten la realización del levantamiento digital, el procesamiento de la información, el desarrollo de los Modelos de Información de Edificios Patrimoniales (HBIM), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la vinculación entre ellos, la gestión y el diagnóstico patológico y la obtención de los resultados. Permite, además, el desarrollo de una herramienta informática para la implementación del sistema desarrollado y los análisis estadísticos y documentales que permiten obtenerse como resultados prácticos.

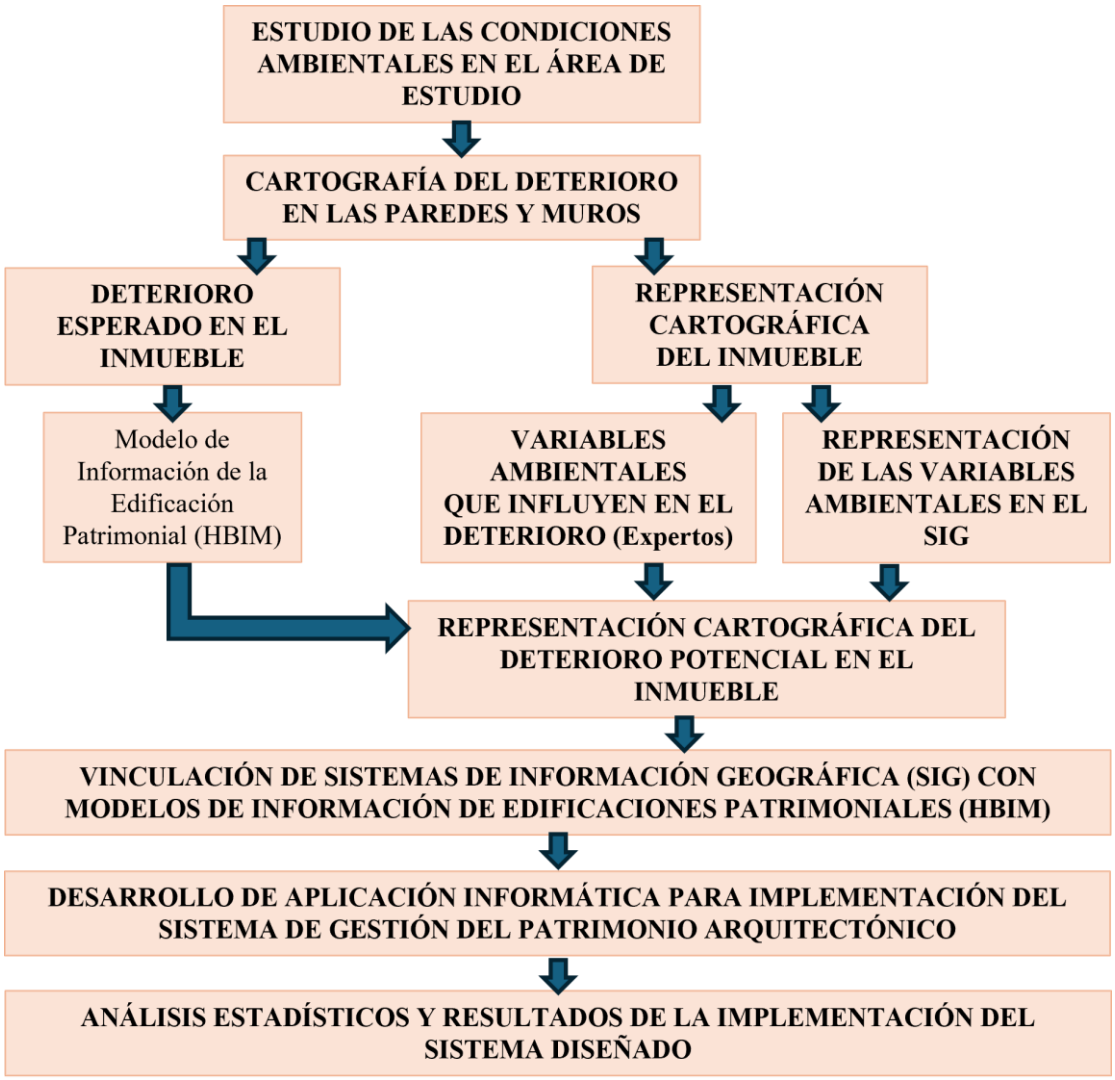



Fig. 2 Esquema que describe el Sistema para la gestión y diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico (fuente: elaborada por los autores).

Se trata de una investigación interdisciplinar que relaciona el análisis conjunto del uso de las tecnologías geomáticas en el levantamiento digital para lograr la modelación SIG (Fig. 3) y HBIM (Fig. 4), donde el

SIG permite analizar la influencia del medio físico geográfico en el PA y su impacto en el medio ambiente, lo que conecta la Geomática, la Geografía y la Arquitectura.

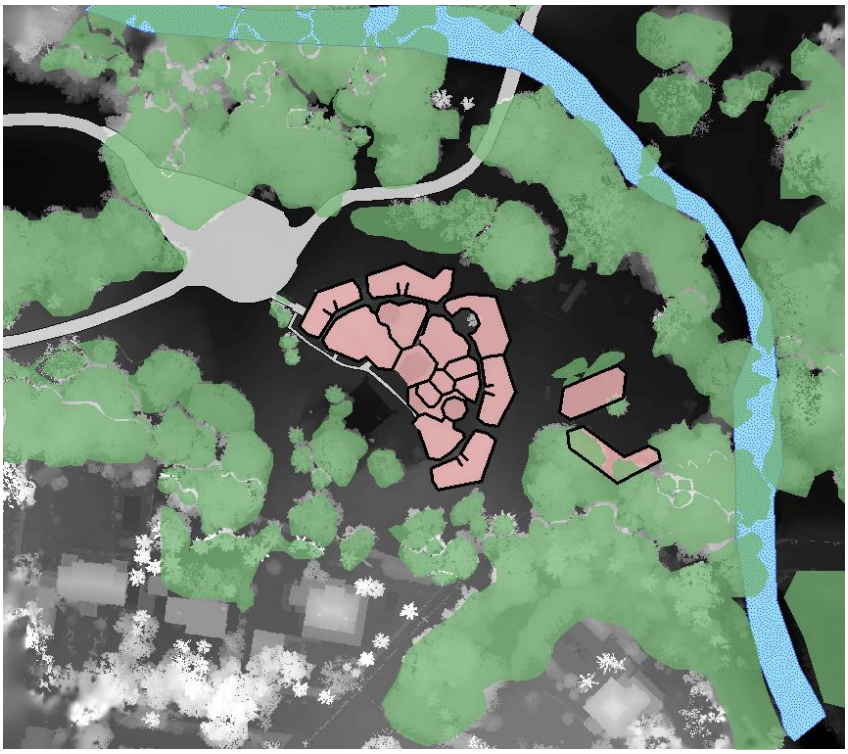


Fig. 3 Desarrollo del Sistema de Información Geográfica en el área de estudio (fuente: elaborado por los autores).

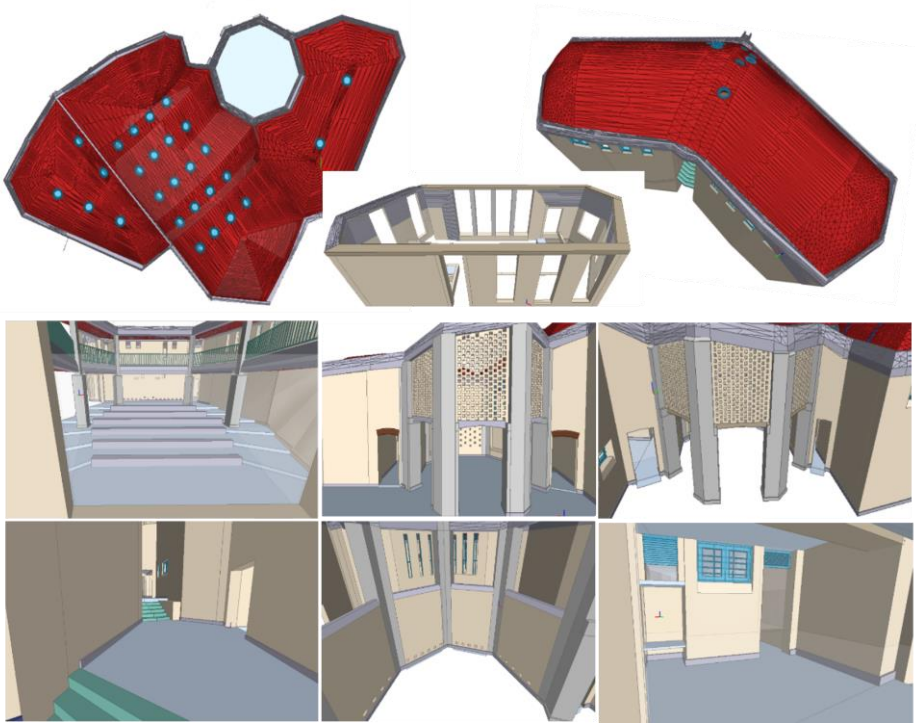


Fig. 4 Modelación HBIM en el área de estudio (fuente: elaborado por la autora).

La modelación matemática relaciona los procedimientos y cálculos necesarios, basados en métodos científicos, para determinar las condiciones propicias que pueden provocar la aparición de deterioros a partir de la influencia de las variables ambientales sobre el PA. Esto permite obtener mapas temáticos de la influencia de las variables en las paredes y muros de la instalación (Fig. 5). Por último, las ventajas de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) facilitan la validación del método propuesto mediante la posibilidad del desarrollo de una herramienta que permite vincular todos los resultados, de una manera eficiente y precisa (Fig. 6).

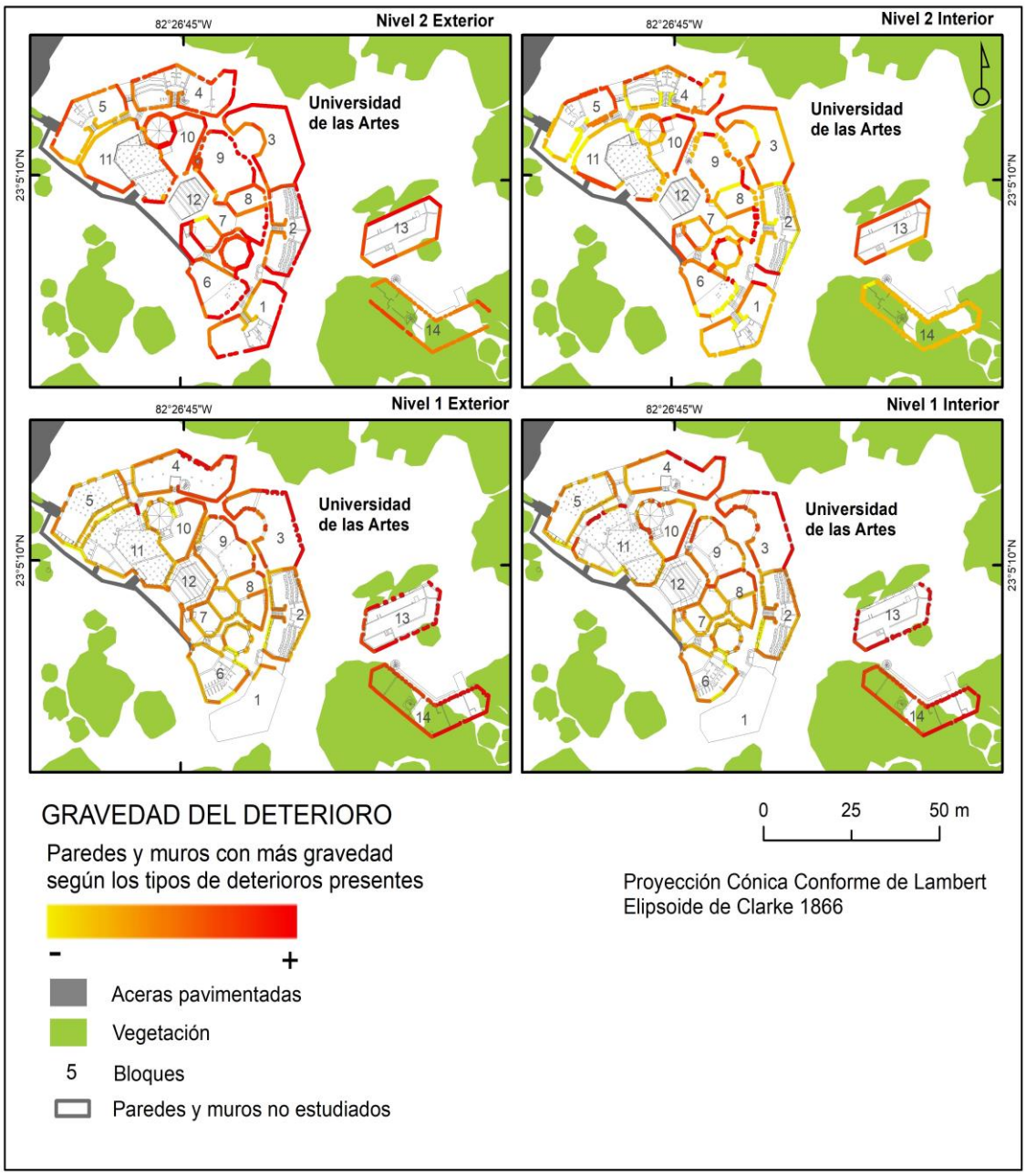



Fig. 5 Mapas temáticos que representan la gravedad del deterioro en la instalación a partir de análisis multicriterio (fuente: elaborado por la autora).




Fig. 6 Herramienta informática desarrollada para el diagnóstico y gestión del Patrimonio Arquitectónico (fuente: elaborado por la autora).

Como resultados prácticos, permite la representación del modelo geométrico HBIM con los elementos geográficos de la zona y la conexión entre ellos. La visualización en un único modelo de los elementos correspondientes al SIG y HBIM con la integración de datos topográficos con tecnologías geomáticas y mediciones de variables ambientales, lo que permite la documentación del PA, la obtención de datos de variables ambientales a través de servicios de Internet, posibilita realizar consultas personalizadas a partir de las bases de datos incluidas en el SIG y HBIM, la gestión, análisis, mediciones y relaciones entre elementos SIG-HBIM mediante la creación de herramientas, la generación de mapas temáticos a partir de mediciones ambientales y su conexión con productos geomáticos e integración de elementos SIG y HBIM, la creación automatizada de relaciones patológicas, la representación de planos de deterioros en muros y fachadas, la representación de mapas de deterioros a partir de los análisis realizados y la determinación de la probabilidad de aparición de estos mediante el modelo matemático desarrollado.

## 4. CONCLUSIONES

1. El diagnóstico del deterioro de inmuebles con valores patrimoniales a través de la tecnología HBIM-SIG es un procedimiento complejo en el que hay que considerar varios factores y tecnologías y donde el proceso no es totalmente automatizado y requiere la intervención de los expertos en varios momentos en los que sus decisiones influyen notablemente en los resultados.
2. La mayor parte de los enfoques empleados para el diagnóstico patológico del PA no ha incorporado en los análisis con HBIM la influencia de las variables ambientales y los que lo han hecho no revelan el algoritmo a seguir para su vinculación con los SIG.
3. El empleo de forma combinada de las tecnologías de los Escáner Láser y los vehículos aéreos no tripulados (VANT) permitió la representación cartográfica en dos y tres dimensiones de la

Universidad de las Artes de Cuba, y la generación de un sistema de Información de la Edificación con información detallada de sus paredes, muros y techos.

4. Las herramientas de análisis espacial y modelación presentes en los SIG posibilita el análisis de la influencia de las variables ambientales y la elaboración de un modelo matemático que permitió identificar las condiciones más favorables para la aparición de los deterioros estudiados en las paredes y muros de la instalación.

## 5. REFERENCIAS

[1] Carreton, A. El Patrimonio Urbano - Patrimonio Inteligente. Patrimonio Inteligente. https://patrimoniointeligente.com/patrimonio-urbano, 2018

[2] R. Sims, "Food, place and authenticity: Local food and the sustainable tourism experience." *J. Sustain. Tour.*, vol. 17(3) pp. 321–336, 2009.

[3] "Vehículo Aéreo No Tripulado" *Muy Tecnológicos*, 2023, [Online]. Available: https://muytecnologicos.com/diccionario-tecnologico/vehiculo-aereo-no-tripulado-uav.

[4] Consulting and construction Group, "Levantamiento Topográfico con Escáner Láser" 2023.

[5] Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, "Leica Cyclone MODEL" *HEXAGON*, 2023.

[6] Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, "Familia Leica TruView - Colaboración más inteligente para datos de realidades digitales" *HEXAGON*, 2023.

[7] J. E. Nieto, J. Moyano and Á. García Gastón, "Estudio constructivo del Palacio de los Niños de Don Gome (Andújar, Jaén), gestionado desde el proyecto HBIM," *Virtual Archaeol. Rev.* vol. 10, no. 20, p. 84, 2019, doi: 10.4995/var.2019.10567.

[8] F. L. Montañez Chaparro and J. A. Rincón Garzón, "La geomática: definición, características, objeto y método de estudio" Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015.

[9] J. E. Nieto-Julián, L. Lara, and J. Moyano, "Implementation of a teamwork-hbim for the management and sustainability of architectural heritage," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–26, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042161.

[10] M. Paradiso, *Las escuelas nacionales de arte de la Habana: Pasado, presente y futuro*. 2016.

[11] J. A. Loomis, *Una Revolución de Formas. Las olvidadas escuelas de Arte de Cuba*, No 1. Barcelona, 2015.

**Información sobre los autores**

Liamnisbel Hernández Peña. Ingeniera "Hidrógrafo Geodesta" y Máster en "Geomática". Directora de Investigación y Desarrollo en la Empresa GEODESA. Categoría Científica de investigadora agregada. Miembro de la UNAIC y del Consejo Científico Geocuba UCT-IC. Estudiante en el programa de doctorado de Arquitectura, Proyecto, Conocimiento y Salvaguarda del Patrimonio Cultural en la Universidad de Florencia (Italia) y en el programa de doctorado de Geografía en la Universidad de La Habana. Estudiante de Ingeniería Informática en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI).

Alessandro Merlo (Arquitecto) Doctor en Arquitectura, Profesor asociado de Dibujo (profesor titular) - Estudio Arquitectónico y Urbano. Director del máster de posgrado "Valorización del patrimonio cultural Director del Laboratorio de Gestión del Patrimonio Cultural (CHMLab). Miembro del Consejo Académico del Doctorado en Arquitectura. Universidad de Florencia, DiDA_Departamento de Arquitectura, Santa Verdiana.

Ricardo Remond Noa. Doctor en Ciencias Geográficas, Profesor Titular, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la tierra aplicado al estudio del medio ambiente, el turismo y el ordenamiento territorial. Ha sido el coordinador de varios proyectos de investigación en Cuba y el exterior, financiados por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Universidad de Lovaina, Bélgica. Coordinador de la Maestría en Geografía, Medio ambiente y Ordenamiento Territorial de la Universidad de La Habana.

Sergio Edilio Ricardo Desdín. Grupo Empresarial GEOCUBA. Ingeniero Aerofotogeodesta (1992). Obtuvo el título de Doctor en Ciencias Técnicas y la Categoría Científica de Investigador Auxiliar, en el

2009. Fue nombrado Coordinador General de la Empresa GEODESA en el 2010. En el 2017 fue designado Coordinador General de la Unidad Científico-Técnica GEOCUBA Investigación y Consultoría (UCT-IC) hasta diciembre del 2019. El 1 de enero del año 2020, fue designado nuevamente a la Dirección General de la OSDE en el cargo de director de Gestión Tecnológica y en el 2022 fue nombrado director Adjunto del Grupo Empresarial GEOCUBA hasta la actualidad.

Sergio Raymant Arencibia Iglesias. Decano del Colegio Universitario San Gerónimo de La Habana. Arquitecto (2000), Master en Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Construido (2004), Doctor en Ciencias Técnicas (2019). Profesor Titular. Premio Universidad de La Habana 2019. ha impartido docencia de posgrado y pregrado en la CUJAE y en el ISA. Miembro de la UNAIC, ICOM, de la Comisión Provisional de Monumentos. Estancia posdoctoral 2023 en el CSIC - UGR, España.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# AJUSTE DE HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL PARA EVALUAR EDIFICACIONES

**Liyen Pérez Quiñones[1], Marietta Llanes Pérez[2], Alejandro López Llanusa[3]**

[123]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, calle 114 #11901, e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
e-mail: [1]liyenperez7@gmail.com, [2]marietta@civil.cujae.edu.cu, [3]alo@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La forma correcta de intervenir los daños en una edificación es a partir del estudio de las características de las lesiones y de las causas que dieron lugar a su aparición. Para ello, es conveniente contar con herramientas en la recopilación de información, el procesamiento de datos y el análisis de resultados. En la rama de la industria, la aeronáutica, el transporte, entre otros, se ha desarrollado la confiabilidad operacional como una filosofía de mejora de los procesos. Dentro de esta existen diversas herramientas como el análisis de criticidad, el método de los impactos y la técnica de Pareto, que permiten determinar la criticidad de un deterioro, elemento o sistema. Por no contar con evidencias de que estas hayan sido empleadas para evaluaciones constructivas, fue necesario ajustar la terminología, los parámetros y sus ponderaciones. Para la validación de los ajustes propuestos se empleó el método Delphi donde participaron 20 especialistas. En el análisis de criticidad queda-ron establecidos los niveles e índices de frecuencia, impacto y detectabilidad, así como los campos, atributos y niveles de importancia para cada uno de ellos, que además, serán empleados en la técnica de Pareto para el análisis de las consecuencias. En el método de los impactos se definieron 16 parámetros y sus categorías para la evaluación técnica, funcional y económica de la edificación. Estas herramientas permiten la evaluación de los sistemas de una edificación de forma integral, pues se consideran las afectaciones de los daños constructivos sobre campos funcionales, sanitarios, ambientales y económicos.

**PALABRAS CLAVES:** Herramientas de evaluación de edificaciones, ajuste y validación de herramientas, método Delphi

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN LOS ESTUDIOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

**Eduardo Tejeda Piusseaut.** Docente Titular Principal Nivel 1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: eduardo.tejeda@utm.edu.ec

**Kelvin José Franco Mera.** Estudiante de Posgrado. Maestría Académica con trayectoria profesional en Ingeniería Civil, Mención Vialidad. Facultad de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: kfranco2884@utm.edu.ec

**Andrade Fernánde Einstein Enmanuel.** Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles. eandrade8763@utm.edu.ec

**Italo Humberto Navarrete Garcia.** Docente Titular Principal Nivel 1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: italo.navarrete@utm.edu.ec

**RESUMEN**

La cámara termográfica permite detectar la radiación emitida por un objeto, transformándola en una imagen visible que muestra las variaciones de temperatura a través de un patrón de colores, sin requerir contacto físico. Este estudio explora dos aplicaciones de la termografía en pavimentos flexibles: la evaluación de las temperaturas durante la pavimentación y la correlación entre la temperatura superficial del pavimento y la temperatura ambiente. Se utilizó una cámara termográfica para medir la temperatura de la mezcla asfáltica, capturando imágenes térmicas durante las fases de extensión y compactación de la mezcla asfáltica en caliente. Se propone un procedimiento para analizar las variaciones térmicas a partir de las imágenes obtenidas, permitiendo comparar las temperaturas registradas con los valores recomendados en cada etapa del proceso y detectar desviaciones que podrían afectar la calidad del pavimento. Además, se empleó la termografía infrarroja para medir la temperatura de pavimentos asfálticos en distintos puntos de la ciudad, registrando simultáneamente la temperatura ambiente y la humedad relativa. Mediante un análisis estadístico, se evaluaron modelos polinómico y lineal para correlacionar la temperatura superficial del pavimento con la temperatura ambiente, concluyendo que el modelo lineal, que explica el 66.6% de la variabilidad, es el más adecuado. Este modelo resulta útil para determinar la temperatura crítica de la capa asfáltica y ajustar su resistencia en el diseño de pavimentos, considerando las condiciones ambientales específicas de Portoviejo.

**Palabras clave:** Termografía, pavimento flexible, temperatura de pavimentación, emisividad

# APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY IN ASPHALT PAVEMENT STUDIES

**ABSTRACT**

The thermal imaging camera detects the radiation emitted by an object, transforming it into a visible image that shows the temperature variations through a color pattern, without requiring physical contact. This study explores two applications of thermography in flexible pavements: the evaluation of temperatures during paving and the correlation between the surface temperature of the pavement and the ambient temperature. A thermal imaging camera was used to measure the temperature of the asphalt mixture, capturing thermal images during the spreading and compaction phases of the hot asphalt mixture. A procedure is proposed to analyze the thermal variations from the images obtained, allowing the comparison of the recorded temperatures with the recommended values at each stage of the process and to detect deviations that could affect the quality of the pavement. In addition, infrared thermography was used to measure the temperature of asphalt pavements at different points in the city, simultaneously recording the ambient temperature and relative humidity. Using statistical analysis, polynomial and linear models were evaluated to correlate pavement surface temperature with ambient temperature, concluding that the linear model, which explains 66.6% of the variability, is the most suitable. This model is useful for determining the critical temperature

of the asphalt layer and adjusting its resistance in pavement design, considering the specific environmental conditions of Portoviejo.

**Keywords:** Infrared Thermography, Pavement Temperature, Linear Regression, Elastic Modulus, Flexible Pavement.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA PARA LA INSPECCIÓN DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO

**José Alfonso Macías Mesa[1], Hector Alfonso Pérez[2], Antonio Amaury Medina Morante[3], Pedro Antonio Hernández Delgado[4]**

[1]Universidad de Matanzas, [2]Polimeros del Caribe SRL, [3]Ministerio de la Construcción de República de Cuba, dgdesarrollo@oc.micons.gob.cu, [4]Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería

E-mail: [1]ammibi55@gmail.com, [2]hector.alfon@gmail.com, [3]dgdesarrollo@oc.micons.gob.cu, [4]pedro-hernandez@empai.cu

**RESUMEN**

En la era de las ciudades inteligentes, herramientas como la Inteligencia Artificial (IA) y el análisis de big data están introduciendo cambios importantes en la forma en que se gestionan los Sistemas de Monitoreo de la Salud Estructural (SHMS) y en la forma tradicional de monitorear el estado de las estructuras. Además, la capacidad y solidez de las técnicas de IA para resolver problemas complejos del mundo real han generado un interés creciente en la aplicación de estos métodos de monitoreo a la infraestructura en los últimos años. Por lo tanto, parece importante una evaluación de los avances recientes en los métodos (SHMS) para la infraestructura de los puentes. El puente es una de las infraestructuras de transporte más importantes sobre las que las variables ambientales pueden tener un impacto negativo. El sistema SHMS para puentes se considera una parte complementaria de los sistemas inteligentes de transporte (ITS). El principal objetivo de este informe es estudiar cómo se puede implementar la IA para mejorar los sistemas SHMS para puentes.

**PALABRAS CLAVES:** Inteligencia Artificial, Puentes, Inspección

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MURETES DE LADRILLOS A COMPRESIÓN CON EL EMPLEO DE TÉCNICAS DE MODELACIÓN NUMÉRICA

**Javier Alejandro Tejeda Carreras1, Alejandro Socorro Alvarez2, Janet Otmara Martínez Cid3, Nelson Fundora Sautié4**

[1]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), 2 Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), 3 Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), 4 Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)
e-mail: alejandsocalv@civil.cujae.edu.cu, blstrnxxx@gmail.com

**RESUMEN**

La resistencia a compresión de la mampostería de ladrillo es determinada mediante la realización de ensayos de laboratorio a prismas y muretes o a través de formulaciones empíricas. El desarrollo computacional ha permitido el empleo de modelos numéricos basados en el Método de los Elementos Finitos como alternativa económicamente superior para el análisis del comportamiento de la mamostería. En el presente trabajo se obtiene un modelo matemático computacional, calibrado y validado a partir de los resultados experimentales de Thamboo en 2019 [1] para el estudio de muretes de mampostería de ladrillo, usando el software ABAQUS. Se describen las invariantes del proceso de modelación del mismo: geometría, materiales, condiciones de borde y carga. Se realiza el análisis tenso-deformacional de los resultados derivados de la simulación computacional, donde son presentadas las tensiones verticales y transversales, las deformaciones plásticas y los desplazamientos. Se proporcionan resultados que reproducen correctamente el comportamiento estructural y el modo de falla del murete de ladrillos caracterizado por grietas verticales paralelas a la dirección de la carga en las caras frontal y lateral de las muestras, originadas en la interfaz ladrillo-mortero y propagadas a través de los ladrillos.

**PALABRAS CLAVES:** Abaqus, Muretes de ladrillo, Modelo de Daño Plástico, análisis tenso-deformacional

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL ANCLAJE DEL REFUERZO EN EL DESEMPEÑO ANTE CARGA DE SISMO DE UNIONES EXTERIORES VIGA - COLUMNA DE HORMIGÓN ARMADO CON BARRAS DE PRFV MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS DE MODELACIÓN NUMÉRICA

**Diana Alicia Toro Toro[1], Omar Zamora Díaz-Comas[2], Amanda María Puldón Simpson[3]**

[1,2] Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[3]Compañía Contratista de Obras para la Aviación, Avenida Van Troi y Final, Boyeros, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: dianaaltortor@civil.cujae.edu.cu
[2]e-mail: omar@civil.cujae.edu.cu
[3]e-mail: amandapuldon@gmail.com

**RESUMEN**

En la presente investigación se analiza la influencia que ejercen los parámetros longitud de anclaje y tipo de anclaje del refuerzo empleando barras rectas y barras dobladas a $90^0$ en el desempeño ante carga de sismo de uniones exteriores viga - columna de hormigón armado con barras de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV) mediante el empleo de técnicas de modelación numérica. Para ello se desarrolla un modelo matemático - computacional basado en el Método de los Elementos Finitos implementado con el programa ABAQUS/CAE versión 2017 y calibrado con ensayos a escala real. Se evalúa la influencia de la longitud de anclaje y del tipo de anclaje del refuerzo, primeramente, en los parámetros que caracterizan el comportamiento general de la unión ante carga de sismo y en segundo lugar, en el comportamiento de las barras longitudinales de la viga. Se concluye que en la medida que se incrementa la longitud de anclaje del refuerzo de PRFV, se modifica de manera favorable el desempeño ante carga de sismo de la unión y que el tipo de anclaje del refuerzo empleando barras rectas y barras dobladas a $90^0$ tiene una influencia significativa en el comportamiento sismorresistente de la conexión relacionado con las derivas superiores.

**PALABRAS CLAVES:** Unión viga - columna, carga sísmica, anclaje del refuerzo, refuerzo de PRFV, simulación numérica.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# METODOLOGÍA CUBANA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO ROTODINÁMICOS

**Yaset Martínez Valdés[1], Yilian Álvarez Gil[2], Félix Abelis Riaño Valle[3]**

[1,2,3]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, Calle 114 Nº11901 e/Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[1]e-mail: yaset1977@gmail.com, [2]e-mail: yilianalvarez99@gmail.com, [3]e-mail: friano2013@gmail.com

**RESUMEN**

La actualización del procedimiento para la estimación de la eficiencia mínima o de referencia de los equipos de bombeo rotodinámicos, el cual forma parte de Resolución Nº 655/2009 del Ministerio de la Construcción (Micons), constituye un aporte de vital importancia para los especialistas encargados de la selección de equipos de bombeo rotodinámicos en el país. En esta versión mejorada, se incorporan criterios técnicos para la selección de bombas rotodinámicas de diseño eficiente, los cuales pueden ser utilizados en la etapa de solicitud de oferta de estos equipos a nivel de anteproyecto. Uno de los aspectos que se agregan, es el criterio de la eficiencia operacional de las bombas rotodinámicas, a partir de tres puntos de eficiencia de referencia (75%, 100% y 110% del caudal de diseño adimensional) en función de la velocidad específica, estableciendo las referencias que se utilizarán para el cálculo de la eficiencia adimensional en los referidos puntos. Para esto, se realizó el análisis de varios modelos de referencias internacionales para la obtención de los valores de la eficiencia adimensional de las bombas rotodinámicas, con el objetivo de determinar las ecuaciones para la estimación de esta, para los valores de la eficiencia operacional. Se elaboró una metodología actualizada para la selección de equipos de bombeo rotodinámicos con la mayor eficiencia posible en el mercado.

**PALABRAS CLAVES:** metodología, estimación, eficiencia, equipos de bombeo, rotodinámicas.

## PROPOSAL OF A CUBAN METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF ROTODYNAMIC PUMPING EQUIPMENT

**ABSTRACT**

The updated procedure for estimating the minimum or reference efficiency of rotodynamic pumping equipment, which is part of Resolution Nº 655/2009 of the Ministry of Construction (Micons), is a vital contribution for specialists responsible for the selection of rotodynamic pumping equipment in the country. In this improved version, technical criteria for the selection of rotodynamic pumps of efficient design are incorporated, which can be used at the stage of request for quotation of this equipment at the pre-project level. One of the aspects added is the criterion of the operational efficiency of rotodynamic pumps, based on three efficiency reference points (75%, 100% and 110% of the dimensionless design flow) depending on the specific speed, establishing the references to be used for the calculation of the dimensionless efficiency at the aforementioned points. For this purpose, several international reference models were analysed to obtain the values of the dimensionless efficiency of rotodynamic pumps, with the aim of determining the equations for estimating this, for the values of operational efficiency. An updated methodology was developed for the selection of rotodynamic pumping equipment with the highest possible efficiency on the market.

**KEY WORDS:** methodology, estimation, efficiency, pumping equipment, rotodynamics.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es conocido que una mala selección de un equipo de bombeo trae consigo un mal funcionamiento del equipo, afecta su eficiencia y la del sistema en general. Esto conlleva a un aumento del consumo energético, de mantenimiento y de operación, que se ha convertido en un problema global en la gestión de los sistemas de bombeo. La creación de normativas referidas a la selección de las bombas rotodinámicas, teniendo en

cuenta su eficiencia, ha sido una, entre las varias alternativas que han surgido para dar solución a estos inconvenientes [1].

La Ley Nº 124/14 De las Aguas Terrestres establece en su Artículo 4, Inciso d), que, al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), como organismo de la Administración Central del Estado, rector de la gestión de las aguas terrestres, le corresponde, emitir y controlar la aplicación de las regulaciones hidráulicas; que se relacionan con las aguas terrestres. También en su Artículo 3.1, Inciso e) como uno de los principios que rigen la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres; su uso racional y su reutilización. Como norma jurídica complementaria el Decreto 337 Reglamento de la Ley 124 De las Aguas Terrestres, en su Artículo 93, con relación al Artículo 91, Inciso g), faculta al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos para emitir regulaciones hidráulicas de los parámetros técnicos y de eficiencia de las máquinas, equipos hidráulicos, muebles y herrajes sanitarios [2].

La Resolución Nº 655/2009. "Norma de consumo de los equipos de bombeo, de los accesorios y de los muebles hidrosanitarios mayores consumidores de agua" del Ministerio de la Construcción de Cuba (Micons), fue publicada el 19 de noviembre del año 2009 en la Gaceta Oficial Nº 49 [3]. La misma derogó la Resolución Nº 28 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), vigente desde el 2006, y nacida al fragor del proceso de la Revolución Energética. La actual resolución fue concebida por la necesidad de tomar medidas que contribuyan a la adquisición o producción nacional de equipos, de accesorios, de muebles hidrosanitarios de consumo racional de agua y de electrobombas de probada calidad y de alta eficiencia energética. La referida resolución fue emitida durante la vigencia del derogado Decreto Ley Nº 245 por el que, el INRH fue adscripto al Ministerio de la Construcción, siendo facultad en el presente del mentado Instituto, regular los aspectos que dispone la citada Resolución [4].

El Anexo 1 de dicha resolución, plantea el consumo máximo permisible de los dispositivos abordados en el documento regulatorio. Por otro lado, el Anexo 2, hace referencia a los valores mínimos de eficiencia energética que deben cumplir los equipos de bombeo rotodinámicos. Se abordan los valores mínimos de referencia tanto para los motores eléctricos monofásicos y trifásicos (sumergibles o no) así como para las bombas rotodinámicas. El Anexo 3 está dedicado al procedimiento para la solicitud y la aprobación de la importación o producción nacional de los equipos de bombeo. Este documento orientativo de orden regulatorio, si bien resulta ser el primero en el país encaminado a la adecuada selección de bombas rotodinámicas desde el punto de vista de la eficiencia, su correcta aplicación ha sufrido varios contratiempos y en ocasiones, deficiencias en su implementación en varios sectores productivos del país [5].

En este trabajo se presenta una propuesta de actualización de la Resolución Nº 655/2009 sobre la base de las normativas nacionales e internacionales vigentes para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos. La misma tiene en cuenta todas las variables hidráulicas de diseño de dichos equipos y otras de corte técnico-económicos, con el fin de garantizar que los que se importen al país, sean seleccionados con los mejores valores de eficiencia. Además, esta se convertirá en referente de los valores mínimos que deberán tener las bombas de fabricación nacional.

## 2. DESARROLLO

Teniendo en cuenta el elevado consumo energético de los equipos de bombeo rotodinámicos en nuestro país (27-30% de la generación de energía del país), resulta imperativo profundizar en los estudios y análisis de las distintas metodologías que existen en el mundo para la estimación de la eficiencia. Esto es de vital importancia, ya que resulta de aplicación inmediata en el proceso de selección de los equipos que se importan y de aquellos que se fabrican en el país, para este último caso, a manera de referencias indicativas [4]. En este sentido, se ha formulado como objetivo principal de este trabajo, elaborar una normativa actualizada para la estimación de la eficiencia mínima o de referencia de los equipos de bombeo rotodinámicos que fueran a operar en el país.

La Resolución Nº 655/2009 ha venido presentando limitaciones técnicas en su contenido y en su forma de utilización desde su implementación, imposibilitando una utilización eficaz en la selección de equipos de bombeo rotodinámicos eficientes, a tono con las nuevas tendencias internacionales sobre el tema. El

abordaje de estas limitaciones técnicas de la referida normativa y sus soluciones han sido objeto de varios trabajos de investigación en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) durante casi dos décadas [4].

Por cuanto, resulta necesario a partir de la experiencia obtenida de la aplicación de la Resolución Nº 655/2009 y con vistas a contribuir a la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres y la racionalidad energética, establecer las normas permisibles de consumo de los accesorios y muebles hidrosanitarios mayores consumidores de agua, así como los valores mínimos o de referencia para la evaluación de la eficiencia energética de las electrobombas y la exigencia previo a su importación, de esos medios por el proveedor, de la correspondiente certificación que acredite las cualidades que se requieren [5].

*Estimación de la eficiencia de las bombas rotodinámicas*

Desde el conocido gráfico de Wislicenus publicado en el año 1947, hasta las más recientes gráficas y ecuaciones elaboradas por el Instituto de Hidráulica de Estados Unidos de América (HI) en conjunto con el Instituto Nacional de Normalización del propio país (ANSI-HI) (HI 2015) y la asociación Europump (EUROPUMP 2012) y BPMA del Reino Unido (DOUE 2012), han devenido en herramientas de gran ayuda para la estimación de la eficiencia de las bombas rotodinámicas. Aunque a nivel mundial existen varias normativas con este fin, las mencionadas anteriormente, son las más precisas y de reconocimiento internacional. Estas toman en cuenta la velocidad específica y los límites de desviación de la eficiencia que pudiera ser influida por los siguientes factores: la calidad del producto, forma de la curva elegida, rugosidad de la superficie, espacios libres internos, compromisos de fabricación, pérdidas mecánicas, capacidad para el manejo de sólidos disueltos y tolerancia en las pruebas [9].

Además de estos elementos, que en general corresponden a la fabricación del equipo de bombeo, existen otros factores que afectan negativamente la eficiencia e inciden desde el punto de vista de la operación. Entre los principales, se pueden señalar los siguientes: pérdidas volumétricas, pérdidas hidráulicas, pérdidas mecánicas, características del líquido que se bombea, condiciones de instalación, recorte de impulsores, consideraciones de operación, características de los acuíferos (para esos sistemas fuentes) y sobredimensionamiento de la instalación en general [9].

Existen dos métodos para la estimación de la eficiencia de las bombas rotodinámicas: el método de los componentes y el método de la eficiencia global. El método de los componentes, se fundamenta en la determinación de cada una de las eficiencias que representan las pérdidas que ocurren durante el funcionamiento de la bomba. Queda expresado mediante la ecuación siguiente [5]:

$$\eta_b = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_{sf} \tag{1}$$

Donde: $\eta_b$: eficiencia total de la bomba, (adim.); $\eta_v$: eficiencia volumétrica de la bomba, (adim.); $\eta_h$: eficiencia hidráulica de la bomba, (adim.); $\eta_m$: eficiencia mecánica de la bomba, (adim.) y $\eta_{sf}$: eficiencia por fricción en el disco (algunas referencias lo incluyen como un subcomponente de la eficiencia mecánica), (adim.).

Por su parte, el método de la eficiencia global está basado, como expresa su nombre, en la eficiencia global de la bomba. Dicho método se compone de dos pasos: primero, se calcula la eficiencia máxima esperada de la bomba, la cual depende exclusivamente de su gasto de diseño. En un segundo paso, se determina la eficiencia de referencia de la bomba, tomando en consideración un coeficiente de corrección que está en función de la velocidad específica. Por último, se procede a establecer el rango de aceptación de la eficiencia de la bomba (rango estadístico donde debe estar la eficiencia del equipo para ser seleccionada) [4].

Para este estudio de actualización de la referida norma, se trabajó con una muestra de más de 3000 bombas rotodinámicas, las cuales se clasificaron según los grupos de diseño siguientes: bombas rotodinámicas de montaje horizontal con caja tipo voluta para trabajo con agua limpia; bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical multietapas sumergibles o no con caja tipo anillo para trabajo con agua limpia; bombas rotodinámicas de montaje vertical multicelular sumergible con caja tipo tazón para trabajo con agua limpia; bombas rotodinámicas de montaje horizontal de doble succión (cámara partida) para trabajo con agua limpia; bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical para trabajo con agua residual y bombas rotodinámicas de achique de montaje horizontal y vertical.

La selección de los equipos de la muestra de estudio (de diseño convencional y de producción en serie sin diseños especiales) pertenece a una veintena de fabricantes internacionales que han entrado al país hasta el momento, aunque también, contiene equipos que en el futuro pueden ser importados. Los datos obtenidos de cada uno son: velocidad de rotación, los valores de la eficiencia y el caudal para los tres puntos de referencia (75%, 100% y 110% del caudal de diseño), la carga de diseño, número de etapas, número de ojos de succión, así como algún dato específico de interés.

En el desarrollo de este trabajo se realizó un análisis de los conceptos fundamentales vinculados con la eficiencia de los equipos de bombeo y los principales factores que inciden en ella. Se realizó un estudio exhaustivo de las normas vigentes a nivel internacional para estimar los niveles de eficiencia mínimos que deben cumplir dichos equipos. Se introdujo los criterios de verificación de la eficiencia operacional, para los puntos de carga parcial (PL), $\eta_{PLr}$ y sobrecarga (OL), $\eta_{OLr}$. y se amplió el rango de la velocidad específica para las bombas de caja tipo anillo y las de achique. De igual forma, se dan a conocer los valores de la eficiencia de referencia para las bombas de doble succión que no aparecían en la referida resolución [11]. Para el caso de los motores eléctricos, se amplía el rango de potencia nominal de operación y se actualizan sus valores de la eficiencia mínima esperada para las clases IE2 e IE3 [10].

Se realizó, además, una revisión crítica de la Resolución Nº 655/2009 del Micons, describiéndose sus principales limitaciones conceptuales, de errores numéricos y procedimientos de cálculos, así como de enfoque en su implementación, haciendo una propuesta para su actualización. Se realiza una ampliación y una nueva distribución por tipos de diseño de bombas rotodinámicas, proponiendo nuevos valores más precisos de la eficiencia mínima de las mismas [11].

Uno de los aspectos novedosos, y por demás, uno de los más importantes que se incorporan en esta actualización, es la redefinición del concepto del rango óptimo de la velocidad específica según el tipo de diseño de la bomba. Este nuevo enfoque se había propuesto por los autores [1], donde aparece reflejada por primera vez esta nueva concepción, resultado de un estudio estadístico diferenciado por grupos de diseño, de una muestra de más de 2500 bombas. En varias investigaciones posteriores, se reforzó esta hipótesis de los valores óptimos de $N_q$ y su rango asociado. En este estudio, luego de un proceso de validación estadístico de la muestra, se confirmó una vez más esta concepción, ahora coincidiendo con lo publicado por el Instituto Hidráulico de Estados Unidos [6]. Se define entonces que el rango óptimo de la velocidad específica de las bombas con caja tipo voluta y tipo anillo es de 35 a 65, mientras que, para aquellas con caja tipo tazón, se encuentra entre 85 y 115. En este sentido, se asume que los valores óptimos son 50 y 95 respectivamente.

A continuación, se presenta la propuesta de metodología para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos.

**Propuesta de actualización de la Resolución Nº 655/2009 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos.**

**RESOLUCIÓN Nº X/2023: Valores mínimos de eficiencia para las electrobombas rotodinámicas.**

**Aspectos a considerar para la estimación de la eficiencia del conjunto bomba-motor.**

**Objeto y ámbito de aplicación**

1. El presente anexo establece los requisitos para la comercialización e importación de las bombas rotodinámicas para bombear agua limpia y aguas residuales.
2. El presente anexo no se aplicará:
   a) A las bombas rotodinámicas concebidas específicamente para bombear agua limpia a temperaturas inferiores a -10°C o superiores a 120°C
   b) A las bombas rotodinámicas de acoplamiento directo en línea de aspiración axial (bombas in-line)
   c) A las bombas rotodinámicas autocebantes
   d) A otros tipos de bombas rotodinámicas con diseño especial atendiendo a requisitos de aplicación específicos.

**Definiciones**

La velocidad específica, $N_q$ es un parámetro de diseño de las bombas rotodinámicas y se expresa matemáticamente como:

$$N_q = \frac{n \cdot \sqrt{Q_{do}}}{H_{di}^{0,75}} \quad (2)$$

Donde: $N_q$: velocidad específica, (dim.); $n$: velocidad de rotación nominal de la bomba rotodinámica, (rpm); $Q_{do}$: caudal de diseño por ojo o admisión del impelente, ($m^3/s$) y $H_{di}$: carga de diseño por etapa, (m).

El valor óptimo de la velocidad específica se encuentra en la vecindad de 50 para bombas rotodinámicas con caja tipo voluta y tipo anillo, mientras que para aquellas con caja tipo tazón estará alrededor de 95.

En el presente anexo se analizan los siguientes diseños convencionales, estandarizados y normalizados de bombas rotodinámicas con velocidades nominales de trabajo de 1160, 1750 y 3500 rpm aproximadamente (correspondientes a motores eléctricos de seis, cuatro y dos polos respectivamente):

a. Bombas rotodinámicas de montaje horizontal con caja tipo voluta para trabajo con agua limpia
b. Bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical multietapas sumergibles o no con caja tipo anillo para trabajo con agua limpia
c. Bombas rotodinámicas de montaje vertical multicelular sumergible con caja tipo tazón para trabajo con agua limpia
d. Bombas rotodinámicas de montaje horizontal de doble succión (cámara partida) para trabajo con agua limpia
e. Bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical para trabajo con agua residual
f. Bombas rotodinámicas de achique de montaje horizontal y vertical.

- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal con caja tipo voluta para trabajo con agua limpia: bombas rotodinámicas de aspiración axial mono etapa dotadas de cojinetes propios con prensaestopas, diseñadas para presiones de hasta 16 bar. En este grupo de bombas se incluyen también las bombas de tipo monobloc (aquellas en las que el eje del motor se ha ampliado para convertirse también en el eje de la bomba). Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 3
- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical multietapas sumergibles o no con caja tipo anillo para trabajo con agua limpia: bombas rotodinámicas con prensaestopas multicelular ($1 \leq i \leq 7$), cuyos impulsores están ensamblados sobre un eje horizontal o vertical rotatorio diseñado para presiones de hasta 25 bar. Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 4
- Bombas rotodinámicas de montaje vertical multicelular sumergible con caja tipo tazón para trabajo con agua limpia: bombas rotodinámicas multicelular ($1 \leq i \leq 12$) cuyos impulsores están ensamblados sobre un eje vertical rotatorio diseñado para presiones de hasta 25 bar, con un diámetro exterior nominal a partir de 4″ (10,16 cm) diseñada para funcionar en un pozo. Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 5
- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal de doble succión (cámara partida) para trabajo con agua limpia: bombas rotodinámicas de aspiración axial con un impelente cerrado de doble aspiración con carcasa dividida axialmente con bridas de succión y descarga opuestas y horizontales situadas en el cuerpo inferior. Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 6
- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical para trabajo con agua residual: bombas rotodinámicas de aspiración axial mono etapa, dotadas de cojinetes propios con prensaestopas, con un diseño específico que les permite trabajar con aguas cargadas y con sólidos en suspensión. Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 7
- Bombas rotodinámicas de achique de montaje horizontal y vertical: bombas rotodinámicas de aspiración axial mono etapa o multicelular dotadas de cojinetes propios con prensaestopas, con un diseño específico que les permite trabajar con aguas con sólidos en suspensión. Se distinguen dos tipos de diseño: bombas de acero inoxidable y bombas de plástico. Las primeras pueden extraer líquidos a

un máximo de 40°C y pueden ser sumergidas hasta un máximo de ocho metros; mientras que las segundas pueden ser sumergidas hasta cinco metros de profundidad y soportar temperaturas de hasta 35°C. Los límites de trabajo en cuanto a la velocidad específica y el gasto de diseño son los establecidos en la tabla 8

- Agua limpia: agua con un contenido máximo de sólidos libres y no absorbentes de 0,25 kg/m$^3$, y con un contenido máximo de sólidos disueltos de 50 kg/m$^3$, siempre que el contenido total de gas en el agua no supere el volumen de saturación. Se considerará que las bombas hidráulicas trabajarán con agua limpia a temperatura ambiente ($t \leq 40$ºC) con las siguientes propiedades: viscosidad cinemática máxima: $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ m$^2$/s y densidad máxima: 1050 kg/m$^3$
- Agua residual: aguas con contenidos fecales, aguas de lavado, sustancias sólidas y diferentes restos de naturaleza inorgánica y orgánica con contenidos de sólidos disueltos y libres y no absorbentes superiores a los máximos establecidos para el agua limpia.

**Procedimiento para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos**

Se considerará que un equipo de bombeo rotodinámico tiene una eficiencia aceptable cuando el valor de la eficiencia del conjunto bomba-motor, $\eta_{eb}$ sea mayor que el obtenido por la siguiente ecuación:

$$\eta_{eb} > \eta_{rb} \cdot \eta_{rm} \tag{3}$$

Donde: $\eta_{eb}$: eficiencia cotizada o de catálogo de la electrobomba rotodinámica (información proporcionada por el fabricante), expresada en por ciento (%); $\eta_{rb}$: eficiencia de referencia o mínima requerida de la bomba rotodinámica en función de la velocidad específica y del caudal de diseño, equivalente a la eficiencia del punto de diseño de la bomba, $\eta_{BEP}$ (véase tablas 3-8), expresada en por ciento (%) y $\eta_{rm}$: eficiencia de referencia o mínima requerida del motor en función de su potencia nominal, velocidad de trabajo y tipo de diseño (sumergible o no), equivalente a la eficiencia máxima para su carga nominal de diseño (véase tablas 1 y 2), expresada en por ciento (%).

*Pautas a tener en cuenta para el proceso:*

- La eficiencia de referencia o mínima requerida de la bomba rotodinámica para el punto de diseño de la bomba, $\eta_{BEP}$, conforme a los valores definidos en las tablas 3 hasta la 8, se determina en función del caudal y la velocidad específica correspondientes al punto de máximo rendimiento (BEP) para el diámetro completo del impulsor y con agua limpia a temperatura ambiente
- En las tablas 1 y 2 se indican los valores mínimos de referencia de los motores eléctricos para las categorías de alta eficiencia (IE2) y eficiencia de primera calidad o premium (IE3). Los valores tabulados son los correspondientes a motores eléctricos asincrónicos tipo jaula de ardilla de diseño convencional, trifásicos y de simple velocidad para la frecuencia de 60 Hz
- Se acepta que la obtención de valores intermedios de eficiencia de las bombas rotodinámicas en las tablas de referencia, se realice mediante interpolaciones lineales simples o dobles (cuando el gasto de diseño y la velocidad específica no aparecen en la tabla)
- No debe extrapolarse valores fuera de los rangos establecidos de caudal y velocidad específica en las tablas.

*Consideraciones adicionales (no vinculantes al procedimiento):*

- Se recomienda que los valores de las eficiencias de catálogo tanto del motor como de las bombas rotodinámicas superen los dispuestos en sus correspondientes tablas de referencia (tablas 1-8). Resulta obvio que al cumplirse lo dispuesto en este apartado, queda satisfecha la ecuación (3) que funciona como una suerte de exigencia básica para la selección de los equipos de bombeo rotodinámicos más eficientes
- Se aconseja revisar los requerimientos del rendimiento para las condiciones de carga parcial (PL) (punto de funcionamiento de la bomba al 75 % del caudal de diseño), $\eta_{PLr}$ y sobrecarga (OL) (punto de funcionamiento de la bomba al 110 % del caudal de diseño), $\eta_{OLr}$. Los valores de estas eficiencias de la bomba que se esté analizando, deberán ser mayores a los calculados por las expresiones 4 y 5 o 6 y 7 en función del tipo de diseño de la bomba, exceptuando a las bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical para trabajo con agua residual y de achique. Este análisis solo tendrá sentido realizarlo, solo si la eficiencia de diseño de la bomba (catálogo) supera a la eficiencia mínima o de referencia (tablas). En este sentido, y con el objetivo de garantizar una mejor selección de la bomba

rotodinámica, los tres valores de referencia de la eficiencia operacional (75%, 100% y 110%) deberán cumplir esta condición.

- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal con caja tipo voluta y de doble succión (cámara partida) para trabajo con agua limpia ($10 \leq N_q \leq 80$):

$$\eta_{PLr} = 0{,}945\,\eta_{rb} = 0{,}945\,\eta_{BEP} \tag{4}$$

$$\eta_{OLr} = 0{,}99\,\eta_{rb} = 0{,}99\,\eta_{BEP} \tag{5}$$

- Bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical multietapas sumergibles o no con caja tipo anillo o tazón para trabajo con agua limpia ($10 \leq N_q \leq 100$):

$$\eta_{PLr} = 0{,}947\,\eta_{rb} = 0{,}947\,\eta_{BEP} \tag{6}$$

$$\eta_{OLr} = 0{,}99\,\eta_{rb} = 0{,}99\,\eta_{BEP} \tag{7}$$

- El rango de aceptación de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas, $\Delta\eta$, se puede utilizar como criterio para seleccionar las bombas más eficientes dentro del mercado, las cuales serán aquellas que tengan eficiencias que estén dentro de este. Este intervalo queda establecido mediante la siguiente expresión:

$$\Delta\eta = \eta_{rb} \div \left(1 + \frac{r}{100}\right) \cdot \eta_{rb} \tag{8}$$

Donde: $\Delta\eta$: rango de aceptación de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas, (%); $\eta_{rb}$: eficiencia de referencia o mínima requerida de la bomba rotodinámica en función de la velocidad especifica y del caudal de diseño (véase tablas 3-8) y $r$: rango de desviación posible de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas, (%).

El rango de desviación posible de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas, está en función del caudal de diseño de la bomba y viene definido para el rango de caudales de 2 hasta 2778 L/s por la ecuación:

$$r = \frac{18{,}858}{Q_{do}^{0{,}348}} \tag{9}$$

Donde: $r$: rango de desviación posible de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas, (%) y $Q_{do}$: caudal de diseño por ojo o admisión del impelente, (L/s).

- Es válido aclarar que existen bombas rotodinámicas en el mercado con eficiencias superiores al valor máximo establecido por el rango de aceptación de la eficiencia de referencia de las bombas rotodinámicas para cada tipo de diseño, las cuales representan el 20% de las muestras representativas tomada para estos estudios.
- Los valores de eficiencia máxima tanto de las bombas rotodinámicas como las de los motores eléctricos, se presentan como referencia, -objetivo alcanzable e inclusive superable. Utilizar equipos de bombeo rotodinámicos con una eficiencia mayor que otros con menor eficiencia y costo inicial, puede ser una solución más económica
- Se deberá considerar en todos los casos que la solución técnica del bombeo busque la selección de bombas rotodinámicas con valores de velocidad específica en los rangos entre 35 y 65 para bombas con caja tipo voluta y tipo anillo y entre 85 y 115 para aquellas con caja tipo tazón, teniendo en cuenta que los óptimos están en 50 y 95 respectivamente. En caso de proponerse un equipo diferente deberá presentarse el estudio de factibilidad económica correspondiente.

Tabla 1: Eficiencia mínima de los motores eléctricos no sumergibles.

| **Potencia nominal P (kW)** | **2 polos** | | **4 polos** | | **6 polos** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** |
| 0,75 | 75,5 | 77,0 | 82,5 | 85,5 | 80,0 | 82,5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,1 | 82,5 | 84,0 | 84,0 | 86,5 | 85,5 | 87,5 |
| 1,5 | 84,0 | 85,5 | 84,0 | 86,5 | 86,5 | 88,5 |
| 2,2 | 85,5 | 86,5 | 87,5 | 89,5 | 87,5 | 89,5 |
| 3,7 | 87,5 | 88,5 | 87,5 | 89,5 | 87,5 | 89,5 |
| 5,5 | 88,5 | 89,5 | 89,5 | 91,7 | 89,5 | 91,0 |
| 7,5 | 89,5 | 90,2 | 89,5 | 91,7 | 89,5 | 91,0 |
| 11 | 90,2 | 91,0 | 91,0 | 92,4 | 90,2 | 91,7 |
| 15 | 90,2 | 91,0 | 91,0 | 93,0 | 90,2 | 91,7 |
| 18,5 | 91,0 | 91,7 | 92,4 | 93,6 | 91,7 | 93,0 |
| 22 | 91,0 | 91,7 | 92,4 | 93,6 | 91,7 | 93,0 |
| 30 | 91,7 | 92,4 | 93,0 | 94,1 | 93,0 | 94,1 |
| 37 | 92,4 | 93,0 | 93,0 | 94,5 | 93,0 | 94,1 |
| 45 | 93,0 | 93,6 | 93,6 | 95,0 | 93,6 | 94,5 |
| 55 | 93,0 | 93,6 | 94,1 | 95,4 | 93,6 | 94,5 |
| 75 | 93,6 | 94,1 | 94,5 | 95,4 | 94,1 | 95,0 |
| 90 | 94,5 | 95,0 | 94,5 | 95,4 | 94,1 | 95,0 |
| 110 | 94,5 | 95,0 | 95,0 | 95,8 | 95,5 | 95,8 |
| 150 | 95,6 | 96,1 | 95,7 | 96,5 | 95,4 | 96,0 |
| 185 | 96,1 | 96,6 | 96,2 | 96,9 | 95,9 | 96,4 |
| 340 | 97,6 | 97,8 | 97,4 | 98,0 | 97,3 | 97,6 |
| 375 | 97,8 | 98,0 | 97,6 | 98,2 | 97,5 | 95,8 |

Tabla 2: Eficiencia mínima de los motores eléctricos sumergibles.

| **Potencia nominal P (kW)** | **2 polos** | | **4 polos** | | **6 polos** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE2) (%)** | **$\eta_{mín}$ (IE3) (%)** |
| 0,75 | 62,4 | 72,3 | 77,3 | 80,2 | 70,0 | 77,5 |
| 1,1 | 64,7 | 73,8 | 77,2 | 80,4 | 71,6 | 78,3 |
| 1,5 | 66,5 | 75,0 | 77,3 | 80,5 | 72,8 | 79,0 |
| 2,2 | 68,7 | 76,5 | 77,6 | 80,7 | 74,3 | 79,8 |
| 3,7 | 71,5 | 78,4 | 77,9 | 81,1 | 76,2 | 81,0 |
| 5,5 | 73,6 | 79,9 | 78,3 | 81,4 | 77,7 | 81,9 |
| 7,5 | 75,2 | 80,9 | 78,6 | 81,8 | 78,8 | 82,7 |
| 11 | 77,1 | 82,3 | 79,1 | 82,3 | 80,2 | 83,6 |
| 15 | 78,7 | 83,4 | 79,6 | 82,7 | 81,2 | 84,3 |
| 18,5 | 79,7 | 84,1 | 80,0 | 83,1 | 81,9 | 84,9 |
| 22 | 80,5 | 84,7 | 80,4 | 83,4 | 82,6 | 85,3 |
| 30 | 81,9 | 85,8 | 81,1 | 84,1 | 83,6 | 86,1 |
| 37 | 82,9 | 86,5 | 81,6 | 84,6 | 84,3 | 86,6 |
| 45 | 83,8 | 87,1 | 82,2 | 85,2 | 85,0 | 87,1 |
| 55 | 84,7 | 87,8 | 82,9 | 85,8 | 85,7 | 87,7 |
| 75 | 86,1 | 88,8 | 84,1 | 86,9 | 86,7 | 88,5 |
| 90 | 86,9 | 89,4 | 84,9 | 87,6 | 87,3 | 89,0 |
| 110 | 87,8 | 90,0 | 85,9 | 88,5 | 87,9 | 89,6 |
| 150 | 89,2 | 91,0 | 87,8 | 90,1 | 88,9 | 90,4 |
| 185 | 90,1 | 91,7 | 89,3 | 91,4 | 89,6 | 91,0 |
| 340 | 92,6 | 93,6 | 95,1 | 96,0 | 91,5 | 92,8 |
| 375 | 93,0 | 93,9 | 96,3 | 96,9 | 91,8 | 93,1 |

Tabla 3: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de montaje horizontal con caja tipo voluta para trabajo con agua limpia.

| $Q_{do}$ (L/s) | $N_q$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| 0,6 | 25,5 | 44,5 | 50,6 | 52,6 | 52,8 | 52,1 | 51,0 | 49,5 | 47,9 | 46,2 | 44,4 |
| 0,7 | 27,2 | 46,2 | 52,2 | 54,2 | 54,4 | 53,7 | 52,6 | 51,1 | 49,5 | 47,8 | 46,0 |
| 0,8 | 28,7 | 47,6 | 53,6 | 55,6 | 55,8 | 55,1 | 53,9 | 52,5 | 50,8 | 49,1 | 47,3 |
| 0,9 | 29,9 | 48,8 | 54,8 | 56,8 | 56,9 | 56,3 | 55,1 | 53,6 | 52,0 | 50,3 | 48,5 |
| 1 | 31,0 | 49,9 | 55,9 | 57,8 | 58,0 | 57,3 | 56,1 | 54,6 | 53,0 | 51,3 | 49,5 |
| 2 | 37,8 | 56,5 | 62,4 | 64,2 | 64,3 | 63,6 | 62,4 | 60,9 | 59,2 | 57,5 | 55,6 |
| 3 | 41,4 | 60,0 | 65,8 | 67,6 | 67,7 | 66,9 | 65,7 | 64,1 | 62,5 | 60,7 | 58,9 |
| 4 | 43,8 | 62,3 | 68,0 | 69,8 | 69,9 | 69,1 | 67,8 | 66,3 | 64,6 | 62,8 | 61,0 |
| 5 | 45,5 | 64,0 | 69,7 | 71,4 | 71,5 | 70,7 | 69,4 | 67,9 | 66,2 | 64,4 | 62,5 |
| 6 | 46,9 | 65,3 | 71,0 | 72,7 | 72,8 | 71,9 | 70,6 | 69,1 | 67,4 | 65,6 | 63,7 |
| 7 | 48,0 | 66,4 | 72,0 | 73,7 | 73,8 | 72,9 | 71,6 | 70,1 | 68,4 | 66,6 | 64,7 |
| 8 | 48,9 | 67,3 | 72,9 | 74,6 | 74,6 | 73,8 | 72,5 | 70,9 | 69,2 | 67,4 | 65,5 |
| 9 | 49,7 | 68,0 | 73,6 | 75,3 | 75,3 | 74,5 | 73,2 | 71,6 | 69,9 | 68,1 | 66,2 |
| 10 | 42,2 | 50,4 | 68,7 | 74,3 | 76,0 | 76,0 | 75,1 | 73,8 | 72,2 | 70,5 | 68,7 |
| 20 | 46,3 | 54,5 | 72,6 | 78,1 | 79,7 | 79,6 | 78,7 | 77,4 | 75,7 | 74,0 | 72,1 |
| 30 | 48,3 | 56,5 | 74,5 | 79,9 | 81,5 | 81,4 | 80,5 | 79,1 | 77,4 | 75,7 | 73,8 |
| 40 | 49,6 | 57,8 | 75,7 | 81,1 | 82,6 | 82,5 | 81,5 | 80,1 | 78,5 | 76,7 | 74,8 |
| 50 | 50,5 | 58,6 | 76,5 | 81,8 | 83,4 | 83,2 | 82,2 | 80,8 | 79,2 | 77,4 | 75,5 |
| 60 | 51,2 | 59,3 | 77,1 | 82,4 | 83,9 | 83,8 | 82,8 | 81,4 | 79,7 | 77,9 | 76,0 |
| 70 | 51,7 | 59,8 | 77,6 | 82,9 | 84,3 | 84,2 | 83,2 | 81,7 | 80,1 | 78,2 | 76,3 |
| 80 | 52,1 | 60,2 | 78,0 | 83,2 | 84,7 | 84,5 | 83,5 | 82,1 | 80,4 | 78,5 | 76,6 |
| 90 | 60,5 | 78,3 | 83,5 | 85,0 | 84,8 | 83,8 | 82,3 | 80,6 | 78,8 | 76,9 | 74,9 |
| 100 | 60,8 | 78,5 | 83,7 | 85,2 | 85,0 | 84,0 | 82,5 | 80,8 | 79,0 | 77,1 | 75,1 |
| 200 | 62,2 | 79,7 | 84,8 | 86,2 | 85,9 | 84,9 | 83,4 | 81,6 | 79,8 | 77,8 | 75,8 |
| 300 | 62,6 | 80,0 | 85,1 | 86,4 | 86,1 | 85,0 | 83,5 | 81,7 | 79,9 | 77,9 | 75,9 |
| 400 | 62,7 | 80,1 | 85,1 | 86,4 | 86,1 | 84,9 | 83,4 | 81,6 | 79,7 | 77,8 | 75,8 |
| 500 | 62,8 | 80,0 | 85,0 | 86,3 | 85,9 | 84,8 | 83,3 | 81,5 | 79,6 | 77,6 | 75,6 |
| 600 | 62,7 | 79,9 | 84,9 | 86,1 | 85,8 | 84,6 | 83,1 | 81,3 | 79,4 | 77,4 | 75,4 |
| 700 | 62,6 | 79,8 | 84,7 | 85,9 | 85,6 | 84,4 | 82,9 | 81,1 | 79,1 | 77,1 | 75,1 |
| 800 | 62,5 | 79,6 | 84,6 | 85,8 | 85,4 | 84,2 | 82,6 | 80,8 | 78,9 | 76,9 | 74,9 |
| 900 | 62,4 | 79,5 | 84,4 | 85,6 | 85,2 | 84,0 | 82,4 | 80,6 | 78,7 | 76,7 | 74,7 |
| 1000 | 62,2 | 79,3 | 84,2 | 85,4 | 85,0 | 83,8 | 82,2 | 80,4 | 78,5 | 76,5 | 74,4 |
| 2000 | 60,9 | 77,8 | 82,6 | 83,7 | 83,2 | 82,0 | 80,4 | 78,5 | 76,6 | 74,5 | 72,5 |

Tabla 4: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical multietapas sumergibles o no con caja tipo anillo para trabajo con agua limpia.

| $Q_{do}$ (L/s) | $N_q$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 0,6 | 72,3 | 72,2 | 72,4 | 72,7 | 72,9 | 72,9 | 72,7 | 72,3 | 71,9 | 71,3 |
| 0,7 | 72,4 | 72,3 | 72,5 | 72,8 | 73,0 | 73,0 | 72,8 | 72,4 | 72,0 | 71,4 |
| 0,8 | 72,5 | 72,5 | 72,6 | 72,9 | 73,1 | 73,1 | 72,9 | 72,5 | 72,1 | 71,6 |
| 0,9 | 72,6 | 72,7 | 72,8 | 73,1 | 73,3 | 73,3 | 73,1 | 72,7 | 72,3 | 71,7 |
| 1 | 72,7 | 73,2 | 73,5 | 73,6 | 73,5 | 73,4 | 73,2 | 72,9 | 72,4 | 71,9 |
| 2 | 73,2 | 74,1 | 74,7 | 75,1 | 75,2 | 75,1 | 74,9 | 74,6 | 74,1 | 73,6 |
| 3 | 73,8 | 75,0 | 75,9 | 76,4 | 76,6 | 76,6 | 76,3 | 76,0 | 75,5 | 75,0 |
| 4 | 74,4 | 75,8 | 76,8 | 77,4 | 77,7 | 77,7 | 77,5 | 77,1 | 76,7 | 76,2 |
| 5 | 76,2 | 77,3 | 78,0 | 78,5 | 78,7 | 78,7 | 78,5 | 78,1 | 77,7 | 77,1 |
| 6 | 76,8 | 77,9 | 78,8 | 79,3 | 79,5 | 79,5 | 79,3 | 79,0 | 78,5 | 78,0 |
| 7 | 77,8 | 78,9 | 79,6 | 80,1 | 80,3 | 80,3 | 80,1 | 79,7 | 79,3 | 78,7 |
| 8 | 78,2 | 79,5 | 80,3 | 80,8 | 81,0 | 81,0 | 80,7 | 80,4 | 79,9 | 79,4 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 78,4 | 80,0 | 80,8 | 81,1 | 81,1 | 79,9 | 79,4 | 79,0 | 78,4 | 77,9 |
| 10 | 78,5 | 80,1 | 81,0 | 81,2 | 81,3 | 80,1 | 79,7 | 79,2 | 78,7 | 78,1 |
| 20 | 78,8 | 80,7 | 81,7 | 82,0 | 82,0 | 81,7 | 81,3 | 80,8 | 80,3 | 79,7 |

Tabla 5: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de montaje vertical multicelular sumergible con caja tipo tazón para trabajo con agua limpia.

| $Q_{do}$ | $N_q$ | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (L/s) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| 0,3 | 15,3 | 34,5 | 40,7 | 42,7 | 43,0 | 42,4 | 41,3 | 39,9 | 38,3 | 36,6 | 34,9 | 33,1 | 31,3 |
| 0,4 | 18,8 | 38,0 | 44,0 | 46,1 | 46,3 | 45,7 | 44,6 | 43,2 | 41,6 | 39,9 | 38,1 | 36,3 | 34,6 |
| 0,5 | 21,4 | 40,5 | 46,6 | 48,6 | 48,8 | 48,2 | 47,0 | 45,6 | 44,0 | 42,3 | 40,5 | 38,8 | 37,0 |
| 0,6 | 23,5 | 42,6 | 48,6 | 50,6 | 50,8 | 50,1 | 49,0 | 47,6 | 45,9 | 44,2 | 42,5 | 40,7 | 38,9 |
| 0,7 | 25,2 | 44,2 | 50,2 | 52,2 | 52,4 | 51,8 | 50,6 | 49,1 | 47,5 | 45,8 | 44,0 | 42,2 | 40,4 |
| 0,8 | 26,7 | 45,7 | 51,6 | 53,6 | 53,8 | 53,1 | 52,0 | 50,5 | 48,9 | 47,2 | 45,4 | 43,6 | 41,8 |
| 0,9 | 28,0 | 46,9 | 52,8 | 54,8 | 55,0 | 54,3 | 53,1 | 51,7 | 50,0 | 48,3 | 46,5 | 44,7 | 42,9 |
| 1 | 29,1 | 48,0 | 53,9 | 55,8 | 56,0 | 55,3 | 54,2 | 52,7 | 51,1 | 49,3 | 47,5 | 45,7 | 43,9 |
| 2 | 35,9 | 54,6 | 60,4 | 62,3 | 62,4 | 61,7 | 60,4 | 58,9 | 57,3 | 55,5 | 53,7 | 51,9 | 50,0 |
| 3 | 39,5 | 58,1 | 63,9 | 65,7 | 65,8 | 65,0 | 63,7 | 62,2 | 60,5 | 58,8 | 56,9 | 55,1 | 53,2 |
| 4 | 41,9 | 60,4 | 66,1 | 67,9 | 68,0 | 67,2 | 65,9 | 64,4 | 62,7 | 60,9 | 59,1 | 57,2 | 55,4 |
| 5 | 43,6 | 62,1 | 67,8 | 69,5 | 69,6 | 68,8 | 67,5 | 66,0 | 64,3 | 62,5 | 60,6 | 58,8 | 56,9 |
| 6 | 45,0 | 63,4 | 69,1 | 70,8 | 70,9 | 70,0 | 68,7 | 67,2 | 65,5 | 63,7 | 61,8 | 60,0 | 58,1 |
| 7 | 46,1 | 64,5 | 70,1 | 71,8 | 71,9 | 71,0 | 69,7 | 68,2 | 66,5 | 64,7 | 62,8 | 60,9 | 59,0 |
| 8 | 47,0 | 65,4 | 71,0 | 72,7 | 72,7 | 71,9 | 70,6 | 69,0 | 67,3 | 65,5 | 63,6 | 61,7 | 59,8 |
| 9 | 47,8 | 66,1 | 71,8 | 73,4 | 73,5 | 72,6 | 71,3 | 69,7 | 68,0 | 66,2 | 64,3 | 62,4 | 60,5 |
| 10 | 48,5 | 66,8 | 72,4 | 74,1 | 74,1 | 73,2 | 71,9 | 70,3 | 68,6 | 66,8 | 64,9 | 63,0 | 61,1 |
| 20 | 52,6 | 70,7 | 76,2 | 77,8 | 77,7 | 76,8 | 75,5 | 73,9 | 72,1 | 70,3 | 68,4 | 66,4 | 64,5 |
| 30 | 54,6 | 72,6 | 78,1 | 79,6 | 79,5 | 78,6 | 77,2 | 75,6 | 73,8 | 71,9 | 70,0 | 68,1 | 66,2 |
| 40 | 55,9 | 73,8 | 79,2 | 80,7 | 80,6 | 79,6 | 78,3 | 76,6 | 74,8 | 72,9 | 71,0 | 69,1 | 67,1 |
| 50 | 56,8 | 74,6 | 80,0 | 81,5 | 81,3 | 80,4 | 79,0 | 77,3 | 75,5 | 73,6 | 71,7 | 69,7 | 67,8 |
| 60 | 57,4 | 75,2 | 80,6 | 82,0 | 81,9 | 80,9 | 79,5 | 77,8 | 76,0 | 74,1 | 72,2 | 70,2 | 68,3 |
| 70 | 57,9 | 75,7 | 81,0 | 82,5 | 82,3 | 81,3 | 79,9 | 78,2 | 76,4 | 74,5 | 72,5 | 70,6 | 68,6 |
| 80 | 58,3 | 76,1 | 81,4 | 82,8 | 82,6 | 81,6 | 80,2 | 78,5 | 76,7 | 74,8 | 72,8 | 70,9 | 68,9 |
| 90 | 58,7 | 76,4 | 81,7 | 83,1 | 82,9 | 81,9 | 80,4 | 78,8 | 76,9 | 75,0 | 73,1 | 71,1 | 69,1 |
| 100 | 59,0 | 76,7 | 81,9 | 83,3 | 83,1 | 82,1 | 80,6 | 78,9 | 77,1 | 75,2 | 73,2 | 71,3 | 69,3 |
| 200 | 60,3 | 77,8 | 83,0 | 84,3 | 84,1 | 83,0 | 81,5 | 79,8 | 77,9 | 76,0 | 74,0 | 72,0 | 70,0 |
| 300 | 60,8 | 78,2 | 83,2 | 84,5 | 84,3 | 83,2 | 81,6 | 79,9 | 78,0 | 76,0 | 74,1 | 72,1 | 70,1 |
| 400 | 60,9 | 78,2 | 83,3 | 84,5 | 84,2 | 83,1 | 81,6 | 79,8 | 77,9 | 75,9 | 73,9 | 71,9 | 69,9 |
| 500 | 60,9 | 78,2 | 83,2 | 84,4 | 84,1 | 83,0 | 81,4 | 79,6 | 77,7 | 75,7 | 73,7 | 71,7 | 69,7 |
| 590 | 60,9 | 78,1 | 83,0 | 84,3 | 83,9 | 82,8 | 81,2 | 79,4 | 77,5 | 75,5 | 73,5 | 71,5 | 69,5 |

Tabla 6: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de montaje horizontal de doble succión (cámara partida) para trabajo con agua limpia.

| $Q_{do}$ | $N_q$ | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (L/s) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| 20 | 68,7 | 71,9 | 73,5 | 74,2 | 74,3 | 74,2 | 74,0 | 73,7 | 73,4 | 73,0 | 67,1 | 72,4 | 72,2 | 71,8 | 71,5 |
| 30 | 69,3 | 72,6 | 74,2 | 74,9 | 75,0 | 74,9 | 74,6 | 74,4 | 74,0 | 73,7 | 67,7 | 73,1 | 72,8 | 72,5 | 72,2 |
| 40 | 69,7 | 73,0 | 74,6 | 75,3 | 75,4 | 75,3 | 75,1 | 74,8 | 74,5 | 74,1 | 68,1 | 73,5 | 73,3 | 72,9 | 72,6 |
| 50 | 70,0 | 73,3 | 74,9 | 75,6 | 75,7 | 75,6 | 75,4 | 75,1 | 74,8 | 74,4 | 68,4 | 73,8 | 73,6 | 73,2 | 72,9 |
| 60 | 70,2 | 73,5 | 75,2 | 75,8 | 76,0 | 75,8 | 75,6 | 75,3 | 75,0 | 74,7 | 68,6 | 74,1 | 73,8 | 73,5 | 73,1 |
| 70 | 70,4 | 73,7 | 75,4 | 76,0 | 76,2 | 76,0 | 75,8 | 75,5 | 75,2 | 74,9 | 68,8 | 74,3 | 74,0 | 73,7 | 73,3 |
| 80 | 70,6 | 73,8 | 75,5 | 76,2 | 76,3 | 76,2 | 76,0 | 75,7 | 75,4 | 75,0 | 68,9 | 74,4 | 74,1 | 73,8 | 73,4 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 70,7 | 74,0 | 75,6 | 76,3 | 76,4 | 76,3 | 76,1 | 75,8 | 75,5 | 75,1 | 69,1 | 74,5 | 74,3 | 73,9 | 73,6 |
| 100 | 70,8 | 74,1 | 75,8 | 76,4 | 76,6 | 76,4 | 76,2 | 75,9 | 75,6 | 75,2 | 69,2 | 74,7 | 74,4 | 74,0 | 73,7 |
| 200 | 71,4 | 74,7 | 76,4 | 77,1 | 77,2 | 77,1 | 76,9 | 76,6 | 76,2 | 75,9 | 69,7 | 75,3 | 75,0 | 74,7 | 74,3 |
| 300 | 71,7 | 75,0 | 76,7 | 77,4 | 77,5 | 77,4 | 77,2 | 76,9 | 76,5 | 76,2 | 70,0 | 75,6 | 75,3 | 75,0 | 74,6 |
| 400 | 71,9 | 75,2 | 76,9 | 77,6 | 77,7 | 77,6 | 77,4 | 77,1 | 76,7 | 76,4 | 70,2 | 75,8 | 75,5 | 75,2 | 74,8 |
| 500 | 72,0 | 75,3 | 77,0 | 77,7 | 77,9 | 77,7 | 77,5 | 77,2 | 76,9 | 76,5 | 70,3 | 75,9 | 75,6 | 75,3 | 74,9 |
| 600 | 72,1 | 75,4 | 77,1 | 77,8 | 78,0 | 77,8 | 77,6 | 77,3 | 77,0 | 76,6 | 70,4 | 76,0 | 75,7 | 75,4 | 75,0 |
| 700 | 72,2 | 75,5 | 77,2 | 77,9 | 78,0 | 77,9 | 77,7 | 77,4 | 77,1 | 76,7 | 70,5 | 76,1 | 75,8 | 75,5 | 75,1 |
| 800 | 72,2 | 75,6 | 77,3 | 78,0 | 78,1 | 78,0 | 77,8 | 77,5 | 77,1 | 76,8 | 70,6 | 76,2 | 75,9 | 75,5 | 75,2 |
| 900 | 72,3 | 75,6 | 77,4 | 78,0 | 78,2 | 78,0 | 77,8 | 77,5 | 77,2 | 76,8 | 70,6 | 76,2 | 75,9 | 75,6 | 75,2 |
| 1000 | 72,3 | 75,7 | 77,4 | 78,1 | 78,2 | 78,1 | 77,9 | 77,6 | 77,2 | 76,9 | 70,7 | 76,3 | 76,0 | 75,7 | 75,3 |
| 2000 | 72,6 | 76,0 | 77,7 | 78,4 | 78,5 | 78,4 | 78,2 | 77,9 | 77,5 | 77,2 | 70,9 | 76,6 | 76,3 | 75,9 | 75,5 |
| 3000 | 72,7 | 76,1 | 77,8 | 78,5 | 78,7 | 78,5 | 78,3 | 78,0 | 77,7 | 77,3 | 71,0 | 76,7 | 76,4 | 76,1 | 75,7 |

Tabla 7: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de montaje horizontal y vertical para trabajo con agua residual.

| $Q_{do}$ | $N_q$ | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (L/s) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| 6,0 | 30,3 | 33,3 | 34,9 | 35,5 | 35,7 | 35,5 | 35,3 | 35,1 | 34,8 | 34,4 | 33,9 | 33,3 | 32,5 | 31,5 |
| 7,0 | 32,6 | 35,7 | 37,3 | 37,9 | 38,1 | 37,9 | 37,7 | 37,5 | 37,1 | 36,8 | 36,3 | 35,7 | 34,9 | 33,8 |
| 8,0 | 34,7 | 37,8 | 39,4 | 40,0 | 40,1 | 40,0 | 39,8 | 39,6 | 39,2 | 38,9 | 38,3 | 37,8 | 37,0 | 35,9 |
| 9,0 | 36,5 | 39,6 | 41,2 | 41,9 | 42,0 | 41,9 | 41,7 | 41,4 | 41,1 | 40,7 | 40,2 | 39,6 | 38,8 | 37,7 |
| 10,0 | 38,2 | 41,3 | 42,9 | 43,5 | 43,7 | 43,5 | 43,3 | 43,1 | 42,7 | 42,4 | 41,8 | 41,3 | 40,5 | 39,4 |
| 20,0 | 48,7 | 51,9 | 53,5 | 54,2 | 54,3 | 54,2 | 54,0 | 53,7 | 53,4 | 53,1 | 52,5 | 51,9 | 51,1 | 50,0 |
| 30,0 | 54,6 | 57,8 | 59,4 | 60,1 | 60,2 | 60,1 | 59,9 | 59,6 | 59,3 | 59,0 | 58,4 | 57,8 | 57,0 | 55,8 |
| 40,0 | 58,3 | 61,5 | 63,2 | 63,8 | 64,0 | 63,9 | 63,6 | 63,4 | 63,0 | 62,7 | 62,1 | 61,5 | 60,7 | 59,6 |
| 50,0 | 60,9 | 64,1 | 65,8 | 66,5 | 66,6 | 66,5 | 66,3 | 66,0 | 65,7 | 65,3 | 64,7 | 64,1 | 63,3 | 62,2 |
| 60,0 | 62,8 | 66,1 | 67,8 | 68,4 | 68,6 | 68,4 | 68,2 | 67,9 | 67,6 | 67,3 | 66,7 | 66,1 | 65,2 | 64,1 |
| 70,0 | 64,3 | 67,6 | 69,3 | 69,9 | 70,1 | 70,0 | 69,7 | 69,5 | 69,1 | 68,8 | 68,2 | 67,6 | 66,8 | 65,6 |
| 80,0 | 65,5 | 68,8 | 70,5 | 71,2 | 71,3 | 71,2 | 71,0 | 70,7 | 70,3 | 70,0 | 69,4 | 68,8 | 68,0 | 66,8 |
| 90,0 | 66,5 | 69,8 | 71,5 | 72,2 | 72,3 | 72,2 | 72,0 | 71,7 | 71,3 | 71,0 | 70,4 | 69,8 | 69,0 | 67,8 |
| 100,0 | 62,7 | 65,9 | 67,6 | 68,3 | 68,4 | 68,3 | 68,1 | 67,8 | 67,5 | 67,1 | 66,5 | 65,9 | 65,1 | 63,9 |
| 200,0 | 73,2 | 76,5 | 78,2 | 78,9 | 79,0 | 78,9 | 78,7 | 78,4 | 78,0 | 77,7 | 77,1 | 76,5 | 75,6 | 74,5 |
| 300,0 | 76,0 | 79,3 | 81,0 | 81,7 | 81,8 | 81,7 | 81,5 | 81,2 | 80,9 | 80,5 | 79,9 | 79,3 | 78,5 | 77,3 |
| 400,0 | 77,2 | 80,5 | 82,2 | 82,9 | 83,0 | 82,9 | 82,7 | 82,4 | 82,0 | 81,7 | 81,1 | 80,5 | 79,6 | 78,5 |
| 500,0 | 77,8 | 81,1 | 82,8 | 83,5 | 83,7 | 83,5 | 83,3 | 83,0 | 82,7 | 82,3 | 81,7 | 81,1 | 80,3 | 79,1 |
| 600,0 | 78,2 | 81,5 | 83,2 | 83,9 | 84,1 | 83,9 | 83,7 | 83,4 | 83,1 | 82,7 | 82,1 | 81,5 | 80,6 | 79,5 |
| 700,0 | 78,4 | 81,8 | 83,5 | 84,2 | 84,3 | 84,2 | 84,0 | 83,7 | 83,3 | 83,0 | 82,4 | 81,8 | 80,9 | 79,7 |
| 800,0 | 78,6 | 82,0 | 83,7 | 84,4 | 84,5 | 84,4 | 84,2 | 83,9 | 83,5 | 83,2 | 82,6 | 81,9 | 81,1 | 79,9 |
| 900,0 | 78,8 | 82,1 | 83,8 | 84,5 | 84,7 | 84,5 | 84,3 | 84,0 | 83,7 | 83,3 | 82,7 | 82,1 | 81,2 | 80,1 |

Tabla 8: Valores de eficiencia mínima para las bombas rotodinámicas de achique de montaje horizontal y vertical.

| $Q_{do}$ | $N_q$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (L/s) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| 7,0 | 36,4 | 39,5 | 41,4 | 42,2 | 42,4 | 42,2 | 42,0 | 41,6 | 41,3 | 40,9 | 40,5 |
| 8,0 | 37,2 | 41,4 | 43,1 | 43,8 | 44,0 | 43,8 | 43,6 | 43,3 | 42,9 | 42,5 | 42,1 |
| 9,0 | 38,0 | 42,6 | 44,5 | 45,2 | 45,4 | 45,3 | 45,0 | 44,7 | 44,3 | 43,9 | 43,6 |
| 10,0 | 38,9 | 43,4 | 45,7 | 46,5 | 46,6 | 46,5 | 46,2 | 45,9 | 45,5 | 45,2 | 44,8 |
| 20,0 | 47,4 | 51,7 | 53,7 | 54,5 | 54,6 | 54,5 | 54,2 | 53,9 | 53,5 | 53,2 | 52,8 |
| 30,0 | 52,7 | 56,7 | 58,7 | 59,5 | 59,6 | 59,5 | 59,2 | 58,9 | 58,5 | 58,2 | 57,8 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40,0 | 56,7 | 60,3 | 62,1 | 62,8 | 63,0 | 62,9 | 62,6 | 62,3 | 61,9 | 61,6 | 61,2 |
| 50,0 | 59,2 | 62,9 | 64,7 | 65,4 | 65,6 | 65,4 | 65,2 | 64,9 | 64,5 | 64,1 | 63,8 |
| 60,0 | 60,1 | 64,6 | 66,7 | 67,5 | 67,6 | 67,5 | 67,2 | 66,9 | 66,6 | 66,2 | 65,9 |

## 3. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone una nueva metodología para la estimación de eficiencia mínima o de referencia de los equipos de bombeo rotodinámicos. La misma está basada en las principales normativas internacionales vigentes y en investigaciones realizadas durante casi 20 años en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) referentes al tema. Contar con un procedimiento de factura nacional, garantizará que los equipos de bombeo rotodinámicos seleccionados para su importación, y aquellos que se fabriquen en Cuba, sean los más eficientes dentro de cada grupo de diseño de bombas rotodinámicas en el mercado.

La nueva metodología toma como punto de partida la Resolución Nº 655/2009 del Micons, vigente en nuestro país para la selección de equipos de bombeo rotodinámicos. Luego de una profunda revisión crítica, describiéndose sus principales limitaciones conceptuales, de enfoque, numéricos, y de procedimientos de cálculos, en esta propuesta de actualización, se corrigen todas esas falencias, así como aquellas relacionadas con su implementación práctica.

Se analizaron diez modelos de referencias para la obtención de la eficiencia adimensional para el 75%, 100% y 110% del caudal de diseño adimensional (eficiencia operacional) para los grupos de bombas de montaje horizontal de una etapa y bombas de montaje vertical multietapas (caja tipo anillo y tazón). Finalmente, se definieron las referencias que se utilizarán para el cálculo de la eficiencia en esos tres puntos de referencia. Se introducen los criterios de verificación de la eficiencia operacional, para los puntos de carga parcial (PL), $\eta_{PLr}$ y sobrecarga (OL), $\eta_{OLr}$. y se amplió el rango de la velocidad específica para las bombas de caja tipo anillo y las de achique.

De igual forma se dan a conocer los valores de eficiencia para las bombas de doble succión que no aparecían en la referida resolución. Se realiza una ampliación y una nueva distribución por tipos de diseño de bombas rotodinámicas, proponiendo nuevos valores más precisos de la eficiencia mínima de las mismas. Se añade una redefinición del concepto del rango óptimo de la velocidad específica caracterizado por grupos de diseño de las bombas rotodinámicas. Se introduce que el rango óptimo de la velocidad específica de las bombas con caja tipo voluta y tipo anillo es de 35 a 65, mientras que, para aquellas con caja tipo tazón, se encuentra entre 85 y 115, siendo sus valores óptimos 50 y 95 respectivamente.

## REFERENCIAS

1. Martínez Valdés Yaset (2011). “Metodología para el diseño hidráulico de las estaciones de bombeo para acueducto”. Director: Félix Abelis Riaño Valle. Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Cujae, La Habana, Cuba
2. Ministerio de Justicia (Minjus) (2017). Gaceta Oficial de la República de Cuba. Asamblea Nacional del Poder Popular: “Ley Nº 124/14. De las aguas terrestres” y Consejo de Ministros: “Decreto Nº 337/17. “Reglamento de la Ley Nº 124/14. De las aguas terrestres”, Edición Extraordinaria, Año CXV, Nº 51, 16 de noviembre de 2017, p. 985-1047, ISSN 1682-7511
3. Ministerio de Justicia (Minjus) (2009). Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ministerio de la Construcción (Micons): “Resolución Nº 655/2009”, Edición ordinaria, Año CVII, Nº 49, 19 de noviembre de 2009, p. 1803-1808, ISSN 1682-7511
4. Martínez Y. y Hernández M. D. (2019). “Actualización de la Resolución Nº 655/2009: Valores de eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos”, Memorias del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y el X Seminario Internacional del Uso Integral del Agua, La Habana, Cuba, 19 al 23 de marzo de 2019, Editorial Obras, Edición digital ISBN: 978-959-247-177-1
5. Martínez Y. (2019). “Metodología para la estimación de la eficiencia de las bombas rotodinámicas”, Memorias del XVI Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua (XVI SEREA), Lisboa, Portugal, 15 al 17 de julio de 2019, Edición digital ISBN: 84-89487-25-1

6. Hydraulic Institute (HI) (2015). “Hydraulic Institute Guideline for Rotodynamic Pump Efficiency Prediction”, ISBN: 978-1-935762-44-7, Parsippany, New Jersey, United States of America (USA)
7. European Association of Pump Manufacturers (EUROPUMP) (2012). “Guideline on the application of Commission Regulation (EU) N° 547/2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water pumps”, Brussels, Belgium
8. Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) (2012). “REGLAMENTO (UE) Nº 547/2012 DE LA COMISIÓN de 25 de junio de 2012 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas", Luxemburgo, Luxemburgo
9. Martínez Valdés Yaset (2009). “Selección de bombas rotodinámicas para el diseño hidráulico de estaciones de bombeo”. Director: Félix Abelis Riaño Valle. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Cujae, La Habana, Cuba
10. International Electrotechnical Commission (IEC) (2020). “IEC 60034-30. Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)”, Geneva, Switzerland
11. Yilian Álvarez Gil (2022). “Metodología para la estimación de la eficiencia de los equipos de bombeo rotodinámicos”. Director: Yaset Martínez Valdés. Trabajo de diploma, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cujae, La Habana, Cuba

**Sobre los autores**

*Yaset Martínez Valdés*
Profesor Titular y doctor en Ciencias Técnicas en la especialidad de Ingeniería Hidráulica. Trabajó como docente e investigador en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Facultad de Ingeniería Civil en el periodo 2001-2022. Es miembro de la Comunidad Regional de Investigadores asociados a la International Association Hydraulics Research (IAHR) desde el 2002. Es Profesional de Alto Nivel (PAN) de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (Unaicc).

*Yilian Alvarez Gil*
Profesora recién graduada. Miembro del claustro del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Facultad de Ingeniería Civil.

*Félix Abelis Riaño Valle*
Profesor Titular y Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro del claustro del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Facultad de Ingeniería Civil. Presidente de la Comisión Nacional de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Miembro de la Junta de Acreditación Nacional de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO DE LA CUENCA ARIGUANABO.

**Yakelin Rodríguez López[1], Olga Marina Aguilera Burgos[2]**

[1, 2] Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, calle 114, Nº 11901 e/ Rotonda y Ciclo Vía, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: yake@ci.cujae.edu.cu, [2]e-mail: aguileraolga75@gmail.com

**RESUMEN**

Los acuíferos constituyen uno de los sistemas más complejos sobre los que el hombre tiene que actuar sistemáticamente con el objetivo de obtener el principal recurso natural para la vida, el agua. La complejidad de los mismos ha impulsado el desarrollo de técnicas que permitan su operación, mantenimiento y preservación por lo tanto es vital gestionar su correcto balance y estudiar las fuentes de recarga, así como los factores que puedan poner en riesgo dicha gestión. En Cuba resulta vital el conocimiento de las fuentes de aguas subterráneas y sus recursos hídricos explotables ya que de estas se extrae el agua que sirve para abasto a la población y todos los sectores económicos. En este trabajo se ha realizado un estudio de las principales características de la cuenca Ariguanabo y de las precipitaciones en el área de estudio, con el propósito de aplicar la metodología de Schosinsky, 2006 para determinar la recarga potencial del acuífero mediante un balance hídrico de suelos. Se analizan los valores de la recarga potencial del acuífero durante los últimos 5 años, concluyendo que de 2017 a 2021 hubo un descenso notable en estos valores y que en 2022 existió un pequeño aumento en comparación con el 2021 pero aun así no excede a los valores de recarga del 2017. Esto indica que existen varios problemas en cuanto a la explotación de los recursos hídricos subterráneos en la zona de estudio con una tendencia a la disminución de estos, poniendo en peligro la estabilidad del acuífero.

**PALABRAS CLAVES:** cuenca, balance, suelo, recarga, lluvia.

## CALCULATION OF THE POTENTIAL RECHARGE OF THE AQUIFER OF THE ARIGUANABO BASIN.

**ABSTRACT**

Aquifers constitute one of the most complex systems on which man has to act systematically in order to obtain the main natural resource for life, water. Their complexity has driven the development of techniques that allow their operation, maintenance and preservation, therefore it is vital to manage their correct balance and study the recharge sources, as well as the factors that may put said management at risk. In Cuba, knowledge of underground water sources and their exploitable water resources is vital since the water used to supply the population and all economic sectors is extracted from these. In this work, a study has been carried out of the main characteristics of the Ariguanabo basin and the rainfall in the study area, with the purpose of applying the methodology of Schosinsky, 2006 to determine the potential recharge of the aquifer through a soil water balance. The values of the potential recharge of the aquifer during the last 5 years are analyzed, concluding that from 2017 to 2021 there was a notable decrease in these values and that in 2022 there was a small increase compared to 2021 but still it does not exceed the values of recharge in 2017. This indicates that there are several problems regarding the exploitation of underground water resources in the study area with a tendency to decrease these, endangering the stability of the aquifer.

**KEY WORDS:** basin, balance, soil, recharge, rainfall.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuba no es muy diferente al resto del planeta, donde cerca del 30% del potencial aprovechable se almacena en acuíferos y cerca de la mitad del agua total suministrada a la población es de origen

subterráneo y de ella más del 80% se extraen de cuencas costeras. Producto a la ubicación geográfica del archipiélago y la configuración estrecha y alargada de la isla, se le confieren determinadas particularidades a la disposición de sus recursos hídricos a partir de la red fluvial, conociendo además que la única fuente de alimentación al manto freático son las precipitaciones, y que, también siendo un país netamente agrícola, donde el agua subterránea, es una fuente de vital importancia para el desarrollo económico y social del país [1]. Debido a esta problemática existe la necesidad de realizar el cálculo del potencial del acuífero de la Cuenca Ariguanabo mediante el balance hídrico de suelos para estimar la máxima cantidad de agua a sustraer del mismo sin sobreexplotarlo. En este trabajo el objetivo es aplicar un procedimiento para obtener la recarga potencial del acuífero de la Cuenca Ariguanabo mediante el balance hídrico del suelo para conocer la capacidad de extracción de este recurso.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca Ariguanabo está ubicada alrededor de la antigua laguna de igual nombre. Tiene una superficie total de 188 km$^2$ y abarca territorios de San Antonio de los Baños, Bauta y Caimito en la provincia de Artemisa; de Bejucal en Mayabeque y porciones de Boyeros y La Lisa en La Habana [2] (figura 1). La cuenca Hidrográfica Ariguanabo, con un volumen anual promedio de extracción alrededor de 100 millones de m$^3$ de agua, posee comunicación hidrogeológica con la Cuenca Hidrográfica Vento – Almendares y con la Cuenca subterránea Sur, por lo que la hace una de las principales fuentes para el abasto de agua de para la capital del país. Del total de su superficie, 82 km$^2$ contribuyen a la alimentación de los recursos hídricos subterráneos. El volumen anual de extracción de las aguas subterráneas en el territorio es de 155 millones de m$^3$, con un alto peso relativo destinado al uso doméstico, lo que convierte a la cuenca en una de las fuentes principales de suministro de agua potable a las provincias de Artemisa, Mayabaque y en especial a La Habana.

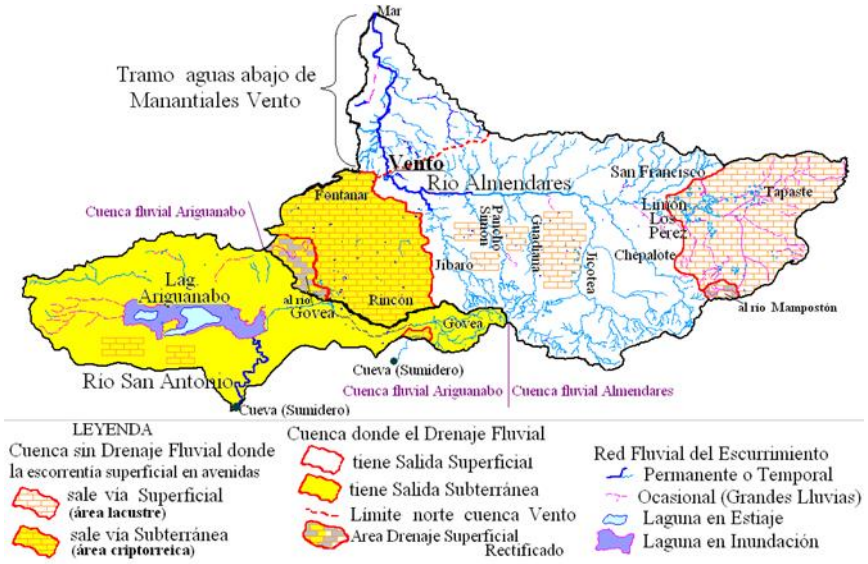



Figura 1: Mapa de localización de las estructuras de drenaje en las Cuencas Hidrográficas Ariguanabo y Almendares Vento

## 3. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL DE UN ACUÍFERO MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DEL SUELO.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan: la precipitación mensual y los diferentes valores de infiltración básica, cobertura vegetal y pendiente del suelo. Una vez determinados estos valores se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación presentada por Schosinsky, 2006 [3]. Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado.

El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. El agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el mismo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos. La metodología empleada [3] puede resumirse en los pasos siguientes: caracterización general de la cuenca; determinar los rangos de pendientes; distribución de las precipitaciones; cálculo de la evapotranspiración; reconocimiento de la cobertura vegetal; determinación del tipo de suelo y sus propiedades físicas; determinación del área de estudio; aplicación de la ecuación de balance y cálculo de la recarga potencial. Los coeficientes por textura de suelo y cobertura vegetal empleados se adaptan a las condiciones cubanas. En la figura 2 se presenta un esquema de los pasos que se siguieron en la obtención de la recarga potencial del acuífero Ariguanabo.

Para la comprensión de la figura 2, se presentan a continuación el significado de cada variable empleada:

- Coeficiente de follaje (Cfo) es el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno. Para el 12% de retención Cfo = 0,12 y para el 20% de retención Cfo = 0,20.
- Retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret) (mm/mes)
- Coeficiente de infiltración del suelo (Ci), adimensional. Depende de la textura del suelo, la pendiente del terreno y la vegetación.

La textura del suelo (kfc), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación 1:

$$kfc = 0.267ln\ (fc)\ - 0.000154 * fc - 0.723 \quad (1)$$

Donde:
kfc = Fracción que infiltra por textura del suelo, es adimensional
fc = Infiltración básica del suelo (mm/día)
Para aplicar esta ecuación, el rango de fc ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de fc menores a 16 mm/día, kfc = 0,0148*fc/16. Para valores de fc mayor a 1568 mm/día, kfc = 1.

El valor de fc corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno. También se puede obtener con el permeámetro de Guelph o con la prueba de Porchet, ambas aplicadas a una profundidad no mayor de 30 cm. Sin embargo, pueden existir diferencias entre los métodos utilizados.
El valor de kfc, fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo, permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto. Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación.
La pendiente es un factor importante pues es determinante al momento de la escorrentía y sus efectos al suelo, los suelos con relieves más planos no favorecen la escorrentía del agua y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo favoreciendo la infiltración, mientras que suelos de altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía, por lo tanto se consideran criticas las áreas que tienen altas pendientes por el grado de degradación que pueden causar y la alteración de las condiciones actuales de recarga de estas áreas.
Los coeficientes (kfc, kv y kp), vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (Ci), basado en las siguientes ecuaciones 2 y 3:
Si $kp + kv + kfc > 1, Ci = 1$ (2)
Si $kp + kv + kfc \leq 1, \ Ci = kp + kv + kfc$ (3)

Donde:
Ci = Coeficiente de infiltración, es adimensional
kp = Fracción que infiltra por efecto de pendiente, es adimensional
kv = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal, es adimensional

En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. La tabla 1 [4] propone valores de los coeficientes kp y kv.

Tabla 1: Componentes del coeficiente de infiltración

| Componentes del coeficiente de infiltración | | |
|---|---|---|
| Por pendiente | pendiente | kp |
| muy plana | 0.02%-0.06% | 0,3 |
| plana | 0.3%-0.4% | 0,2 |
| algo plana | 1%-2% | 0,15 |
| promedio | 2%-7% | 0,1 |
| fuerte | mayor de 7% | 0,06 |
| | | |
| Por cobertura forestal | | kv |
| cobertura con zacate menos del 50% | | 0,09 |
| Terrenos cultivados | | 0,1 |
| Cobertura con pastizal | | 0,18 |
| Bosques | | 0,2 |
| Cobertura con zacate más del 75% | | 0,21 |

En ningún caso el coeficiente de infiltración (Ci) puede ser mayor de 1, si así fuese, se asume Ci=1.

Se define como humedad disponible (hD), aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación 4:

$$hD = hSi + Pi - PM(mm/mes) \quad (4)$$

- Humedad inicial (hSi) humedad al inicio del mes (mm)
- Punto de marchitez permanente (PM): Es el grado de humedad de un suelo donde la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla.
- Evapotranspiración potencial real (ETPR), (mm/día) se determina por la ecuación 5:

$$ETRP = (hS - PM) * (ET)/(CC - PM) \quad (5)$$

- hS = humedad del suelo (%)

Si la humedad disponible (hD), es menor que la ETPR, la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada. Sin embargo, si la humedad disponible (hD) es mayor que la cantidad de agua la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación 5. Por lo tanto, la evapotranspiración real se calculará según las ecuaciones 6 y 7:

Si $((C1 + C2)/2) * ETP \leq$ hD, ETR (mm/mes) = $((C1 + C2)/2) * ETP$ (6)
Si $((C1 + C2)/2) * ETP >$ hD, ETR (mm/mes) = hD (7)

- ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes (mm/mes)
- C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración (adimensional)

- C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, (adimensional)
- ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)
- Capacidad de campo (CC): Es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravitacional.
- Humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (hSf), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la condición siguiente: si (hD + PM – ETR) < CC, hSf = hD + PM – ETR

La hSf en ningún momento puede ser mayor a la CC.

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces; por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad igual a la mostrada en la tabla 3 [4] siguiente:

Tabla 3: Valores de punto de marchitez permanente y capacidad de campo según la textura del suelo

| | Porcentaje por peso de suelo seco | | |
|---|---|---|---|
| Textura del suelo | PMP% | CC% | Dend. ap.(g/cm$^3$) |
| Arenoso | 2--6 | 6--12 | 1.55-1.80 |
| Franco arenoso | 4--8 | 10--18 | 1.40-1.60 |
| Franco | 8--12 | 18--26 | 1.35-1.50 |
| Franco amarillento | 11--15 | 23--31 | 1.30-1.40 |
| Arcillo-Arenoso | 13--17 | 27--31 | 1.25-1.35 |
| Arcilloso | 15--19 | 31--39 | 1.20-1.30 |

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesario la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (hSi). La humedad inicial de un mes dado, hSi = hSf.

- Recarga potencial mensual (Rp), se calcula con la siguiente ecuación 5.

$$Rp = Pi + hSi - hSf - ETR \qquad (5)$$

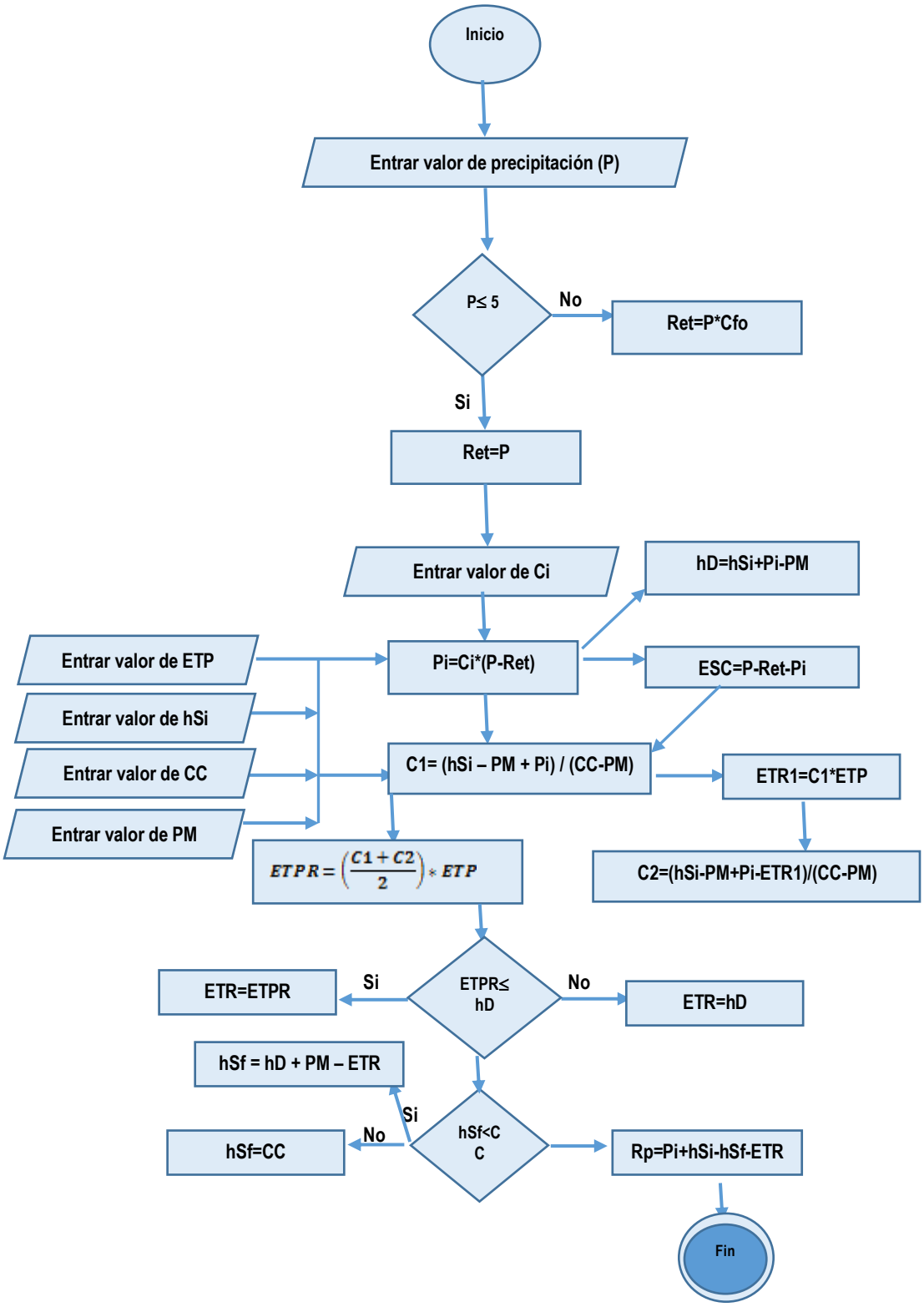



Figura 2: Esquema de la metodología empleada para el cálculo de la recarga potencial del acuífero Ariguanabo.

## 4. DATOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO.

El acuífero Ariguanabo perdió su hiperanualidad y ahora emplea sus reservas para satisfacer las demandas del período comprometiendo su recuperación. El total de las extracciones realizadas supera al total de los recursos y las reservas produciendo una tendencia a la disminución progresiva de los niveles acentuada en los últimos años, estando en riesgo de sobrexplotación. La disponibilidad de entrega de estas fuentes es inferior a la entrega garantizada o al recurso explotable.
La situación hidrológica actual de este acuífero es similar a la anunciada en la compilación de estudios [5] donde se identifica entre los impactos previstos con mayor incidencia la aparición paulatina de zonas con carencias relativas del recurso agua. Según esta compilación de estudios se esperaba una disminución marcada y progresiva de las precipitaciones de forma general tanto para el territorio nacional como para las regiones, con estimados de alrededor de menos del 10% para el horizonte 2050 y menos 20% para el 2100. A continuación, se describe el comportamiento de las variables hidrometeorológicas y las características de la cuenca según la Secretaría del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas [2].

**Lluvia:**
Para determinar las precipitaciones se delimitó el estudio al área del acuífero Ariguanabo correspondiente a la provincia de Artemisa (código 22) y se emplearon las lecturas de los pluviómetros de la región. En la tabla 4 se muestran los datos de los pluviómetros empleados los cuales fueron representados espacialmente utilizando el Sistema de Información Geográfica QGis, para luego determinar su área de influencia según el método de los polígonos de Thiessen.

Tabla 4: Datos de los pluviómetros empleados.

| N.º | Nombre | Código | Norte | Este | Altitud |
|---|---|---|---|---|---|
| 170 | René Bedia M. | Plu2200170 | 343150 | 350200 | 85 |
| 194 | Cayo La Rosa | Plu2200194 | 346250 | 340800 | 50 |
| 228 | Santa Rosa | Plu2200228 | 336400 | 343700 | 45 |
| 390 | Telecorreo Guanajay | Plu2200390 | 345050 | 327350 | 105 |
| 418 | Estación Climática José Antonio Echevarría | Plu2200418 | 342950 | 334050 | 110 |
| 448 | Embalse La Coronela | Plu2200448 | 351867 | 332054 | 30 |
| 449 | Embalse Baracoa | Plu2200449 | 355289 | 339374 | 50 |

Este estudio fue realizado con los datos de los años comprendidos entre 2017-2022 de los pluviómetros seleccionados para el área de estudio. En la tabla 5 se observan las áreas de influencia de cada pluviómetro obtenidas con el programa QGis.

Tabla 5: Áreas de influencias de los pluviómetros

| No. | Área ($m^2$) |
|---|---|
| 170 | 128800966,93 |
| 194 | 87439922,01 |
| 228 | 58043394,38 |
| 390 | 59066387,61 |
| 418 | 92792270,82 |
| 448 | 78581481,64 |
| 449 | 70150562,55 |

Con los valores de las áreas de influencias se procede a determinar la lluvia media para la cuenca en el periodo de estudio (2017-2022). El resultado de esta operación se presenta en la tabla 6.

Tabla 6: Precipitación promedio anual de la cuenca

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 56,0 | 27,7 | 1,4 | 139,2 | 134,4 | 300,5 | 136,7 | 174,2 | 244,4 | 235,7 | 56,4 | 20,6 | 1527,2 |
| 2018 | 51,4 | 5,8 | 39,6 | 47,1 | 226,5 | 193,3 | 90,0 | 233,2 | 200,0 | 159,0 | 43,5 | 54,5 | 1343,9 |
| 2019 | 113,8 | 26,8 | 30,4 | 70,9 | 126,2 | 90,0 | 179,5 | 121,5 | 65,3 | 190,6 | 29,7 | 78,8 | 1123,4 |
| 2020 | 19,2 | 27,4 | 0,3 | 21,4 | 176,0 | 210,6 | 227,2 | 167,1 | 99,8 | 181,9 | 60,0 | 30,2 | 1221,1 |
| 2021 | 22,3 | 50,5 | 2,7 | 33,0 | 105,9 | 211,6 | 119,7 | 221,4 | 240,9 | 116,0 | 51,4 | 43,2 | 1218,3 |
| 2022 | 46,8 | 18,0 | 57,0 | 64,1 | 135,6 | 283,4 | 167,9 | 227,5 | 186,1 | 92,2 | 105,3 | 105,5 | 1489,3 |

**La Evapotranspiración y el Escurrimiento Superficial:**
Los eventos de sequía combinados con las altas tasas de evaporación originan la modificación de las propiedades hidrofísicas de los suelos y la disminución de las reservas de agua subterráneas, elementos que confirman la imperiosa necesidad de prestar cuidadosa atención al monitoreo de estas variables. Al cierre del mes de julio de 2020 las redes hidrológicas de esta cuenca totalizan 24 estaciones de monitoreo hidrológico.

**Tipos de suelos presentes en la zona:**
Zona con carso descubierto y sumideros. Se caracterizan por su riqueza morfológica. Se presentan en él, muchos de los tipos de carsos conocidos, con un abanico casi completo de forma cársica, la intensidad en su desarrollo ha hecho posible que estas formas sean muy nítidas, claras y de alta densidad. Los terrenos o paisajes cársicos también se caracterizan por el predominio de los procesos de erosión por disolución o corrosión, donde el drenaje superficial casi no existe, y la mayor parte se realiza por conductos subterráneos. El relieve, clima, suelos, vegetación y fauna de estos paisajes presentan características especiales. El conjunto de formas del relieve originadas de esta manera, es lo que se denomina topografía cársica, ampliamente distribuida en Cuba. Entre sus variadas manifestaciones se pueden encontrar los mogotes, las poljas, el diente de perro, las abras, las dolinas y las cuevas.
Un sumidero es un tipo de dolina circular que actúa como desagüe natural para el agua de lluvia o para corrientes superficiales como ríos o arroyos. Generalmente se forma en suelos de piedra caliza, donde se filtra agua ligeramente ácida que poco a poco carcome el subsuelo hasta que se forma una cueva subterránea y el agua que se sigue filtrando provoca el derrumbe del techo de dichas cuevas hasta que se forma un sumidero. Los sumideros alimentan el caudal de ríos subterráneos que a su vez suelen alimentar acuíferos.
Zona con suelo ferralítico rojo. Los suelos ferralíticos Rojos se caracterizan por drenar bien el agua, retener el calor irradiados por el sol, resisten la erosión y son vulnerables a ser contaminados con otros suelos. Son suelos que se forman por el proceso de ferralitización, el que se caracteriza por una alteración intensa de los minerales, con lavado de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalinotérreas y una parte de la sílice, formación de minerales arcillosos, así como óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Poseen estructuras muy fuertes y por sus características sirven bajo condiciones de riego para una amplia gama de cultivos entre ellos los granos y hortalizas, así como cítricos y otros frutos. Por lo general las regiones con suelos ferralíticos rojos son de relieve llano y con ligeras ondulaciones características que lo hacen muy útiles para el cultivo.

**El escurrimiento subterráneo:**
Las elevaciones y descensos de los niveles de las aguas subterráneas en períodos hiperanuales pueden tener una tendencia a la disminución consecuente de los mínimos absolutos. Sin embargo, posteriormente al paso de los ciclones, los niveles se recuperan al valor inicial o aún mayores, lo que no ha ocurrido en estos acuíferos en el último decenio. La tendencia es hacia el aumento de los niveles medios, estando los mismos en el último decenio cercanos al crítico y entre la zona de entregas favorables y de entregas restringidas. En el caso de la cuenca Ariguanabo el escurrimiento medio es de 14.33 l/s/km$^2$.

**Coeficiente de Infiltración:**

En este caso el suelo tiene una textura arcillosa y su coeficiente de infiltración es 0.675, dato obtenido del Esquema Regional para el aprovechamiento integral de los recursos hídricos y Agrarios en Cuba [6]. La capacidad de campo (CC) será 39%, el punto de marchitez permanente (PMP) 19%, la densidad aparente será 1,3 g/cm$^3$ y la profundidad radicular (PR) de 50 mm considerando que existe una vegetación de cultivos.
Para convertir los valores de CC y PMP de porciento a lámina en mm se utiliza la ecuación 6.

$$lámina\ en\ mm = \frac{\%}{100} * densidad\ aparente * PR \quad (6)$$

También se conocen los datos del porcentaje de luz solar y de la temperatura en ºC de la región que aparecen en la tabla 7.

Tabla 7: Porcentaje de luz solar y temperatura de la región de estudio

| Mes | Ps | T(ºC) |
|---|---|---|
| Enero | 10,55 | 23,5 |
| Febrero | 11,26 | 23,5 |
| Marzo | 12,03 | 24,5 |
| Abril | 12,44 | 26 |
| Mayo | 13,18 | 27 |
| Junio | 13,36 | 28,5 |
| Julio | 13,28 | 29 |
| Agosto | 12,58 | 29,5 |
| Septiembre | 12,19 | 29 |
| Octubre | 11,4 | 28 |
| Noviembre | 11,04 | 26 |
| Diciembre | 10,46 | 24 |

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en la metodología se aplica la ecuación de Blaney & Criddle [7] pero los resultados obtenidos no fueron satisfactorios en el caso de estudio, por lo tanto, se decide aplicar el método de Thornthwaite, que es ampliamente citado en la bibliografía, para lo cual se siguen los pasos siguientes

1. Se calcula un índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (T)

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (7)$$

2. Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i.

$$I = \sum i \quad (8)$$

3. Se calcula la ETP mensual "sin corregir" mediante la fórmula

$$ETP_{\text{sin } corregir} = 16 * \left(\frac{10*T}{I}\right)^{a} \quad (9)$$

Donde:
$ETP_{\text{sin } corregir}$ = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricos)
T= temperatura media mensual en ºC
I=índice de calor anual

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239 \quad (10)$$

4. Corrección para el nº de días del mes y el nº de horas de sol:

$$ETP = ETP_{\text{sin } corregir} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad (11)$$

Donde:
ETP= evapotranspiración potencial corregida
N= número de horas de sol
d= número de días del mes

En la tabla 8 se observan los resultados de aplicar este método para cada mes.

Tabla 8: Cálculo de la Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite.

| Mes | T(°C) | horas de sol (h) | i | ETP | ETP corregida |
|---|---|---|---|---|---|
| Enero | 23,5 | 10,55 | 10,413 | 84,79 | 77,03 |
| Febrero | 23,5 | 11,26 | 10,413 | 84,79 | 76,91 |
| Marzo | 24,5 | 12,03 | 11,091 | 99,12 | 99,37 |
| Abril | 26 | 12,44 | 12,135 | 123,86 | 132,68 |
| Mayo | 27 | 13,18 | 12,848 | 142,69 | 156,72 |
| Junio | 28,5 | 13,36 | 13,944 | 174,75 | 201,04 |
| Julio | 29 | 13,28 | 14,316 | 186,52 | 206,42 |
| Agosto | 29,5 | 12,58 | 14,692 | 198,87 | 215,43 |
| Septiembre | 29 | 12,19 | 14,316 | 186,52 | 189,48 |
| Octubre | 28 | 11,4 | 13,576 | 163,53 | 160,53 |
| Noviembre | 26 | 11,04 | 12,135 | 123,86 | 113,95 |
| Diciembre | 24 | 10,46 | 10,750 | 91,75 | 82,64 |
| Índice de calor anual | | 150,627 | | | |
| a | | 3,749 | | | |

## 5. RESUSLTADOS DE APLICAR LA METODOLOGÍA DE SCHOSINSKY, 2006 A LA CUENCA ARIGUANABO.

Para ejemplificar esta metodología se utilizarán los datos correspondientes al año 2017. Se comienza a aplicar el método de Schosinsky, 2006 a partir del mes de enero. Los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Cálculo de la recarga potencial en el año 2017

| Mes | P (mm) | Ret (mm) | Pi (mm) | ESC (mm) | ETP (mm) | hSi (mm) | C1 | ETR1 (mm/mes) | C2 | ETPR (mm/mes) | hD (mm) | ETR (mm) | hSf (mm) | Rp (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ene | 56,0 | 6,72 | 30,80 | 18,48 | 77,03 | 25,35 | 1,00 | 77,03 | 0,00 | 38,51 | 43,80 | 38,51 | 17,64 | 0,00 |
| Feb | 27,7 | 3,32 | 15,21 | 9,13 | 76,91 | 17,64 | 1,00 | 76,91 | 0,00 | 38,45 | 20,50 | 20,50 | 12,35 | 0,00 |
| Mar | 1,4 | 1,44 | 0,00 | 0,00 | 99,37 | 12,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,35 | 0,00 |
| Abr | 139,2 | 16,71 | 76,57 | 45,94 | 132,68 | 12,35 | 1,00 | 132,68 | 0,00 | 66,34 | 76,57 | 66,34 | 22,58 | 0,00 |
| May | 134,4 | 16,13 | 73,91 | 44,34 | 156,72 | 22,58 | 1,00 | 156,72 | 0,00 | 78,36 | 84,14 | 78,36 | 18,13 | 0,00 |
| Jun | 300,5 | 36,05 | 165,25 | 99,15 | 201,04 | 18,13 | 1,00 | 201,04 | 0,00 | 100,52 | 171,03 | 100,52 | 25,35 | 57,51 |
| Jul | 136,7 | 16,41 | 75,20 | 45,12 | 206,42 | 25,35 | 1,00 | 206,42 | 0,00 | 103,21 | 88,20 | 88,20 | 12,35 | 0,00 |
| Ago | 174,2 | 20,91 | 95,82 | 57,49 | 215,43 | 12,35 | 1,00 | 215,43 | 0,00 | 107,72 | 95,82 | 95,82 | 12,35 | 0,00 |
| Sep | 244,4 | 29,32 | 134,40 | 80,64 | 189,48 | 12,35 | 1,00 | 189,48 | 0,00 | 94,74 | 134,40 | 94,74 | 25,35 | 26,66 |
| Oct | 235,7 | 28,29 | 129,65 | 77,79 | 160,53 | 25,35 | 1,00 | 160,53 | 0,00 | 80,27 | 142,65 | 80,27 | 25,35 | 49,38 |
| Nov | 56,4 | 6,77 | 31,02 | 18,61 | 113,95 | 25,35 | 1,00 | 113,95 | 0,00 | 56,98 | 44,02 | 44,02 | 12,35 | 0,00 |
| Dic | 20,6 | 2,48 | 11,35 | 6,81 | 82,64 | 12,35 | 0,87 | 72,15 | 0,00 | 36,07 | 11,35 | 11,35 | 12,35 | 0,00 |
| Total | 1527,2 | 183,27 | 839,97 | 503,98 | 1712,20 | | | | | | | | | 133,55 |

Analizando los resultados de la tabla 9 se puede plantear que en el caso del mes de enero no existe recarga ya que al suelo le falta humedad, no ha completado su humedad total y como consecuencia no pasa agua como recarga y existe una necesidad de riego porque el suelo no tiene completa su capacidad.

Para analizar el segundo mes, febrero, se toma como humedad inicial la humedad final del mes de enero y a partir de ahí se realizan los cálculos. Se puede concluir que el 12% de la precipitación se retiene en el follaje, el 55% se infiltra, el 33% se escurre y el 8.74% va a convertirse en recarga potencial.

En la tabla 10 se observa el resumen de los resultados obtenidos al aplicar este mismo método para todos los equipos en los últimos 5 años.

Tabla 10: Resultado del cálculo de la recarga potencial de la cuenca Ariguanabo en el periodo 2017-2022

| Año | Rp(mm) | V($hm^3$) |
|---|---|---|
| 2017 | 133,55 | 7,68 |
| 2018 | 68,99 | 3,97 |
| 2019 | 35,63 | 2,05 |
| 2020 | 49,25 | 2,83 |
| 2021 | 41,65 | 2,39 |
| 2022 | 61,10 | 3,51 |
| Total | 390,16 | 22,43 |

## 6. CONCLUSIONES

En el estudio de la recarga de la cuenca Ariguanabo se arribaron a las conclusiones siguientes:

- Se analizan los valores de la recarga potencial del acuífero durante los últimos 5 años, concluyendo que de 2017 a 2021 hubo un descenso notable en estos valores y que en 2022 ha existido un pequeño aumento en comparación con el 2021 pero aun así no excede a los valores de recarga del 2017. Esto indica que existen varios problemas en cuanto a la explotación de los recursos hídricos subterráneos en la zona de estudio con una tendencia a la disminución de estos poniendo en peligro la estabilidad del acuífero.
- Hay un déficit de humedad en el suelo haciendo que aumente la necesidad de riego y el déficit de capacidad de campo.
- La recarga promedio de los últimos 5 años es de 390,16 mm en un área de 574874985,9 $m^2$ dando como resultado un volumen de recarga de 22,43 $hm^3$.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico de Artemisa y de La Habana por haber brindado la información para realizar este estudio.

**REFERENCIAS**

1. INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS. “Procedimiento para la elaboración del Balance de agua”. La Habana, 2012
2. SECRETARÍA DEL CONSEJO NACIONAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (2020). “Propuesta de Medidas de Regularización hidrológica. Cuencas Hidrográficas Ariguanabo y Almendares Vento”. La Habana, 2020.
3. SCHOSINSKY, Gunther; “Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos”. *Revista Geológica de América Central*, 2006, vol 34-35, pp. 13-30.
4. SCHOSINSKY, Gunther; LOSILLA, Marcelino; “Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual*”. Revista Geológica de América Central*, 2000, vol 23, pp. 43-55.
5. PLANOS GUTIÉRREZ, Eduardo; RIVERO VEGA, Roger; GUEVARA VELAZCO, Vladimir; *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Instituto de Meteorología, La Habana: Editorial AMA, 2013. 432 pp. ISBN: 978-959-300-039-0.

6. INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS. “Esquema Regional”. La Habana, 1992.
7. ONU, “Manual de instrucciones, estudios hidrológicos” Publicación Nº 70, San José, Costa Rica, 1972. 540 pp.

**Sobre los autores**

Yakelin Rodríguez López, directora del Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Cujae. Profesora Titular, Dra. Ciencias Técnicas, Miembro del Grupo Temporal del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas
Olga Marina Aguilera Burgos, Ingeniera Hidráulica recién graduada

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CALIBRACIÓN DE ECUACIONES ANALÍTICAS PARA USO EN VERTEDORES TIPO LABERINTO MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA

**Michel Mirabal Rivero [1], Rigoberto Morales Hernández[2], Rafael A. Pardo Gómez[3]**

[1,3] Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, [2] Centro de Estudio de las Construcciones y Arquitectura Tropical (CECAT), Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

[1]e-mail: michelmirabal599@gmail.com

**RESUMEN**

Los vertederos tipo laberinto, utilizados para aumentar la capacidad de descarga en espacios restringidos, carecen de métodos analíticos específicos para describir con precisión su comportamiento hidráulico. Como consecuencia, los métodos diseñados para vertederos laterales se utilizan a menudo como aproximaciones, a pesar de no captar plenamente las complejidades del flujo en los vertederos de laberinto. Este trabajo pretende mejorar la comprensión y el diseño de los vertederos de laberinto mediante la simulación de su comportamiento hidráulico utilizando ANSYS Fluent, una herramienta de dinámica de fluidos computacional (CFD). El estudio se centra en un vertedero de laberinto rectangular para analizar la interacción entre el flujo y la geometría del vertedero, obteniendo una curva superficial que describe el flujo de agua sobre el vertedero. Fueron realizadas simulaciones estacionarias considerando dos fases de fluidos, agua y aire, mediante el modelo de turbulencia k-ε realizable. Los resultados de esta simulación fueron utilizados para calibrar el método analítico del vertedero lateral, ajustándolo para una aplicación más precisa a los vertederos de laberinto. Se obtuvo una ecuación para vertedores laterales ajustada para la aplicación en vertedores tipo laberinto, reduciendo la dependencia del software CFD y permitiendo un diseño optimizado de la infraestructura hidráulica.

**PALABRAS CLAVES:** aliviaderos, ANSYS Fluent, curva superficial, Dinámica Computacional de Fluidos (CFD), simulación estacionaria

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SIMULACIÓN DEL DRENAJE DUAL URBANO APLICANDO EL MODELO IBER-SWMM. CASO DE ESTUDIO MALECÓN-VEDADO DE LA HABANA.

**Autores:**
**Dr. Ing. Luis F. Córdova López[1]. MSc Ing. Patricia Ruth de Horta Brito[2]. MSc Ing. Daniela Córdova de Horta Brito[3].**

Centro de Investigaciones Hidráulicas[123]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Marianao, La Habana[123]
[1]cordovalopez1962@gmail.com.

**RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo principal la simulación dinámica de las inundaciones pluviales ocasionadas por eventos meteorológicos extremos, ejemplo de ellos son las intensas precipitaciones. Profundizando en el estudio de los sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas costera, particularmente el drenaje dual, mediante el uso de la modelación numérica. Se realiza el estudio de la zona del Malecón - Vedado de La Habana conformada la misma por un área de 4.62 km2 en el cual se simularán los escenarios más adelante. Se simularon tres escenarios con el objetivo de realizar una comparación entre sus resultados. El primer escenario se simuló solamente teniendo en cuenta el escurrimiento superficial generado por una inundación pluvial. Los otros dos escenarios se realizaron para estudiar comportamiento del escurrimiento superficial y la red de drenaje pluvial, es decir, el drenaje dual bajo condiciones de grandes inundaciones pluviales.

**PALABRAS CLAVES:** Inundación pluvial, modelación numérica, hidrología urbana, SWMM, Iber

**SIMULATION OF URBAN DUAL DRAINAGE APPLYING THE IBER-SWMM MODEL. CASE STUDY OF THE MALECÓN-VEDADO WATERFRONT IN HAVANA.**

**ABSTRACT**

The main objective of this work is the dynamic simulation of pluvial floods caused by extreme meteorological events, such as intense rainfall. This study delves into the study of urban pluvial drainage systems in coastal areas, particularly dual drainage, through the use of numerical modeling. The study of the Malecón - Vedado area of Havana is carried out, which is made up of an area of 4.62 km2 in which the scenarios will be simulated later. Three scenarios were simulated in order to compare their results. The first scenario was simulated only taking into account the surface runoff generated by a pluvial flood. The other two scenarios were carried out to study the behavior of surface runoff and the pluvial drainage network, that is, dual drainage under conditions of large pluvial floods.

**KEY WORDS:** flooding, numerical modeling, urban hydrology, SWMM, Iber

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de las ciudades, o la ocurrencia de un evento extraordinario de lluvia, en muchas ocasiones sobrepasa las medidas de diseño de algunos de los elementos del drenaje urbano (principalmente elementos de captación y colectores) provocando que el sistema de drenaje de una población sea incapaz de desalojar el escurrimiento por dicho evento. El resultado final, es una inundación. En los últimos años, el cambio climático ha traído consigo que cada vez sean más fuertes las lluvias asociadas a huracanes, estas son un fenómeno natural que normalmente causan graves inundaciones en zonas costeras urbanas. Estas inundaciones pueden tener consecuencias devastadoras en la infraestructura y en la calidad de vida de los residentes. [1], [2]
Por ello se hace necesario realizar un estudio para conocer el comportamiento de estas inundaciones, entender el funcionamiento y la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial para hacer frente a eventos extremos y de los métodos para predecir estos eventos. Se propone la simulación dinámica de las

inundaciones con el enfoque en el drenaje dual urbano desde dos puntos de vista, drenaje superficial de conjunto con la red de drenaje pluvial, para comparar la importancia de tener en cuenta o no la red en el estudio de las inundaciones pluviales, para esto se aplican los modelos SWMM v5.1 [3], [4] Iber v3.3 e Iber-SWMM.[5] El objetivo de este trabajo es: Simular dinámicamente inundaciones pluviales ocasionadas por eventos meteorológicos extremos mediante el uso de modelos matemáticos, haciendo énfasis en el drenaje dual urbano.

**Marco teórico. Drenaje dual urbano.**

Cuando llueve sobre el medio urbano, las calles se transforman en la red primaria de transporte de la escorrentía. A través del sistema de captación dispuesto en ellas, compuesto de rejas, sumideros, e imbornales, parte de esta escorrentía ingresa a la red de alcantarillado, teniendo así dos redes hidráulicas paralelas que trasportan aguas pluviales al mismo instante. Si la capacidad hidráulica de la red de alcantarillado no es suficiente, aquel volumen que los colectores no pueden transportar podría salir hacia la calle, a través de los pozos de registro y del sistema de captación, produciéndose inundación en la superficie. El estudio y análisis del comportamiento hidráulico de la red superficial de drenaje (calles) y de la red soterrada (alcantarillado), y la interacción entre ambas a través del intercambio de flujos se conoce como Drenaje Dual Urbano, y es un interesante punto de vista dentro de la investigación en drenaje urbano, pues considera la modelización simultánea de las dos redes hidráulicas interconectadas dinámicamente entre sí. [3], ver Fig. 1.

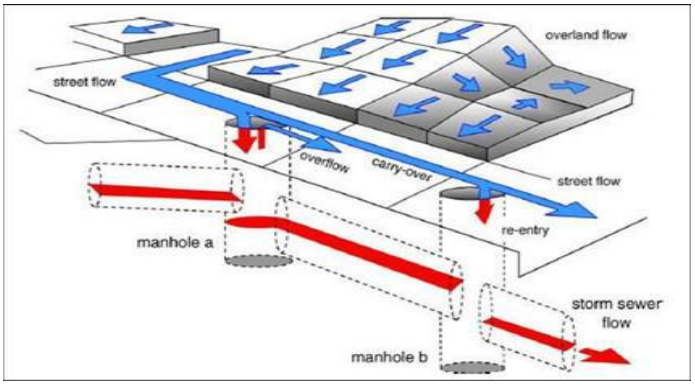



Figura 1: Esquema de un sistema de drenaje dual urbano.

**Modelación numérica de los sistemas de drenaje dual urbano**

Los primeros enfoques de drenaje dual fueron modelos 1D/1D que simplifican el flujo superficial como canales abiertos o estanques, resolviendo las ecuaciones 1D de Saint-Venant. Modelar una calle como un canal abierto es un enfoque sensato siempre que las velocidades del agua presenten una dirección preferencial. Sin embargo, el flujo en los distritos urbanos tiene un comportamiento bidimensional significativo que es necesario considerar en la modelación numérica para lograr resultados veraces. Por lo tanto, se desarrollaron modelos de drenaje dual 1D/2D, que resuelven las ecuaciones bidimensionales de aguas poco profundas en la superficie mientras mantienen el enfoque unidimensional en la red de alcantarillado. Estos enfoques 1D/2D, combinados con modelos digítales de elevación (DEM) precisos, permiten a los modeladores obtener resultados más realistas. [6]. El modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) se utiliza con frecuencia como motor de red de alcantarillado 1D en modelos de drenaje urbano 1D/2D. Por lo tanto, acoplar SWMM con modelos de flujos terrestres resuelve la limitación de SWMM para simular y visualizar el área de inundación. [Sañudo, Cea, & Puertas, 2020].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este epígrafe se presentan los diferentes métodos y materiales empleados en la investigación. Se realiza una descripción del área de estudio y se recopila información sobre las fuertes lluvias y las bases de datos utilizadas para evaluar el nivel de exactitud en la ejecución de los modelos.

**Descripción de la Zona de Estudio**

La Habana, capital de la República de Cuba, es la ciudad más poblada del país, con una población de más de 2 millones de habitantes según datos de 2022, y la tercera más poblada de la región del Caribe. Se ubica en la región occidental de la isla caribeña, entre 22°58', 23°10' de latitud norte y los 82°30', 82°06' de longitud oeste. Al norte se encuentra el estrecho de la Florida, al este la Provincia de Mayabeque, al sur las Provincias Mayabeque y Artemisa y al oeste, la Provincia de Artemisa. El municipio Vedado es el nombre por el cual se le conoce a la "Zona comercial" de la ciudad de La Habana, en la actualidad forma parte del municipio Plaza de la Revolución. Debido a la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos es la zona objeto de estudio. Se analiza desde la calle 18 hasta las calles 19 y calle L, teniendo como límite norte el muro del malecón y por el sur las calles Zapata y Universidad.

**Topografía de la zona de estudio, Modelo Digital de Terreno y Ortofoto**

La información necesaria para la realización de la investigación son la topografía de la zona, el modelo digital del terreno y su ortofoto. Sobre la topografía de la zona de estudio se señala que se encuentra en una llanura costera, con una altitud promedio de alrededor de 10 metros sobre el nivel del mar. La topografía de la zona es relativamente plana, con algunas ligeras pendientes hacia el río Almendares y hacia el mar. La mayoría de las calles del Vedado son rectas y paralelas, lo que facilita la circulación vehicular y peatonal. La vegetación es escasa en la zona urbana. A continuación se presentan Modelo Digital de Terreno (MDT) se obtiene a partir de un levantamiento topográfico mediante el uso de LIDAR con una resolución de 0,25 m. La ortofoto es una imagen fotográfica del terreno cuya proyección central ha sido transformada en una proyección ortogonal con igual resolución, ver Fig. 2.



Figura 2: Vista en 3D del MDT a la derecha y Ortofoto de la zona de estudio a la izquierda.
Red de drenaje pluvial

Los datos de la red de drenaje, fueron obtenidos mediante un levantamiento topográfico realizado por la empresa GEOCUBA. De este levantamiento se puede obtener las informaciones siguientes: la red (ver Fig. 3), está conformada por conductos de sección circular con diámetros entre 0,30 m hasta 1,20 m, los sumideros en su mayoría son de tipo: rejilla de piso con dimensiones 0,95 m x 0,55 m. En la Tabla 1 se muestra un resumen de la red.

Tabla 1: Resumen de la red.

| Resumen de la red de drenaje pluvial de La Habana | | |
|---|---|---|
| Elementos | Cantidad | Observación |
| Conductos | 410 | Se tuvo en cuenta la totalidad de los conductos |
| Sumideros | 1384 | Se tuvo en cuenta la totalidad de los sumideros |
| Nodos o Registros | 413 | Se tuvo en cuenta la totalidad de los nodos |
| Descargas | 19 | Se tuvo en cuenta la totalidad de las descargas |



Figura 3: Red de drenaje pluvial.

**Modelos numéricos utilizados.**
El Iber v3.3, es un modelo numérico 2D para la simulación de flujo turbulento en superficie libre y procesos de transporte en aguas poco profundas. Es un software de distribución gratuita. El módulo de hidrodinámica de Iber resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad en 2D, también conocidas como ecuaciones dinámicas de onda para distinguirlas de los modelos de onda difusivos y cinemáticos más simples [Sañudo, Cea, & Puertas, 2020]. Se ha realizado el acoplamiento entre los modelos Iber +SWMM [Sañudo, Cea, & Puertas, 2020], lo cual permite la simulación del proceso de drenaje dual la interacción entre el drenaje mayor y el drenaje menor.

**Determinación del hietograma a partir del método de bloques alternos. [7]**
Se aplica el método de los bloques alternos, para ello se utilizaron los curvas de Intensidad – frecuencia y duración para La Habana. El hietograma de estudio que se quiere confeccionar es de una hora con

incrementos de tiempo de 5 minutos, se toma período de retorno de 50 años, que significa una probabilidad del 2 %. Ver fig. 4.

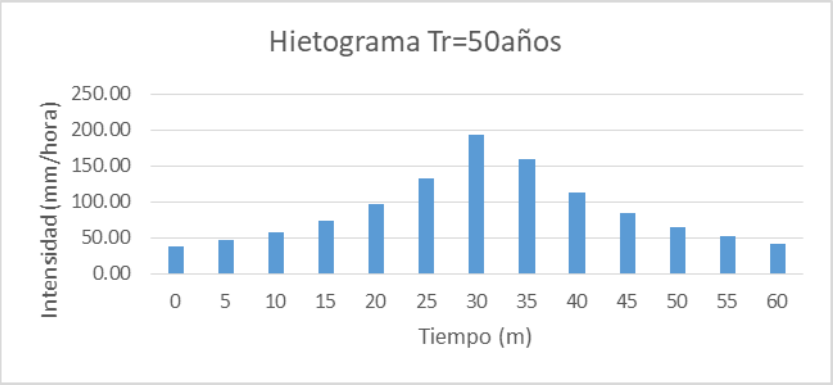



Figura 4: Hietograma para una lluvia de 50 años de periodo de retorno.

**DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de la investigación se definieron los escenarios a estudiar, que se presentan a continuación.

Tabla 2: Descripción de escenarios de estudio.

| No. | Escenario | Descripción | Objetivo |
|---|---|---|---|
| 1 | Inundación Pluvial para una lluvia de período de retorno 50 años. (drenaje mayor) | Se desarrolla el escenario teniendo en cuenta solamente escurrimiento superficial. (2 horas de corrida) | Obtener el mapa de máxima peligrosidad la zona de estudio. Definir de acuerdo con los puntos de observación los niveles de inundación. |
| 2 | Inundación Pluvial para lluvias de períodos de retorno 50 años (drenaje mayor) +(Sumideros)+ (drenaje menor) | Se desarrolla el escenario teniendo en cuenta el escurrimiento superficial, la descarga por los sumideros y el funcionamiento de la red de drenaje pluvial (2 horas de corrida) | Estudiar cómo se comporta la red drenaje bajo estas condiciones y comparar con los demás escenarios. |

A continuación se presentan los análisis de los resultados para los diferentes escenarios objeto de estudio. Los dos escenarios se simularán durante 2 horas para poder modelar el proceso de escurrimiento una vez culminado el tiempo de duración de la lluvia. El análisis de los resultados se basa en los mapas de máximos niveles de inundación y el comportamiento del calado en puntos de observación, ver tabla 3 y Fig. 5, colocados estratégicamente en zonas de alto riesgo de inundaciones basadas en datos históricos.

**Tabla 3: Ubicación de los puntos de observación.**

| Punto de observación | |
|---|---|
| 1 | 1era avenida y calle 12 |
| 2 | 3era avenida y calle 12 |
| 3 | 5ta avenida y calle 12 |
| 4 | 3era avenida y calle 6 |
| 5 | Calzada Paseo y calle 3 |
| 6 | Avenida B y calle 3 |
| 7 | 7ma avenida y calzada G |
| | Calzada 7ma, calle M y calle 11 |




Figura 5: Puntos de observación.

**Escenario No.1. Inundación Pluvial (Drenaje Mayor).**

Este escenario se basa en el estudio de las inundaciones provocadas por una lluvia de período de retorno de 50 años teniendo en cuenta solamente el escurrimiento superficial, (no se coloca la red de drenaje pluvial). El resultado de la simulación se presenta en intervalos de 5 minutos para el estudio de las 2 horas de corrida. Para el análisis de los niveles de inundación en los puntos de control se presenta la Tabla 4, en dicha tabla se puede observar que casi todos los máximos ocurren alrededor de 1 hora con 50 minutos, pasado 50 minutos de terminada la lluvia, esto se debe a que se recogen resultados de escurrimiento superficial. En este escenario el agua se va a almacenar porque no se tiene en cuenta la red, ni las áreas verdes que presentan porcientos infiltración. Se constata que en todos los puntos se recogen valores de calados de 1,00 m hasta casi 2,00 m. Se destaca que en estos mismos puntos desde que trascurre la primera hora de corrida se aprecian valores de calado mayores de 1,00 m, los cual son valores significativos. Los máximos calados ocurren casi al final del tiempo de simulación, a la 1 hora con 50 minutos. En el punto 6 es donde ocurre el máximo calado, con 1,98 m. La velocidad con la que se alcanza este calado es de 1,08 m/h. El punto 4, es el segundo con mayor calado, con 1,54 m, y el tercer punto con mayor calado es el punto 3, con 1,50 m. Los puntos con menor calado son el 7; 5 y 1 con 1,08 m; 1,26 m y 1,34 m respectivamente.

Tabla 4: Calado para cada punto de control.

| **Puntos de observación escenario 1** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T(horas)** | **P1** | **P2** | **P3** | **P4** | **P5** | **P6** | **P7** | **P8** |
| 0:05 | 0.013 | 0.002 | 0.001 | 0.026 | 0.015 | 0.053 | 0.000 | 0.001 |
| 0:10 | 0.075 | 0.010 | 0.004 | 0.070 | 0.053 | 0.190 | 0.001 | 0.052 |
| 0:15 | 0.150 | 0.048 | 0.071 | 0.145 | 0.070 | 0.323 | 0.017 | 0.191 |
| 0:20 | 0.222 | 0.091 | 0.166 | 0.260 | 0.174 | 0.525 | 0.127 | 0.403 |
| 0:25 | 0.273 | 0.193 | 0.317 | 0.401 | 0.328 | 0.784 | 0.255 | 0.633 |
| 0:30 | 0.324 | 0.382 | 0.477 | 0.563 | 0.456 | 1.065 | 0.406 | 0.860 |
| 0:35 | 0.493 | 0.583 | 0.676 | 0.755 | 0.585 | 1.274 | 0.575 | 1.077 |
| 0:40 | 0.714 | 0.755 | 0.887 | 0.924 | 0.711 | 1.441 | 0.758 | 1.199 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0:45 | 0.846 | 0.911 | 1.024 | 1.054 | 0.839 | 1.576 | 0.903 | 1.236 |
| 0:50 | 0.946 | 1.026 | 1.141 | 1.177 | 0.938 | 1.671 | 1.005 | 1.245 |
| 0:55 | 1.037 | 1.104 | 1.240 | 1.258 | 1.012 | 1.747 | 1.072 | 1.233 |
| 1:00 | 1.125 | 1.180 | 1.278 | 1.340 | 1.061 | 1.798 | 1.109 | 1.227 |
| 1:05 | 1.188 | 1.233 | 1.329 | 1.396 | 1.093 | 1.835 | 1.127 | 1.216 |
| 1:10 | 1.254 | 1.260 | 1.374 | 1.405 | 1.117 | 1.850 | 1.130 | 1.209 |
| 1:15 | 1.301 | 1.290 | 1.394 | 1.415 | 1.158 | 1.886 | 1.123 | 1.214 |
| 1:20 | 1.273 | 1.328 | 1.431 | 1.458 | 1.182 | 1.917 | 1.116 | 1.253 |
| 1:25 | 1.322 | 1.360 | 1.444 | 1.473 | 1.208 | 1.936 | 1.106 | 1.300 |
| 1:30 | 1.299 | 1.333 | 1.424 | 1.532 | 1.226 | 1.949 | 1.102 | 1.342 |
| 1:35 | 1.318 | 1.355 | 1.484 | 1.518 | 1.242 | 1.968 | **1.097** | 1.377 |
| 1:40 | 1.288 | 1.363 | 1.464 | 1.498 | 1.253 | 1.982 | 1.093 | 1.412 |
| 1:45 | 1.294 | 1.355 | 1.464 | 1.505 | 1.252 | 1.971 | 1.090 | 1.438 |
| 1:50 | **1.341** | **1.400** | **1.502** | **1.544** | **1.263** | **1.986** | 1.083 | **1.481** |
| 1:55 | 1.289 | 1.364 | 1.461 | 1.532 | 1.263 | 1.984 | 1.093 | 1.410 |
| 2:00 | 1.293 | 1.352 | 1.464 | 1.505 | 1.251 | 1.980 | 1.090 | 1.436 |

**Análisis del comportamiento del mapa de inundación**

A continuación, se presentan las zonas de mayor inundación pluvial obtenidas del mapa de máximo calado generado por Iber y teniendo en cuenta el análisis de los puntos de observación presentado en el acápite anterior. La zona de alto riesgo (A), está ubicada en la intercepción de las calles B y avenida 3era, dicha zona corresponde al punto de observación P6, también se aprecia otra zona de alto riesgo (B), que comprende al punto P5 (Calle Paseo y Ave. 3era). La zona (C), abarca desde la calle 12 hasta la calle 8, teniendo como límite norte la Ave. 1era y al sur Ave. 5ta, comprendiendo dentro de esta los puntos de control 1; 2; 3 y 4. Ver fig. 6.

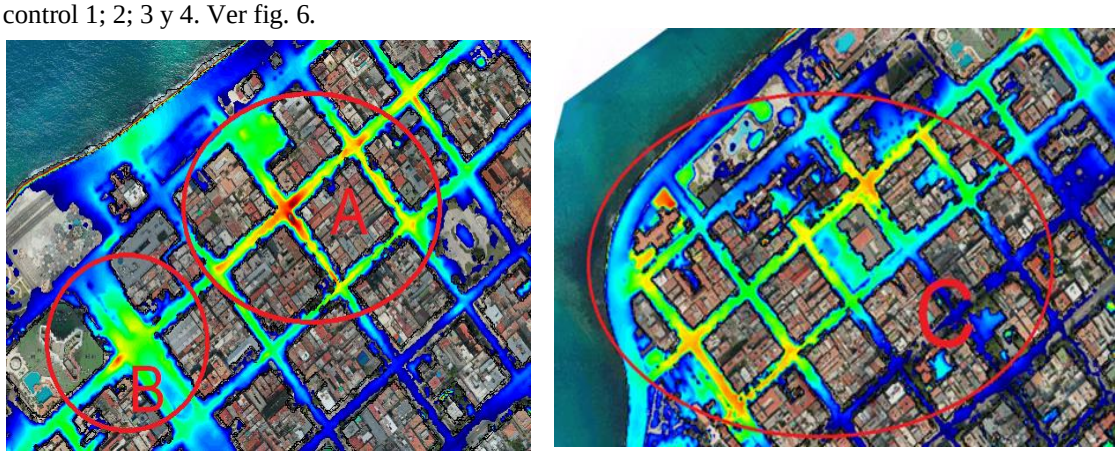



Figura 6: Zona (A) de alto riesgo, Calle B y Ave. 3era; Zona (B) de alto riesgo, Calle Paseo y Ave. 3era y Zona C, Calle 12 hasta la calle 8.

**Escenario No.2. Inundación Pluvial (Drenaje Mayor) + (Sumideros) + (Red de Drenaje).**
Este escenario basa el estudio de las inundaciones provocadas por una lluvia de período de retorno de 50 años y una hora de aguacero, teniendo en cuenta el escurrimiento superficial, la interacción entre el drenaje mayor y el menor a través de la capacidad de captación de los sumideros, mediante los puntos de control se obtendrán los niveles de inundación presentados en dichas zonas, para luego comparar con el escenario 1.

**Análisis del comportamiento de la inundación en los puntos de observación**

Para el análisis de los niveles de inundación en los puntos de control se presenta la tabla 5, en dicha tabla se puede observar que los máximos comienzan a ocurrir en el punto P1 a los 40 minutos y en los restantes puntos a partir de los 45 minutos, haciéndose notar la presencia de los sumideros y de la red de drenaje pluvial. En este escenario el agua es captada por los sumideros y circula por la red de drenaje. Comienzan a verse algunos cambios muy considerables en los calados en comparación con el escenario anterior que será explicado más adelante. Se observa que en todos los puntos se recogen valores de calados entre 0,24

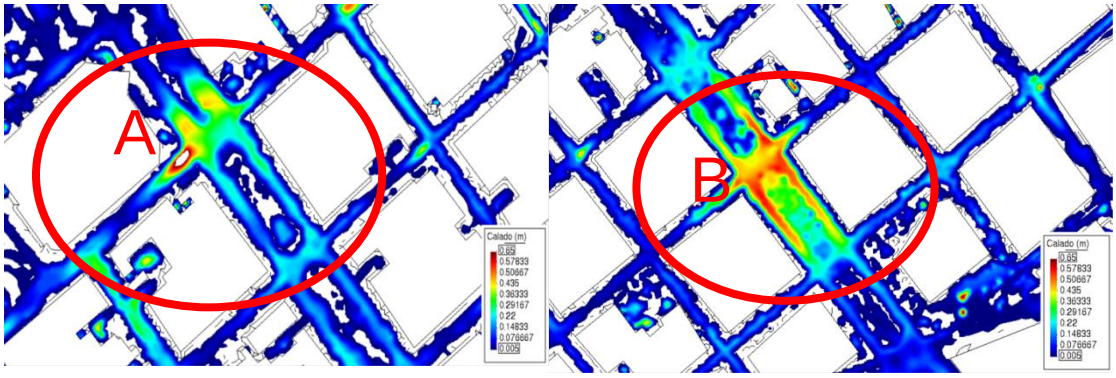
m y 0,63 m. Se destaca que en la mayoría de los puntos desde que trascurre los primeros 20 minutos de corrida se aprecian valores de calado mayores de 0,10 m. Los máximos ocurren alrededor de los 45-55 minutos, pasado ya el momento de mayor intensidad del aguacero. En el punto P4 es donde ocurre el máximo calado, con 0,63 m. El punto P3, es el segundo con mayor calado, con 0,53 m, y el tercer punto con mayor calado es el punto P6, con 0,49 m.

Tabla 5: Calado para cada punto de control.

| | **Puntos de observación escenario 2** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T(horas)** | **P1** | **P2** | **P3** | **P4** | **P5** | **P6** | **P7** | **P8** |
| 0:05 | 0.002 | 0.001 | 0.026 | 0.019 | 0.017 | 0.055 | 0.001 | 0.006 |
| 0:10 | 0.002 | 0.001 | 0.061 | 0.046 | 0.063 | 0.185 | 0.001 | 0.032 |
| 0:15 | 0.002 | 0.001 | 0.105 | 0.092 | 0.083 | 0.282 | 0.001 | 0.076 |
| 0:20 | 0.007 | 0.001 | 0.120 | 0.111 | 0.106 | 0.328 | 0.002 | 0.127 |
| 0:25 | 0.031 | 0.009 | 0.137 | 0.133 | 0.155 | 0.346 | 0.005 | 0.174 |
| 0:30 | 0.061 | 0.028 | 0.276 | 0.256 | 0.230 | 0.364 | 0.058 | 0.211 |
| 0:35 | 0.110 | 0.090 | 0.368 | 0.398 | 0.306 | 0.385 | 0.160 | 0.257 |
| 0:40 | **0.123** | 0.175 | 0.507 | 0.520 | 0.384 | 0.448 | 0.289 | 0.303 |
| 0:45 | 0.110 | **0.242** | **0.531** | 0.589 | 0.427 | **0.495** | 0.369 | **0.309** |
| 0:50 | 0.087 | 0.232 | 0.476 | 0.620 | **0.440** | 0.487 | 0.407 | 0.293 |
| 0:55 | 0.067 | 0.207 | 0.461 | **0.632** | 0.435 | 0.466 | **0.419** | 0.262 |
| 1:00 | 0.050 | 0.180 | 0.431 | 0.631 | 0.428 | 0.444 | 0.417 | 0.215 |
| 1:05 | 0.036 | 0.150 | 0.392 | 0.629 | 0.429 | 0.413 | 0.404 | 0.185 |
| 1:10 | 0.028 | 0.118 | 0.357 | 0.616 | 0.414 | 0.373 | 0.385 | 0.172 |
| 1:15 | 0.022 | 0.093 | 0.333 | 0.599 | 0.394 | 0.353 | 0.365 | 0.163 |
| 1:20 | 0.018 | 0.077 | 0.322 | 0.584 | 0.372 | 0.347 | 0.346 | 0.159 |
| 1:25 | 0.016 | 0.067 | 0.316 | 0.568 | 0.352 | 0.346 | 0.327 | 0.152 |
| 1:30 | 0.014 | 0.059 | 0.311 | 0.552 | 0.334 | 0.345 | 0.312 | 0.146 |
| 1:35 | 0.013 | 0.064 | 0.377 | 0.536 | 0.318 | 0.345 | 0.298 | 0.146 |
| 1:40 | 0.012 | 0.069 | 0.324 | 0.522 | 0.305 | 0.345 | 0.285 | 0.145 |
| 1:45 | 0.012 | 0.050 | 0.339 | 0.510 | 0.296 | 0.345 | 0.275 | 0.145 |
| 1:50 | 0.012 | 0.060 | 0.383 | 0.501 | 0.290 | 0.345 | 0.264 | 0.145 |
| 1:55 | 0.012 | 0.067 | 0.328 | 0.493 | 0.287 | 0.345 | 0.255 | 0.145 |
| 2:00 | 0.013 | 0.046 | 0.342 | 0.486 | 0.284 | 0.345 | 0.250 | 0.145 |

**Análisis del comportamiento del mapa de inundación**

A continuación, se presentan las zonas de mayor nivel de inundación pluvial teniendo en cuenta el análisis de los puntos de observación presentados. La zona (A) con máximos calados entre 0,18 m y 0,44 m, está ubicada en la intercepción de las calles Paseo y avenida 3era y se extiende subiendo por Paseo hasta 7ma avenida, detectándose un área grande de inundación que contiene al punto de observación P5. La zona (B) abarca desde la 5ta avenida hasta por calle G hasta 9na avenida, con máximos calados entre los 0,25 m y los 0,50 m y comprende al punto de P7 de observación. Otra Zona, la (C), en la intersección de las calles Calzada, calle M y calle 11, con máximos calados de 0,15 m y los 0,40 m y que comprende al punto de P8 de observación. Se detecta la denominada Zona (D) en la esquina de calle K y 9na avenida con profundidades entre los 0,20 m y 0,45 m.



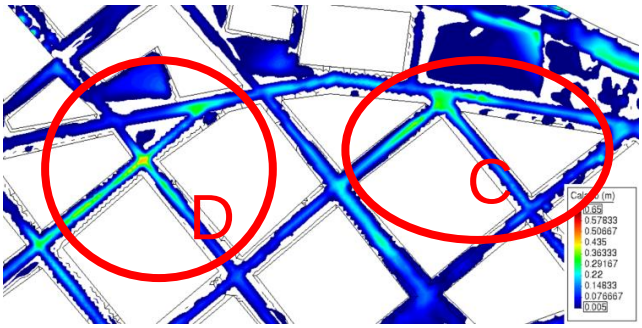



Figura 7: Se presentan las zonas de inundación. Zona (A); Zona (B); Zona (C) y Zona (D).

**Comparación de los escenarios No.1 y No.2.**

En este epígrafe se realiza una comparación entre los dos escenarios estudiados con el objetivo de mostrar el efecto que tiene el sistema de drenaje pluvial para la lluvia estudiada, así como demostrar la necesidad de realizar los estudios de inundación en zonas urbanas teniendo en cuenta el drenaje dual.
En la fig. 8 se presenta el comportamiento de todos los puntos de observación para los dos escenarios estudiados. Es evidente que en el escenario 1 donde no existe el sistema de drenaje menor, o no ha sido colocado las cotas de inundación comienzan a ascender de forma rápida alcanzando valores de 0,50 metros entre los 15 minutos y 30 minutos después de comenzar la lluvia. El incremento es rápido estabilizándose para todos los puntos alrededor de las 45 minutos, con valores máximos entre 1,oo metros y 2,00 metros. El tiempo restante de la simulación se mantienen los valores constantes con un ligero aumento en algunos puntos. Es de destacar que la duración de la lluvia fue de una hora, y el período de modelación escogido fue de dos horas para poder tomar el proceso de escurrimiento y drenaje.
En el escenario 1, es evidente que en la zona de estudio no se generó drenaje del agua que escurre de las zonas altas hacia las bajas, pero debido a las características topográficas de la zona, no existe fronteras por donde el agua drenaje hacia fuera de la misma hacia el este y el oeste, a esto se le suma la existencia del muro del malecón que constituye una barrera en la frontera norte. Es evidente que el sistema de drenaje menor o red de drenaje pluvial es la única vía para la evacuación de las aguas generadas por un evento meteorológico.
En el caso del escenario 2 simulado, en el cual se ha tenido en cuenta la interacción con el drenaje mayor (drenaje superficial) con el drenaje menor el comportamiento del calado de inundación es diferentes para todos los puntos de inundación.
Como se observa en la fig. 8, se comienza a observar el incremento del nivel de aguas en los puntos de observación a los 30 minutos de haber comenzado la lluvia, se alcanzan los máximos alrededor de los 50 minutos, y en ningún caso supero los 0,55 metros, y culminado el tiempo de duración de la lluvia, se observa como el proceso de reducción del calado en todos los puntos, de forma más notable al finalizar la simulación, donde por ejemplo en el puntos P1 y P2 se ha reducido a casi cero el nivel de agua.
Señalar que en el trabajo no se ha presentado el análisis del comportamiento de la red de drenaje pluvial, pero es un elemento que contribuye de manera importante a la interpretación del comportamiento del calado en alguno de los puntos de observación seleccionados, ya que ante una lluvia extrema la red colapsa, dígase hay tramos de tuberías que trabajan a presión, generándose cargas hidráulicas en los registros aguas arriba generando caudales hacia la superficie que incrementan el calado, produciendo un aporte de agua al escurrimiento superficial, y por tanto en zonas bajas incrementando el tiempo de inundación, como puede ser el caso de los puntos P4; P5; P6 y P7, donde se observa una reducción menor de la profundidad del agua que en el resto de los puntos.

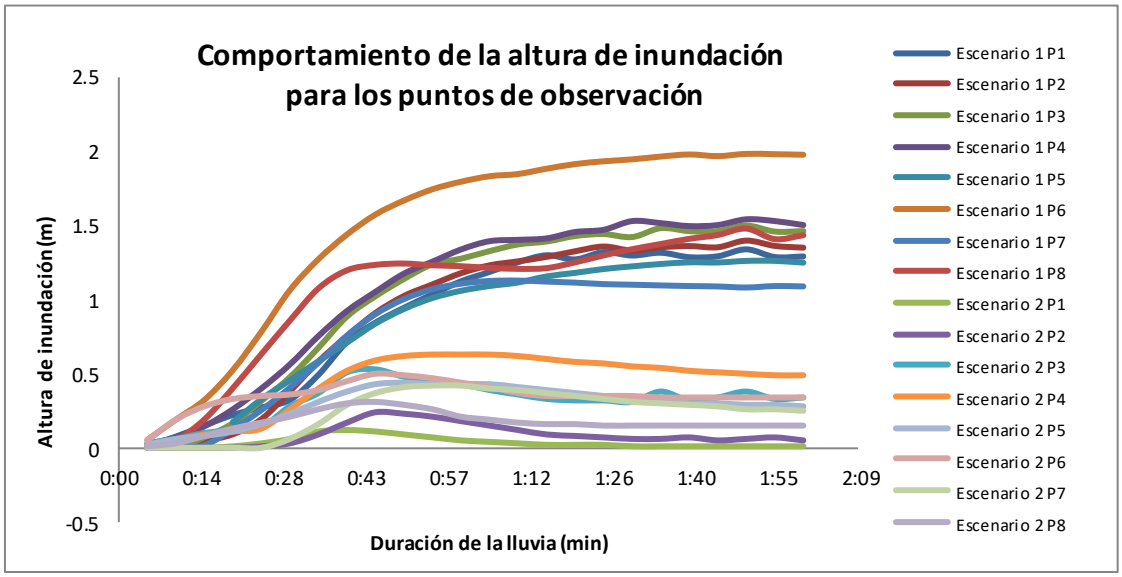



Figura 8: Comportamiento de la altura de inundación para los puntos de observación y los escenarios estudiados.

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

En los últimos años han aumentado el número de eventos de inundaciones pluviales debido al cambio climático de ahí la necesidad de desarrollo de herramientas numéricas para la simulación de estos eventos meteorológicos y sus efectos.
La urbanización trae consigo un incremento del volumen de escurrimiento, el caudal máximo y la velocidad de traslado del mismo. También disminuye el tiempo de concentración.
Se aplica el modelo Iber + SWMM, para el estudio de inundaciones pluviales por intensas lluvias para grandes periodos de retorno con resultados satisfactorios. La simulación dinámica de las inundaciones pluviales teniendo en cuenta la red de drenaje pluvial (sistema menor) y la escorrentía superficial (sistema mayor), en zonas urbanas costeras es la mejor opción para el estudio de este fenómeno.
Las zonas críticas durante la ocurrencia de intensas lluvias son: zona P3, 5ta avenida y calle 12; zona P4, 3era avenida y calle 6; zona P5, Calzada Paseo y calle 3; y zona P7, 7ma avenida y calzada G.

### Recomendaciones

Se recomienda dar continuidad a este estudio profundizando en el establecimiento de los modelos numéricos aplicados. Se propone que la metodología desarrollada en este trabajo sea aplicada para el estudio, y propuestas de soluciones ingenieras ante la ocurrencia de inundaciones compuestas en nuestro país.

**REFERENCIAS**

1. Batista Silva, J.L. y otros, (1993). Informe acerca de las manifestaciones y consecuencias de las penetraciones del mar del 13-15 de marzo de 1993, ocurridas en la franja del litoral norte de la Ciudad de La Habana, IGEO.
2. Batista Silva, J. L. y Sánchez Celada, M. Riesgos por Inundaciones Pluviales en Cuba. Obtenido de http://docplayer.es/docview/72/66365164/
3. Concha, R.; Gómez, M. (2009). Una aproximación a la modelización del drenaje dual urbano mediante EPA SWMM 5.0. A: Jornadas de Ingeniería del Agua. Madrid: International Association for Hydro-Environment Engineering and Research,
4. de Horta Brito, P. (2018). Simulación numérica de las redes de alcantarillado y drenaje pluvial de la CUJAE. Soluciones propuestas. Tesis Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE, Centro de Investigaciones Hidráulicas.
5. Hernández, J. L. A. (2013). Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano. Universidad Politécnica de Cataluña]. Barcelona, España.
6. Sañudo, E., Cea, L., & Puertas, J. (22 de Septiembre de 2020). Modeling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Models Iber and SWMM. Obtenido de MPDI: http://dx.doi.org/10.3390/w12092647
7. Chow, V.; D.R. Maidment y L.W. Mays (1994). - Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill, 580 pp.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CUENCA GANCEDO. LA HABANA.

**MSc Ing. Patricia Ruth de Horta Brito [1], Dr. Ing. Luis F. Córdova López[2],**

[1]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, email: phortabrito@gmail.com, [2]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, e-mail: cordovalopez1962@gmail.com

**RESUMEN**

Las inundaciones ocasionadas por lluvias son una amenaza continua que afecta a muchas zonas urbanas en todo el mundo. La Habana durante el efecto de eventos meteorológicos extremos sufre en la mayoría de sus municipios inundaciones por intensas lluvias. Una de las cuencas urbanas de mayor afectación es la denominada cuenca Gancedo, ubicada en la zona central de La Habana, esta comprende los municipios de Habana Vieja, 10 de Octubre y Cerro, presentando este problema con relativa frecuencia. La modelación numérica es una poderosa herramienta para el estudio de forma dinámica del comportamiento hidráulico de las redes de captación de aguas. A partir de la situación existente en la cuenca se realiza el estudio del funcionamiento hidráulico de las redes mediante el uso del software de modelación matemática EPA-SWMM. Se simularon tres escenarios de lluvia, resultando 9 áreas de inundación, lo que evidencia el mal estado de la red de drenaje pluvial de la cuenca, se proponen varias soluciones ingenieras para lograr su óptimo funcionamiento.

**PALABRAS CLAVES:** inundación pluvial, modelación numérica, hidrología urbana

## NUMERICAL SIMULATION OF THE STORM DRAINAGE NETWORK OF THE GANCEDO BASIN. HAVANA.

**ABSTRACT**

Flooding caused by rain is a continuous threat that affects many urban areas around the world. During the effects of extreme weather events, Havana suffers flooding due to heavy rain in most of its municipalities. One of the most affected urban basins is the so-called Gancedo basin, located in the central area of Havana, comprising the municipalities of Habana Vieja, 10 de Octubre and Cerro, and presents this problem relatively frequently. Numerical modeling is a powerful tool for the dynamic study of the hydraulic behavior of water catchment networks. Based on the existing situation in the basin, the study of the hydraulic functioning of the networks is carried out using the mathematical modeling software EPA-SWMM. Three rain scenarios were simulated, resulting in 9 flood areas, which shows the poor condition of the storm drainage network in the basin. Several engineering solutions are proposed to achieve its optimal functioning.

**KEY WORDS:** pluvial flooding, numerical modelling, urban hydrology

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de drenaje pluvial existen desde el principio de la civilización, los mismos contaban en su mayoría de simples canales para el desvío de las aguas [1].

La gestión sostenible de las aguas superficiales no es algo nuevo, ya en la antigüedad se trataba de una tarea frecuente. Los conocimientos culturales y ciudadanos estaban estrechamente relacionados con el diseño y la planificación de estos primeros sistemas de drenaje, aportando la base de lo que se convertiría en la ingeniería moderna de gestión del agua [2].

El agua es posiblemente, el recurso natural más abundante en el planeta y es de vital importancia para todas las formas de vida, lo cual no excluye al hombre y su vida en sociedad, si bien esto es cierto, cuando se encuentra en cantidades excesivas, tiene graves repercusiones para la vida y la economía, por eso la necesidad de contar con un adecuado sistema de evacuación de las aguas pluviales [1].

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la región de América Latina y el Caribe ha sido la segunda región en sufrir más desastres naturales entre los años 2000 y 2020, siendo la inundación el desastre natural más común en la región [3].

Es importante tener en cuenta que las precipitaciones son solo alguno de los eventos extremos que pueden causar inundaciones pluviales en el Caribe. Cada evento es único, pero cada uno puede tener consecuencias devastadoras [4].

Las inundaciones ocasionadas por lluvia son una amenaza continua que afectan a muchas zonas urbanas en todo el mundo, todo esto puede ser producto a la ausencia de sistemas de drenaje pluvial, a su insuficiente diseño y en otros casos al mal estado en que se encuentran o a la falta de mantenimiento. En La Habana se deja en evidencia constantemente al sistema de drenaje pluvial de la capital, llueve y las calles habaneras se vuelven ríos cuando colapsan los añejos canales construidos desde principios del siglo XX. Los sistemas de drenaje pluvial no consiguen tragar a tiempo el volumen de agua de las precipitaciones, fenómeno que corrobora la poca infraestructura hidráulica existente debido a la falta de sistemas de drenajes pluviales, capacidad insuficiente y falta de mantenimiento de los sistemas de drenaje pluvial [5].

A pesar de La Habana contar con un sistema de drenaje pluvial, presenta continuas inundaciones, particularmente en la cuenca Gancedo se evidencian inundaciones pluviales provocadas por el mal diseño del sistema de la red de drenaje y la falta de mantenimiento del mismo [5].

Para mitigar los impactos de las inundaciones es fundamental que las ciudades cuenten con una red de drenaje adecuadamente planificada y diseñada [6].

Los modelos hidrodinámicos son herramientas sólidas en la gestión de aguas pluviales urbanas. Las simulaciones numéricas de inundaciones urbanas son importantes a la hora de planificar y diseñar científicamente sistemas de drenaje urbano y proporcionar estrategias eficientes de control y gestión de desastres por inundaciones urbanas [7].

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de las zonas con mayores problemas de inundación, recopilar la información existente del trazado y características de la red, así como la topografía de la cuenca Gancedo, simular el comportamiento de la red existente en la cuenca con diferentes tipos de lluvia mediante el modelo matemático de dominio publico EPA SWMM 5.1 y proponer soluciones ingenieras para los problemas existentes en la red.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y características principales del área de estudio

La cuenca topográfica de Gancedo abarca un área tributaria total de 610,38 ha, perteneciente a los municipios, Cerro, Habana Vieja y 10 de Octubre, sus aguas pluviales descargan a la bahía de La Habana, a través del dren principal de Gancedo que va por la calle del propio nombre. Los drenes principales asociados a Gancedo son dren Maboa, dren Villanueva y dren Agua Dulce, estos tienen asociados drenes secundarios ramificados de forma que captan toda el agua pluvial de la cuenca y a su vez ellos descargan al dren principal que descarga en la bahía de La Habana [5].

### Hidrología de la cuenca urbana

### Probabilidad de ocurrencia de la lluvia.

El escenario a modelar se define según la probabilidad de ocurrencia de la lluvia y el tiempo de duración de la misma. Para la modelación se ha empleado una lluvia, con una probabilidad del 50% y tiempo de retorno de 2 años tomado del pluviógrafo CH-171 del municipio Plaza de la Revolución ya que es el más cercano a nuestra cuenca.

### Tiempo de duración de la lluvia.

La intensidad de la lluvia a utilizar en la modelación se toma de la curva I-F-D (intensidad-frecuencia-duración) de La Habana, de donde los parámetros usados son A=5682,10, b=48,5, n=0,99 [8] para la probabilidad del 50%.

**Hietograma de diseño.**

Un hietograma es un gráfico de la distribución temporal de la intensidad o de la profundidad de una precipitación a lo largo de la duración del episodio [9], como se presenta en la Fig. 1

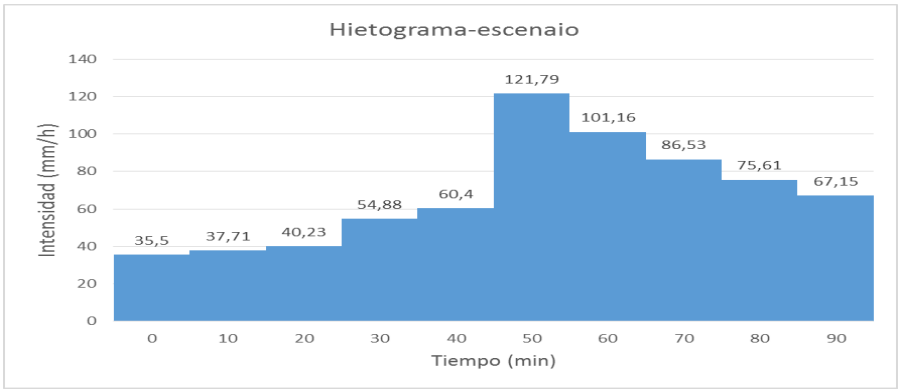



Figura 1: Hietograma de la lluvia utilizado en la modelación del escenario

Se realizará un análisis de tres variantes desplazando la máxima intensidad de la lluvia a 1/3 del comienzo del aguacero correspondiéndose con un tiempo de 30 minutos, en el medio, a los 50 minutos, y a 2/3 de haber iniciado el aguacero para un tiempo de 60 minutos obteniendo tres variantes para la simulación del modelo.

El sistema cuenta con un total de 225 conductos, de los cuales 177 son tuberías de hormigón con un coeficiente de Manning de 0,013, otros 47 son cajones al igual de hormigón y una zanja excavada en tierra con abundante vegetación y un coeficiente de Manning de 0,04.

El Storm Water Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en período extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico funciona con una serie de cuencas en las cuales cae la precipitación y se origina la escorrentía; el de transporte o hidráulico analiza el recorrido de esta agua mediante un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores [5]. El modelo de infiltración que se utilizó para estimar la escorrentía superficial fue el denominado Número de Curva de la Natural Resources Conservation Service (NRCS) y de la Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, mientras que el tipo de onda con la que se trabajó fue el modelo de la onda dinámica ya que este resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos.
Para el establecimiento del modelo se tuvo en cuenta colocar y definir nodos del sistema, con 214 nodos en total, 56 son nodos cabecera y 158 son nodos no cabecera; trazado y dimensionamiento de la red de tuberías y canales con 225 conductos en total, de ellos 177 son tuberías circulares de hormigón, 47 son cajones de hormigón y 1 zanja excavado en tierra, se delimitó un total de 277 subcuencas abarcando los 3 municipios de análisis en cuestión, se introdujeron en el editor series temporales los hietogramas de análisis para la simulación y por último corresponde la definición de los parámetros del modelo hidráulico y las opciones generales de la modelación donde se define el modelo de infiltración (Número de Curva), el tipo de onda (Onda Dinámica), intervalos en lo que vamos a saber el caudal de inundación (10 minutos), tiempo de duración de la lluvia(90 minutos), hora de inicio y final de la simulación.

## 3. RESULTADOS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES

En este apartado se realiza un análisis del comportamiento hidráulico de la red de drenaje pluvial de la cuenca Gancedo. Se exponen y abordan los principales problemas de la zona como también se proponen soluciones ingenieras con el objetivo de solucionar las inundaciones pluviales en la cuenca.

Para el análisis de los resultados de la simulación se analizan los drenes que conforman la cuenca: dren Maboa, dren Villa Nueva y dren Agua Dulce, ya que se conoce de las inundaciones en las áreas comprendidas en dichos drenes. Información brindada por la empresa Aguas de La Habana, totalizando 9 zonas puntuales afectadas por este fenómeno. Realizándose también análisis en nodos y conductos.

La tabla 1 nos muestra la ubicación y dimensión de cada área de inundación de los 3 drenes en cuestión.

Tabla 1: Áreas de inundación por dren

| **Dren** | **Localización** | **Área (hectáreas)** |
|---|---|---|
| Maboa | 1. calle Vista Alegre desde, calle Juan Bruno Zayas hasta Juan Delgado | 1,63 |
| | 2. calle Santa Catalina desde, calle Mayia Rodríguez hasta calle Cortina | 18,4 |
| | 3. se delimita por las calles Luis Estévez, San Julio, Santa Emilia y San Benigno | 43,4 |
| | 4. calle San Leonardo, desde calle San Indalecio hasta calle Ensenada | 9,08 |
| Agua Dulce | 5. calle Macedonia y Resguardo | 1,37 |
| | 6. calle Calzada de Buenos Aires y Durege | 2,5 |
| | 7. se delimita por las calles San Indalecio, Agua Dulce, Fomento y Tamarindo | 16,6 |
| Villa Nueva | 8. calles Enna, Fomento, Velázquez y Guasabacoa | 4,78 |
| | 9. calle Villa Nueva y Aspuro | 4,26 |

En la figura 2 se muestran cada una de estas áreas de inundación. En color rojo se delimitan las áreas de inundación, en azul la numeración de la misma, en naranja se delimita la cuenca y las manzanas en color gris.

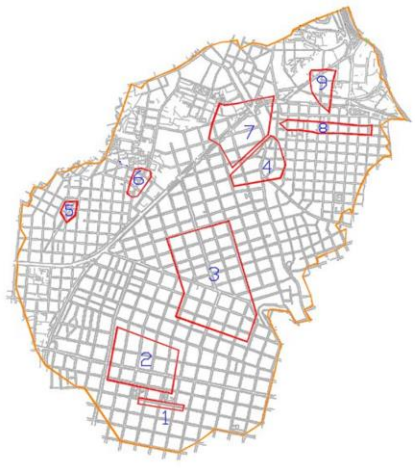



Figura 2. Áreas de inundación de la cuenca Gancedo en AutoCAD 2016

**Ubicación de los nodos representativos**

La tabla 2 nos brinda información acerca de la localización de cada uno de los nodos en correspondencia con los drenes Maboa, Villa Nueva y Agua Dulce, se tomó la decisión de que cada uno de ellos estuviese ubicado en el ramal principal del sistema de drenaje pluvial, como también que su ubicación estuviese en cada una de las áreas de inundación de interés.

Tabla 2: Ubicación de los nodos

| **Drenes** | **Nodos** | **Ubicación** |
|---|---|---|
| Maboa | N22 | esquina Milagros Oeste y Figueroa |
| | N86 | calle Vía Blanca, entre calle Velázquez y calle Caíz de Concha |
| Villa Nueva | N189 | esquina Arango y Villa Nueva |
| | N207 | calle Villa Nueva, entre calle Vía Blanca y calle Aspuro |
| Agua Dulce | N102 | esquina Macedonia y Resguardo |
| | N112 | esquina Durege y Calzada de Buenos Aires |

**Simulación de la variante 1**

Durante la simulación de esta variante, el momento crítico de inundación ocurre aproximadamente a los 50 minutos después de comenzar la lluvia, instante en el cual se producen los valores máximos de gasto de inundación en los nodos. En la figura 3 se muestra el comportamiento de la red para dicho intervalo de tiempo, en esta se aprecia el comportamiento en la capacidad de los conductos y la inundación en cada nodo de la cuenca. En color azul se resaltan los nodos donde no ocurre inundación y las líneas rojas gruesas señalan las tuberías que están trabajando a sección llena.

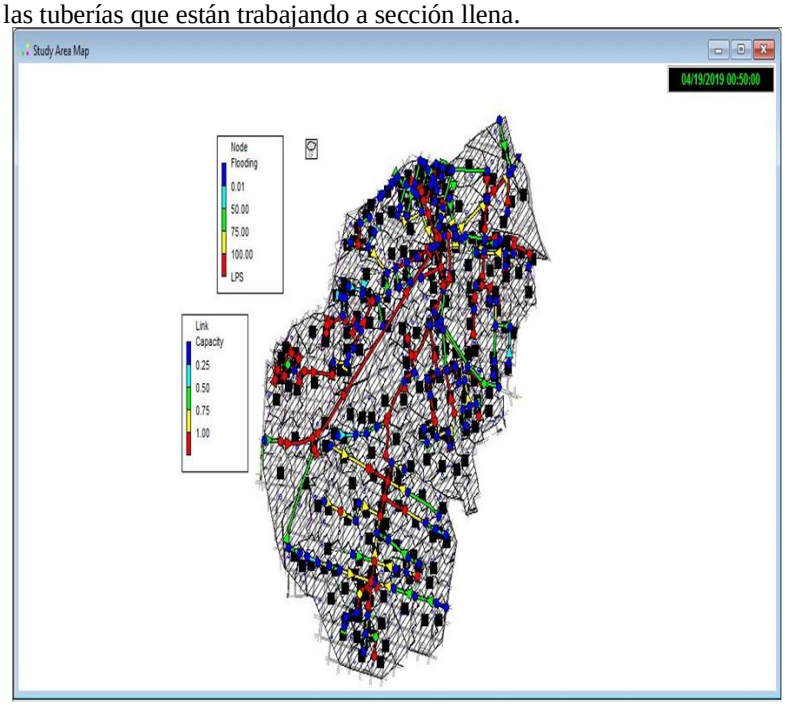


Figura 3. Comportamiento de la red para t=50 minutos, variante 1

Para esta variante la cuenca tiene un total de 50 nodos inundados, 22 corresponden al dren Maboa, 22 corresponden al dren Agua Dulce y 6 corresponden al dren Villa Nueva, con 84 tramos de conductos trabajan a sección llena. En la figura 4 se observan los gastos de inundación en los nodos de interés a partir del modelo matemático SWMM, ocurriendo los máximos valores de inundación a los 50 minutos de haber comenzado la lluvia, correspondiéndose con las áreas de inundación, ocurriendo los mayores gastos ocurren en los nodos N86 y N207.

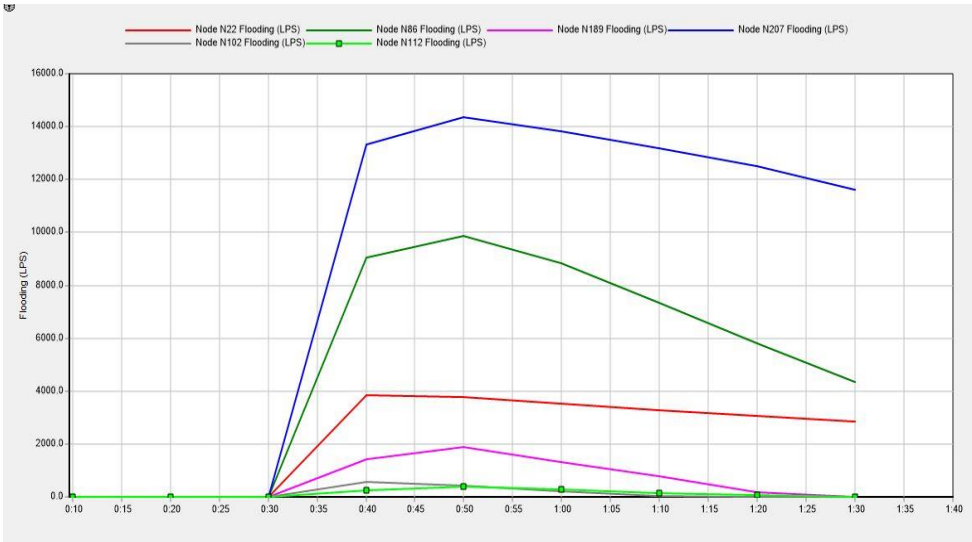



Figura 4. Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112 para la variante 1

A continuación se expone la tabla 3 con el tiempo de inundación y el gasto en cada nodo de interés.

Tabla 3. Tiempo de inundación de los nodos representativos, variante 1

| | **Nodos** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tiempo (minutos)** | **N22 (lps)** | **N86 (lps)** | **N189 (lps)** | **N207 (lps)** | **N102 (lps)** | **N112 (lps)** |
| 0:10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:40 | 3844,20 | 9052,54 | 1440,56 | 13317,24 | 563,07 | 232,27 |
| 0:50 | 3774,47 | 9880,41 | 1873,46 | 14366,98 | 415,86 | 386,21 |
| 1:00 | 3524,13 | 8822,88 | 1326,16 | 13819,02 | 222,15 | 268,71 |
| 1:10 | 3273,31 | 7351,06 | 785,31 | 13197,45 | 45,12 | 152,51 |
| 1:20 | 3051,44 | 5800,68 | 184,98 | 12506,19 | 0,00 | 55,16 |
| 1:30 | 2864,44 | 4349,97 | 0,00 | 11629,53 | 0,00 | 0,00 |

Como se puede observar la inundación en los nodos comienza a los 40 minutos de haber iniciado la lluvia siendo el tiempo más crítico a los 50 minutos, con una inundación en los nodos N22, N86 y N207 hasta el final de la lluvia.

**Simulación de la variante 2**

En este caso la máxima intensidad de lluvia se produce a los 50 minutos de haber comenzado, ubicada en el medio del hietograma. Los máximos valores de gasto de inundación en los nodos, se producen para esta variante a los 60 minutos de haber comenzado el aguacero, observándose en la figura 5 el comportamiento de la red para ese instante de tiempo. En color azul se resaltan los nodos donde no ocurre inundación y las líneas rojas gruesas señalan las tuberías que están trabajando a sección llena.

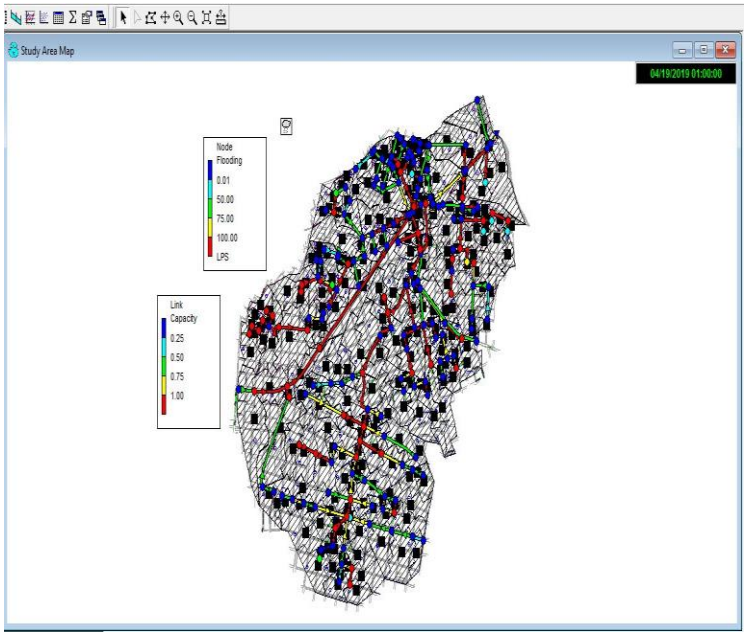



Figura 5: Comportamiento de la red para t=60 minutos, variante 2

Para esta variante la cuenca tiene un total de 61 nodos inundados, 24 corresponden al dren Maboa, 26 corresponden al dren Agua Dulce y 11 corresponden al dren Villa Nueva, con 96 tramos de conductos trabajan a sección llena.
En la figura 6 se muestran los gastos de inundación en los nodos de interés, evidenciando los máximos valores de inundación a los 60 minutos de haber iniciado la lluvia, alcanzando los máximos valores de gasto en los nodos N86 y N207, incrementando su valor respecto a la variante 1.

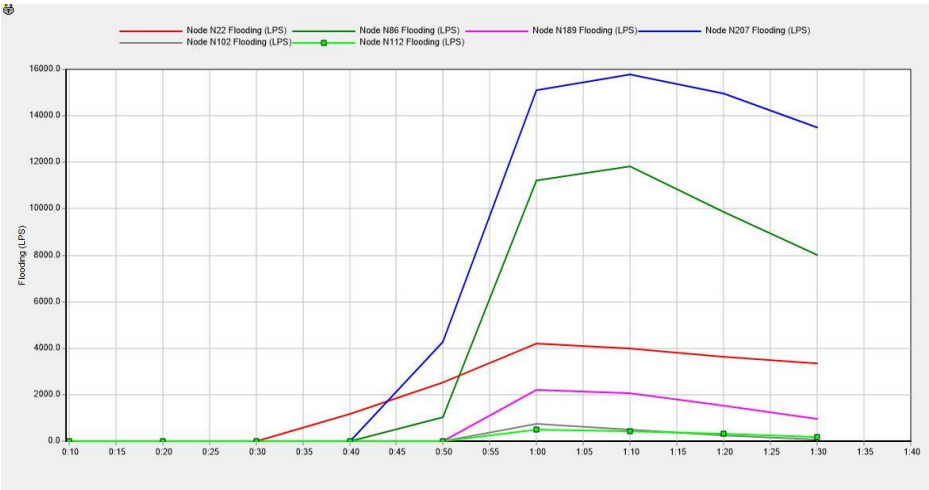


Figura 6: Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112, variante 2

A continuación se expone la tabla 4 con el tiempo de inundación de cada nodo de interés.
Tabla 4: Tiempo de inundación de los nodos representativos, variante 2

| | **Nodos** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tiempo (minutos)** | **N22 (lps)** | **N86 (lps)** | **N189 (lps)** | **N207 (lps)** | **N102 (lps)** | **N112 (lps)** |
| 0:10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:40 | 1188,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:50 | 254345 | 1037,47 | 0,00 | 4271,89 | 0,00 | 0,00 |
| 1:00 | 4210,87 | 11215,55 | 2203,71 | 15098,87 | 750,62 | 495,27 |
| 1:10 | 3994,06 | 11819,84 | 2060,36 | 15770,55 | 494,57 | 428,15 |
| 1:20 | 3648,16 | 9886,87 | 1548,72 | 14979,39 | 261,78 | 312,25 |
| 1:30 | 3343,84 | 8026,36 | 956,74 | 13517,61 | 72,91 | 175,52 |

De los resultados presentados para la variante 2 resulta que el nodo más crítico es el N207 ya que es el que posee mayor gasto de inundación en la red y un tiempo de inundación de 50 minutos, igual que los nodos N189, N102, N112 presentan el mismo valor de tiempo, a diferencia que el nodo N22 que tiene un tiempo de inundación de 60 minutos y N86 de 50 minutos.

**Simulación de la variante 3**

Para esta variante la máxima intensidad de lluvia se ubica a los 2/3 de haber iniciado el aguacero para un tiempo de 60 minutos. La simulación para esta variante arrojó resultados similares a las variantes anteriores, siendo el momento más crítico de la red a los 70 minutos después de haber iniciado el aguacero, tiempo en el que se producen los valores de gasto de inundación en los nodos más considerables. La tendencia es al aumento de los caudales y la reducción del tiempo de inundación, lo cual es de esperar debido al desplazamiento de la lluvia donde su máxima intensidad está ubicada 2/3 al inicio de la lluvia, la figura 7 describe el comportamiento de la red para dicho intervalo de tiempo, en esta se muestra el comportamiento de la capacidad de los conductos y la inundación en cada nodo de la cuenca. En color azul se resaltan los nodos donde no ocurre inundación y en color rojo los que sí están inundados, las líneas rojas gruesas señalan las tuberías que están trabajando a sección llena.

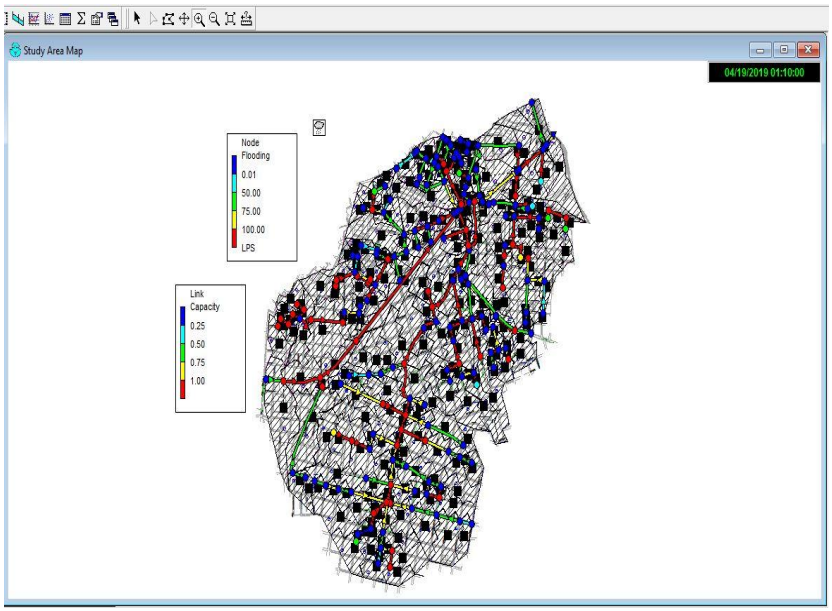


Figura 7: Comportamiento de la red para t=70 minutos, variante 3

La variante 3 tiene un total de 61 nodos inundados, 24 corresponden al dren Maboa, 26 corresponden al dren Agua Dulce, 11 corresponden al dren Villa Nueva, 84 tramos de conductos trabajan a sección llena. La fig.8 describe el gasto de inundación en función del tiempo en los nodos de interés.

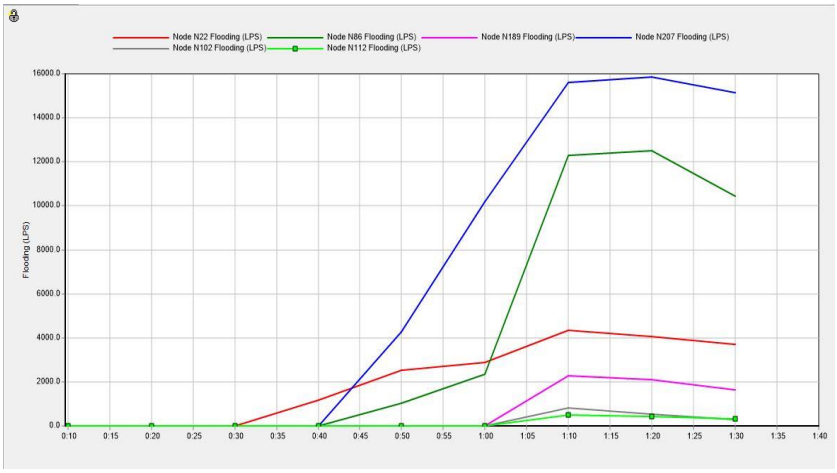



Figura 8: Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112, variante 3

La tabla 5 muestra el tiempo de inundación en cada nodo de interés.

Tabla 5: Tiempo de inundación, variante 3

| | **Nodos** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tiempo (minutos)** | **N22 (lps)** | **N86 (lps)** | **N189 (lps)** | **N207 (lps)** | **N102 (lps)** | **N112 (lps)** |
| 0:10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:40 | 1188,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:50 | 2543,45 | 1037,47 | 0,00 | 4271,89 | 0,00 | 0,00 |
| 1:00 | 2878,37 | 2347,36 | 0,00 | 10178,07 | 0,00 | 0,00 |
| 1:10 | 4358,26 | 12291,00 | 2296,40 | 15618,37 | 805,33 | 510,92 |
| 1:20 | 4074,02 | 12508,44 | 2092,38 | 15867,46 | 521,31 | 435,56 |
| 1:30 | 3693,43 | 10436,85 | 1628,19 | 15141,18 | 277,16 | 329,32 |

Para esta variante los nodos N189, N102, N112 tienen un tiempo de inundación de 30 minutos, N86 y N207 de 50 minutos y N22 de 60 minutos.

**Propuesta de soluciones para la variante 1**

Las propuestas de soluciones en esta variante se basan principalmente en la colocación de depósitos de almacenamiento y aumento de capacidad en los conductos, por lo que, inicialmente en el dren Maboa se planteó la colocación de un depósito de almacenamiento en el área del patio de la escuela primaria Alfredo Miguel Aguajo, localizada en calle Figueroa y Estrada Palma, situada paralela al dren de la calle

Figueroa, este toma dimensiones de 85,0 m x 35,0 m, y una profundidad 3,50 m, el embalse sería capaz de almacenar 10 412 $m^3$. Una vez simulada la red en el software SWMM el depósito no es capaz de captar el volumen de agua proveniente aguas arriba, es decir, no soluciona la inundación aguas abajo, por tanto, no cumple con el objetivo para ser colocado y se toma la decisión luego de un análisis de factibilidad, aumentar la capacidad de almacenamiento de los conductos.
La tabla 6 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.
Tabla 6: Conductos colocados, variante 1

| **Conductos** | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo** | **Dimensión** | **Cantidad de tramos** | **Longitud (m)** |
| Circulares(m) | 1 | 1 | 100,35 |
| | 1,2 | 32 | 3512 |
| Tipo Cajón(m) | 1,52 x 2,2 | 3 | 516,81 |
| | 2 x 2,2 | 2 | 236,15 |
| | 1,7 x 2,2 | 1 | 121,85 |
| | 1 x 2 | 8 | 1020,68 |
| | 2 x 2,75 | 4 | 275,7 |
| | 3 x 3 | 15 | 1180,09 |
| | 2,5 x 4 | 7 | 950,91 |
| | 4 x 5 | 8 | 871,83 |
| | 2 x 2 | 4 | 804,05 |
| | 2 x 3 | 1 | 1294,45 |
| | 1 x 1 | 1 | 334,51 |
| | 4 x 4 | 1 | 93,51 |
| | 2,5 x 2,75 | 2 | 236 |
| | 1,97 x 2,75 | 2 | 92 |

La colocación de estos tramos de conductos se comporta de forma similar en toda la red, ya que una de las premisas cuando se realiza el diseño del sistema de tuberías de drenaje pluvial, es que la capacidad de la red aguas abajo vaya aumentando su volumen de almacenamiento a medida que se van incrementado las áreas de aporte, dicho esto, se colocaron 92 tramos de conductos, de los cuales 69 son tramos de conductos en paralelos y 23 son nuevos tramos que se incorporan a la red, con un total de 11,64 kilómetros de longitud. También se colocaron 3 depósitos de almacenamiento en áreas de dren Agua Dulce, que tienen como objetivo el almacenamiento de volúmenes de agua que sean considerables para la red, lo cual influye positivamente aguas debajo de su colocación.

**Propuesta de soluciones para la variante 2**

Al estar la máxima intensidad de esta variante ubicada en el centro de la duración de la lluvia, la red trabaja para condiciones más desfavorables, y aunque se mantienen las mismas áreas de inundación, el gasto de inundación de los nodos aumenta, dicho esto, se tuvo en cuenta las soluciones propuestas en el escenario anterior para evaluar si era factible resolver las problemáticas con las mismas soluciones, resultando que la capacidad de almacenamiento de la red era menor que el gasto a evacuar, por lo que se decidió aumentar la capacidad de almacenamiento incrementando las dimensiones de los conductos, colocando conductos en paralelo y manteniendo igual que en la variante 1 los depósitos de almacenamiento. La tabla 7 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.

Tabla 7: Conductos colocados, variante 2

| **Conductos** | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo** | **Dimensión** | **Cantidad de tramos** | **Longitud (m)** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Circulares(m) | 0,8778 | 1 | 100,35 |
| | 1,0458 | 33 | 3687 |
| Tipo Cajón(m) | 1,52 x 2,2 | 3 | 516,81 |
| | 2 x 2,2 | 2 | 236,15 |
| | 1,7 x 2,2 | 1 | 121,85 |
| | 1 x 2 | 8 | 1020,68 |
| | 2 x 2,75 | 4 | 289,7 |
| | 3 x 3 | 15 | 1026,32 |
| | 2,5 x 4 | 7 | 558,83 |
| | 4 x 5 | 8 | 965,34 |
| | 2 x 2 | 4 | 821,75 |
| | 2 x 3 | 1 | 1294,45 |
| | 1 x 1 | 1 | 334,51 |
| | 4 x 4 | 1 | 93,51 |
| | 2,5 x 2,75 | 2 | 236 |
| | 1,97 x 2,75 | 2 | 92 |

Se colocó un total de 93 tramos de conductos, divido en 23 tramos nuevos colocados y 70 tramos en paralelo, con una longitud de 11,4 kilómetros, se aumentó la capacidad de almacenamiento de la red redimensionando algunos conductos incrementando sus dimensiones con respecto al escenario anterior.

**Propuesta de soluciones para la variante 3**

Las soluciones propuestas para esta variante se basan en el mismo principio que las anteriores, aunque en este caso el pico del aguacero está a 2/3 de haber iniciado la lluvia y esta es la variante más desfavorable, se logró darle solución a esta problemática aumentando la capacidad de los conductos y colocando depósitos de almacenamiento. Teniendo como precedente las variantes de solución antes planteadas, se realizó en algunos conductos el redimensionamiento para remediar los problemas de inundación en zonas puntuales. La tabla 8 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.

Tabla 8: Conductos colocados, variante 3

| **Conductos** | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo** | **Dimensión** | **Cantidad de tramos** | **Longitud (m)** |
| Circulares(m) | 1 | 1 | 100,35 |
| | 1,2 | 35 | 3626 |
| Tipo Cajón(m) | 1,52 x 2,2 | 3 | 516,81 |
| | 2 x 2,2 | 2 | 236,15 |
| | 1,7 x 2,2 | 1 | 121,85 |
| | 1 x 2 | 8 | 1020,68 |
| | 2 x 2,75 | 5 | 289,7 |
| | 3 x 3 | 29 | 2707,86 |
| | 2,5 x 4 | 8 | 763,51 |
| | 4 x 5 | 2 | 91,32 |
| | 2 x 2 | 3 | 742,68 |
| | 2 x 3 | 2 | 1472,75 |
| | 1 x 1 | 1 | 334,51 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 4 x 5 | 2 | 91,32 |
| | 2,5 x 2,75 | 2 | 236 |
| | 1,97 x 2,75 | 2 | 92 |

Se colocó un total de 106 tramos, con 23 ramales nuevos en el sistema y 83 en paralelo, con una longitud total de 12,44 kilómetros, se aumentó la capacidad de almacenamiento de la red redimensionando algunos conductos, incrementando sus dimensiones con respecto a los escenarios anteriores.

**Conclusiones**

1. Para todas las variantes, se produce inundación en nodos y flujo a sección llena en los conductos. Con el desplazamiento de la máxima intensidad de la lluvia se produce un incremento en los gastos de inundación, presentándose las condiciones más desfavorables para la variante 3.
2. La situación presente en la red se produce principalmente a problemas en el diseño de algunos elementos del sistema, situación que se ve agravada por el mal estado de la red y la falta de mantenimiento.
3. Se propusieron diferentes soluciones ingenieras que resuelven los problemas de inundación y flujo a sección llena de la red de drenaje pluvial de la cuenca.

**Referencias**

1. de Horta Brito, P. R. (2018). Simulación numérica de las redes de alcantarillado y drenaje pluvial de la CUJAE. Soluciones propuestas. [Maestría]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
2. Vázquez Valdés, G. (2022). Estudio experimental de inundaciones múltiples con énfasis en el drenaje dual urbano en zonas costeras aplicando el modelo SWMM v.5.0 [Trabajo de Diploma]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
3. Rocha de Almeida, B. V. (2024). Simulación numérica del drenaje dual ante la ocurrencia de intensas lluvias. Caso de estudio Malecón de La Habana. [Trabajo de Diploma]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
4. Gámez Valle, J. A. (2023). Simulación del drenaje dual urbano aplicando el modelo Iber-SWMM. Caso de estudio Malecón-Vedado de La Habana. [Trabajo de Diploma]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
5. Pino Plans, L. M. (2019). Simulación numérica de la red de drenaje pluvial de la cuenca Gancedo. [Trabajo de Diploma]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
6. Sañudo, E., Cea, L., & Puertas, J. (2020). Modelling pluvial flooding in urban areas coupling the models Iber and SWMM. Water, 12(9), 2647.
7. Mérida Rodríguez, N. M. (2023). Simulación del Drenaje Dual Urbano aplicando el modelo IBER-SWMM. Caso de estudio Malecón Tradicional de la Habana [Trabajo de Diploma]. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría CUJAE.
8. González at el, (2007). Hidrología Superficial para Ingenieros.
9. García Mendoza, J. V. (2020). Determinación del Hietograma de Tormenta Sintético para la Microcuenca «EL ZAPALLO» en la zona Periurbana de la ciudad de Portoviejo [Trabajo de Diploma]. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE MANABÍ.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DEL REBASE EN LA ZONA DEL MALECÓN DE LA HABANA APLICANDO EL MODELO NUMÉRICO IH-2VOF

**Ing. Kevin Cruz Batista [1], Dr. Ing. Luis F. Córdova López[2],**

[1]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, email: cruzbatistakevin@gmail.com, [2]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, e-mail: cordovalopez1962@gmail.com

**RESUMEN**

La modelación numérica es una herramienta que permite en la actualidad simular el comportamiento de la interacción del oleaje con estructuras de defensa de costa durante eventos extremos, el rebase del oleaje es una de esas respuestas hidráulicas de la interacción oleaje – estructura, necesaria para la obtención de una solución eficiente y eficaz. Esta investigación está dirigida a la simulación numérica aplicando un modelo numérico de tipo CDF, en este caso se utiliza el modelo IH-2VOF para determinar el comportamiento del rebase promedio del oleaje para diferentes alternativas de protección costera ante eventos extremos en el Malecón de La Habana. Se modelaron las condiciones de tormenta del huracán Wilma (2005) y se compararon los resultados con la estimación del rebase obtenida de una modelación física previa realizada en Italia en 2013 con el objetivo de calibrar y validar el modelo. Se estableció el modelo y se simularon las condiciones de tormenta en un perfil representativo del malecón. Se obtuvieron medidas específicas y promedio de rebase, destacando la capacidad del modelo IH-2VOF para reproducir la hidrodinámica costera y proporcionar información valiosa sobre el rebase en estructuras costeras.

**PALABRAS CLAVES:** modelación numérica, rebase promedio, hidrodinámica costera.

**STUDY OF THE OVERFLOW IN THE MALECON AREA OF HAVANA APPLYING THE IH-2VOF NUMERICAL MODEL**

**ABSTRACT**

Accurate numerical modeling of wave behavior during extreme events on coastal shorelines is essential to understand and mitigate the effects of overtopping on coastal structures. This research focused on simulating; using the IH-2VOF model, wave behavior during extreme events on the Havana Seawall to determine the average overtopping on the structure. The storm conditions of Hurricane Wilma (2005) were modeled and the results were compared with the estimate of overtopping obtained from a previous physical modeling performed in Italy in 2013. Using a representative database of the study area, the model was established and storm conditions were simulated on a representative profile of the seawall. Specific and average overtopping measurements were obtained, highlighting the ability of the IH-2VOF model to reproduce coastal hydrodynamics and provide valuable information on overtopping on coastal structures.

**KEY WORDS:** numerical modeling, average wave overtopping, coastal hydrodynamics, IH2VOF

## 1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras, la interfaz entre la tierra y el mar, son ecosistemas vitales que brindan numerosos beneficios tanto para los humanos como para la naturaleza. Proporcionan alimentos, regulan el clima, protegen contra eventos meteorológicos extremos, y son fuentes de turismo, transporte y energía renovable, generando empleo e ingresos. Sin embargo, las zonas costeras también enfrentan amenazas debido al desarrollo humano, la contaminación y el cambio climático que incrementa los riesgos por inundaciones. Por ello, es crucial estudiar el fenómeno de rebase, que afecta significativamente a estas áreas. Cuba, debido a su posición geográfica, está amenazada por eventos meteorológicos extremos, con las penetraciones del mar como un ejemplo frecuente. Este fenómeno constituye un problema de carácter nacional y de gran importancia, ya que puede causar grandes pérdidas económicas, materiales y humanas. En respuesta, la comunidad científica, especialmente las instituciones como el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, trabaja en este tema. En este

contexto, los modelos numéricos juegan un papel cada vez más importante en la predicción y estudio del rebase en estructuras costeras, siendo capaces de procesar información de numerosas variables meteorológicas y ofrecer pronósticos de gran precisión según las necesidades de los usuarios [1].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Características principales del área de estudio

El malecón se decidió subdividir en 6 tramos, atendiendo a varios criterios entre ellos altura del muro, posición frente al oleaje y en el caso de los tramos 1 y 6 desembocadura del río Almendares y entrada de La Bahía de La Habana; el área de estudio denominada "Malecón Tradicional" (ver Figura 1) corresponde a los tramos 4 y 5, limita por el oeste con la calle Aramburo y por el este con la Avenida del Prado en el municipio Centro Habana [2].




Figura 1 Malecón tradicional, zona de estudio. [2]

### Características del régimen de oleaje y nivel del mar en la zona de estudio.

### Niveles del Mar y Oleaje

En la Figura 2 se presentan los gráficos que relacionan la sobreelevación del mar y la altura de ola significativa ($H_s$), con el periodo de retorno, destacar que en esta información se tiene en cuenta la surgencia y la marea astronómica. De acuerdo con la información suministrada por la Agencia de Medio Ambiente de Cuba, a partir de los resultados del macroproyecto nacional para enfrentar el cambio climático se estima que la sobreelevación del mar para los años 2050 y 2100 sean +0.29 m y 0.95m respectivamente [3].

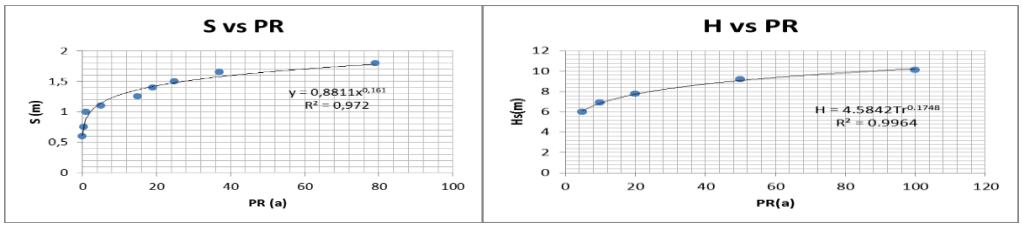



Figura 2 Sobreelevación del mar (m) y altura de ola significativa (m) en aguas profundas vs periodo de retorno en años. Fuente: INSMET. Cuba.

### Materiales empleados para desarrollar la investigación.

Los materiales que se emplearon para desarrollar la presente investigación fueron extraídos de estudios realizados por el Grupo de Ingeniería Costera y Marítima del Centro de Investigaciones Hidráulicas, CIH, CUJAE el cual ha hecho una ardua labor por muchos años en presentar soluciones al grave problema de las inundaciones en el malecón habanero.

**Perfil seleccionado para la modelación física y la modelación numérica.**

Se escogieron 6 perfiles representativos con el estudio de estos mismo se llega a un perfil híbrido que de cierto modo los recoge a todos los perfiles seleccionados en cuanto a la profundidad, creando las condiciones más desfavorables en cuanto a oleaje se refiere. Finalmente se reduce dicho perfil a una longitud de aproximadamente 500 m y una profundidad de 18 m, en una escala 1:30 el cual fue el que se estudió en la modelación física la cual se explicará a continuación. Este perfil (ver Figura 3) es el que se utilizó de igual manera en toda la modelación numérica [4].

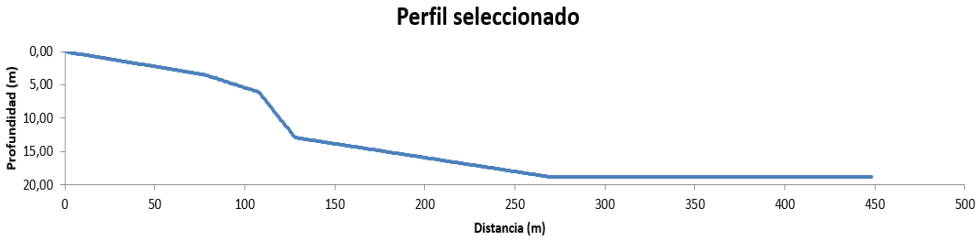



Figura 3 Perfil seleccionado para la modelación numérica.

**Modelación física aplicadas al caso de estudio para la calibración y validación del modelo numérico.**

Los estudios de modelación física fueron desarrollados en la Universidad "Federico II" de Nápoles dirigidos por el Dr. Ing. Mariano Buccino y su equipo de trabajo a partir de una Tarea Técnica desarrollada por el Dr. Luis Córdova, y coordinada por ambas partes.
Se seleccionaron dos escenarios para estudiar. En primer lugar, el escenario correspondiente a las condiciones del Huracán Wilma (2005), +2.28 m. La segunda condición se toma a partir del nivel del mar correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, a partir del grafico presentado anteriormente.
El modelo físico fue calibrado y validado para diferentes casos de estudios los cuales son [5].

- Muro vertical (situación actual)
- Muro de simple curvatura
- Muro vertical – berma
- Muro curvo – berma
- Muro vertical - rompeolas emergido
- Muro curvo - rompeolas emergido

**Descripción del modelo numérico IH-2VOF.**

El modelo IH2VOF, en particular, resuelve las ecuaciones VARANS (Volume-Averaged/Reynolds-Averaged Navier-Stokes), versión promediada en el volumen de las RANS para la resolución de los medios porosos, como las corazas y filtros de obras de defensas costeras.
El modelo cuenta con un sistema de generación basado en una condición de borde de tipo Dirichlet en la que se prescriben las velocidades y la superficie libre, a partir de una serie de oleaje. Además, cuenta con una condición de frontera móvil que permite simular el movimiento de una pala generadora del oleaje y el ascenso/descenso del oleaje en una playa. Ambos sistemas de generación cuentan con un sistema de absorción activa que absorbe el oleaje reflejado dentro del dominio sin la necesidad de usar esponjas o zonas de fricción que conllevarían un mayor dominio espacial y costo computacional.
Para replicar cuerpos sólidos inmersos en la malla, en lugar de tratarlos como formas de sierra(sawtooth-shape), el modelo utiliza un método de celda de corte. El propósito principal de esta técnica es utilizar una malla estructurada ortogonal en las simulaciones para ahorrar costos computacionales. Este enfoque define la función de apertura θ para definir la fracción del volumen de espacio libre en la celda [6].

**3. Calibración y validación del modelo. Simulación y determinación del rebase del oleaje en el malecón de La Habana**.

En este apartado se presenta la validación y calibración del modelo, así como el diseño del experimento numérico, la simulación y determinación del rebase del oleaje sobre diferentes tipologías de obras de defensa costera.

**Diseño del experimento numérico.**

A continuación, se presenta el diseño numérico para llevar a cabo una correcta calibración y validación del modelo. El cual consta de tres fases las cuales están conformadas por dos etapas. Ver Tabla 1.

Tabla 1 Descripción del experimento numérico.

| **Fases del Experimento** | **Etapas** | **Descripción** |
|---|---|---|
| Calibración y validación para muros de defensa de costa. | Calibración | Se calibra la generación del oleaje. |
| | Validación | Se valida el modelo para las variantes de muros. |
| Calibración y validación para muros de defensa de costa más berma tipo1. | Calibración | Se calibran los parámetros de fricción lineal y no lineal |
| | Validación | Se valida el modelo para esta tipología de defensa costera |
| Calibración y validación para muros de defensa de costa con presencia de rompeolas. | Calibración | Se calibra la porosidad de una sección del rompeolas |
| | Validación | Se valida el modelo para esta tipología de defensa costera |

**Descripción de la malla de cómputo.**

En CFD (modelos basados en dinámica de fluidos computacionales) y en especial el modelo IH-2VOF, una de las aproximaciones más básicas radica en el tipo de celdas utilizadas para la simulación. Una vez tomada la decisión de la malla, afecta no solo los tipos, número, orientación y ubicación de los elementos de la cuadrícula, sino también la estabilidad, convergencia y precisión de la simulación [7].

Para ello se crea una malla de longitud de 551,1 m y un ancho de 46,8 m para así reproducir las condiciones reales del experimento físico, la relación de aspecto ($\Delta x/\Delta y$), es decir, la relación entre la longitud y la altura de la celda es una medida del estiramiento de la celda. Para flujos altamente anisotrópicos, relaciones de aspecto extremas pueden producir resultados precisos con menos celdas. Sin embargo, una regla general es evitar relaciones de aspecto mayores a 3. Para este caso se estableció una relación $\Delta x/\ \Delta y=1,5$; calculando el $\Delta y$ para la menor altura significativa de ola que sería en este caso 2,7m dividiéndose entre 10 para así garantizar olas en todas las celdas lo que resultaría una resolución de $\Delta y=0,25$ y $\Delta x=0,375$. Se divide la malla en tres subzonas tanto en "x" como en "y", (Ver Tabla 2 ) se puede observar una parte de la malla generada para las dos variantes del muro vertical destacando la subzona 2, siendo esta la más importante debido a que es en ella donde ocurre la interacción del oleaje con la estructura y el rebase sobre la misma. Ver Figura 4. Este mismo criterio se adoptó para las restantes variantes, atendiendo a las condiciones específicas de cada cual.

Tabla 2 Malla de cómputo para el muro vertical.

| **Malla muro vertical** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | dirección en x | | | dirección en y | | |
| | subzona1 | subzona2 | subzona3 | subzona1 | subzona2 | subzona3 |
| Centro | 405 | 405,75 | 415,75 | 20.000 | 20.500 | 35.500 |
| División | 0 | 405,375 | 415,375 | 0 | 20.250 | 35.250 |
| Número de celdas a la izquierda | 188 | 1 | 1 | 41 | 1 | 1 |
| Número de celdas a la derecha | 1 | 26 | 100 | 1 | 62 | 28 |
| Separación máxima del centro | 0,375 | 0,375 | 0,375 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |

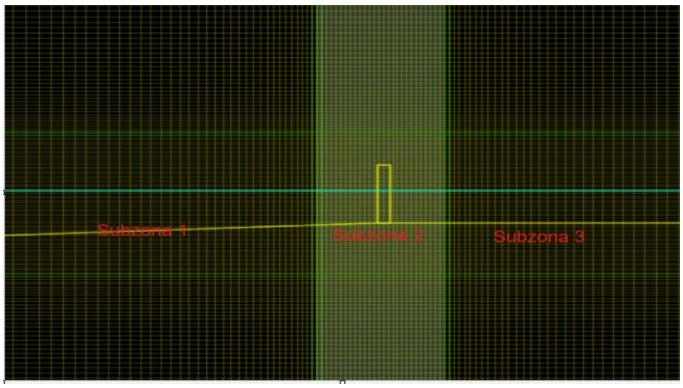



Figura 4 Malla de cómputo utilizada para el muro vertical.

**Análisis y discusión de resultados del proceso de validación-calibración.**
En la investigación se calibra el modelo para tres parámetros significativos los cuales son: generación del oleaje, los coeficientes de fricción lineal y no lineal en los medios porosos y la porosidad de dichos medios. A continuación, se muestran los resultados del proceso de calibración, alcanzando resultados más precisos, en términos de error absoluto, para la generación el oleaje de segundo orden (Ver Figura 5), coeficientes de fricción lineal (α) y fricción no lineal (β) con valores de 230 y 0,9 respectivamente(Ver Tabla 3 ) y la porosidad, en el caso de una abertura llevada a cabo en el rompeolas con el objetivo de simular las condiciones del canal de oleaje mas reales a la modelación física, obteniéndose un valor de 0.85(Ver Figura 6 ).

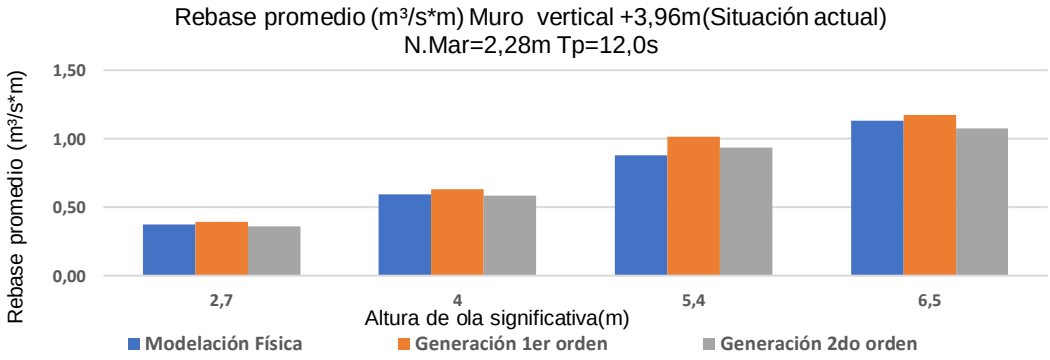



Figura 5 Resultados obtenidos de rebase en el proceso de calibración (Muro Vertical +3,96m).

Tabla 3 Resultados de calibración para el Muro Vertical +3,96 y Berma 1.

| Parámetro fijo | Parámetro variable | Pruebas | Hs (m) | Tp (s) | N. mar (m) | Modelo físico q (m3/m. s) Cota +3,96 m +Berma 1 | IH-2VOF resultados de rebase q (m³/s*m) | Error Absoluto (m³/s*m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| β=0,7 | α=200 | 9-MVBC | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,163 | 0,1529 | 0,0101 |
| | α=215 | 10-MVBC | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,163 | 0,151 | 0,012 |
| | α=230 | 11-MVBC | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,163 | 0,155 | 0,008 |
| | Se fija el α con mejores resultados. | | | | | | | |
| α=230 | β=0,8 | 12-MVBC | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,163 | 0,1917 | 0,0287 |
| | β=0,9 | 13-MVBC | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,163 | 0,1573 | 0,0057 |

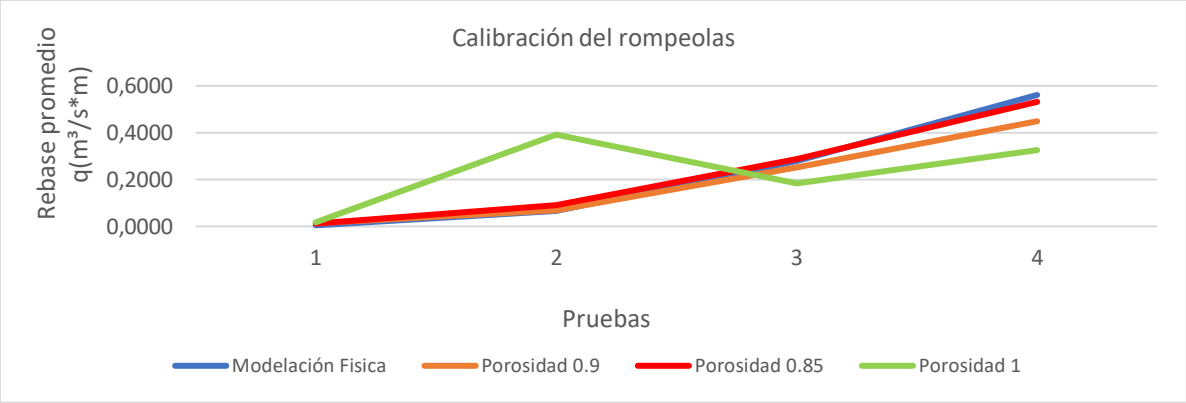



Figura 6 Análisis de calibración del rompeolas.

**Validación**

En la fase1 se valida para la situación actual (muro vertical +3.96m) y muro curvo 4.46m obteniendose un error absoluto, con respecto a la modelación física, con valores en un intervalo de 50 y 70 (L/s*m) respectivamente que se considera aceptable debido a que es un orden de magnitud menor al menor rebase medido y calculado. En la fase 2 se llevaron a cabo las simulaciones para los casos que están conformados por la Berma tipo 1 para el muro vertical +3,96 m y muro curvo 4,46 m. obteniéndose errores absolutos promedios que están entre 0,07 (m³/s*m) y 0,08 (m³/s*m) respectivamente. Teniendo el mismo comportamiento de las pruebas anteriores. En la fase 3 los errores absolutos promedios en estas pruebas son los mejores de las tres fases siendo muy exactos (ver Tabla 4 ) con valor en el orden de 0,03 (m³/s*m) por lo que se concluye esta fase con resultados satisfactorios y de esta manera todo el proceso de calibración – valida, estableciendo el modelo IH-2VOF como una herramienta sumamente potente en el cálculo de rebase promedio.

| **Pruebas** | **Hs (m)** | **Tp (s)** | **N. Mar (m)** | **Resultados físicos q(m3/s/m)** | **IH-2VOF** | **Error Absoluto (m³/s*m)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 89-MVRV | 2,7 | 12 | 2,28 | 0,0047 | 0,0121 | 0,0074 |
| 90-MVRV | 4 | 12 | 2,28 | 0,0652 | 0,0896 | 0,0244 |
| 91-MVRV | 5,4 | 12 | 2,28 | 0,2793 | 0,2883 | 0,009 |
| 92-MVRV | 6,5 | 12 | 2,28 | 0,5613 | 0,5319 | 0,0294 |
| 93-MVRV | 2,7 | 10 | 2,28 | 0,0013 | 0,0019 | 0,0006 |
| 94-MVRV | 4 | 10 | 2,28 | 0,0328 | 0,0301 | 0,0027 |
| 95-MVRV | 5,4 | 10 | 2,28 | 0,1439 | 0,1209 | 0,023 |
| 96-MVRV | 6,5 | 10 | 2,28 | 0,3922 | 0,2757 | 0,1165 |
| 97-MVRV | 2,7 | 12 | 1,73 | 0 | 0,0026 | 0,0026 |
| 98-MVRV | 4 | 12 | 1,73 | 0,0268 | 0,0144 | 0,0124 |
| 99-MVRV | 5,4 | 12 | 1,73 | 0,1123 | 0,1015 | 0,0108 |
| 100-MVRV | 6,5 | 12 | 1,73 | 0,3159 | 0,2105 | 0,1054 |
| 101-MVRV | 2,7 | 10 | 1,73 | 0 | 0,0000 | 0 |
| 102-MVRV | 4 | 10 | 1,73 | 0,005 | 0,0034 | 0,0016 |
| 103-MVRV | 5,4 | 10 | 1,73 | 0,0511 | 0,0178 | 0,0333 |
| 104-MVRV | 6,5 | 10 | 1,73 | 0,1788 | 0,0638 | 0,115 |
| | | | Error Absoluto Promedio (m³/s*m) | | | 0,0308 |

Tabla 4 Resultados de rebase q (m³/s*m) para el Muro Curvo +4,46 con presencia de rompeolas.

**Determinación del rebase para las diferentes variantes de defensa de costa para el malecón de La Habana.**

Utilizando el modelo IH-2VOF, de ya demostrada eficiencia, se calcula en este epígrafe el rebase promedio para los diferentes casos de estudio, los cuales se explican a continuación.

**Descripción de las diferentes variantes estudiadas.**

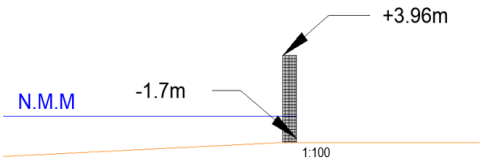



Figura 7 Situación actual

Variante 1

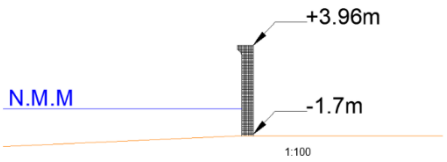



Figura 8 Muro de sección transversal curva a la cota +3,96m

Variante 2

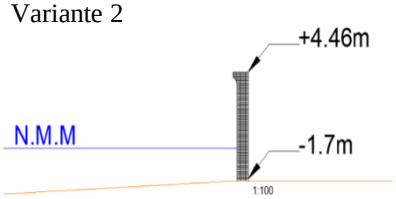



Figura 9 Muro de sección transversal curva a la cota +4,46m

Variante 3

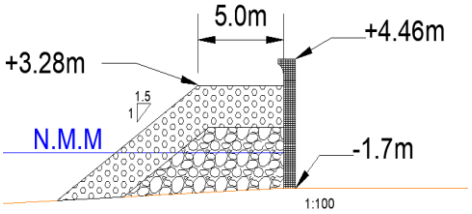



Figura 10 Berma tipo 1 con cota de corona +3,28m y longitud de corona 5,0m más el

Variante 4

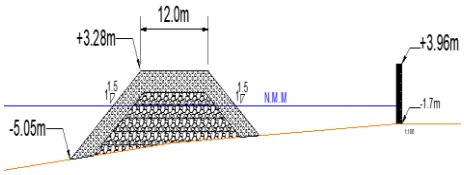



Figura 11 Rompeolas cota de corona +3,28m longitud de la corona 12m con el muro vertical a la

Variante 5

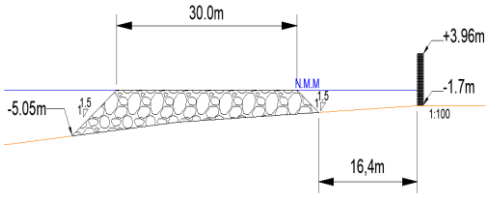



Figura 12 Rompeolas cota de corona N.M.M longitud de corona 30 m con el muro vertical

Variante 6

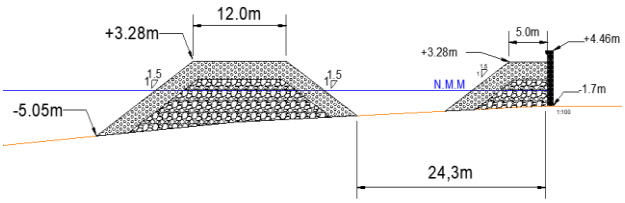



Figura 13 Rompeolas cota de corona +3,28m longitud de la corona 12m más la Berma tipo 1 con el muro curvo a la cota +4,46m. (Solución combinada).

Variante 7

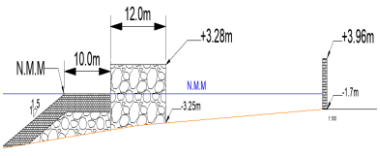



Figura 14 Rompeolas monolítico (con núcleo poroso) de cota de corona +3,28m, longitud de corona de 12m más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m

Variante 8

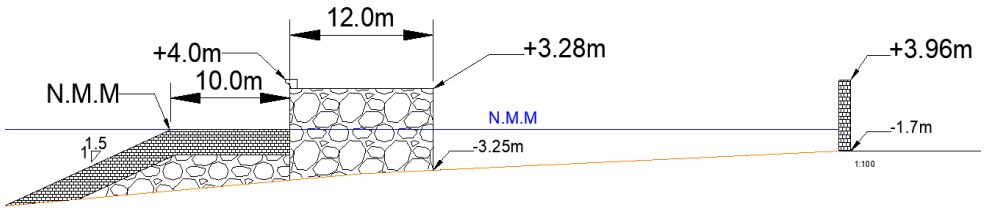



Figura 15 Rompeolas monolítico (con núcleo poroso) de cota de corona +3,28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4,0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical a la cota +3,96m.

Resaltar la variante 8 y señalar que las variantes restantes hasta llegar a la variante 12 solo cambia el núcleo del medio poroso, la presencia o no del muro curvo a la cota +4.0m y la altura del muro del malecón, obteniéndose los mejores resultados para dichas variantes.

**Definición de las condiciones de oleaje y nivel del mar a reproducir en el modelo.**

En este apartado se presentan las condiciones (condiciones de diseño) con las que se analizarán todas las alternativas de estudiadas las alturas de olas significativas se muestran en la
Tabla 5. En el caso de la surgencia, como la condición de diseño es 50 años de periodo de retorno se analiza las combinaciones para el mismo. El periodo pico es 12 s para todas las pruebas realizadas. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 5 Alturas de olas significativas a estudiar.

| **Periodo de Retorno (años)** | **Hm0 (m) a profundidad de 20 m** | **Hmo (m) en aguas profundas** |
|---|---|---|
| 5 | 4 | 6 |
| 50 | 5,77 | 9,2 |

Tabla 6 Surgencia a estudiar

| **Periodo de retorno (años)** | **S(m)** |
|---|---|
| 50 | 1,68 |
| 50+año 2050 | 1,97 |
| 50 +año 2100 | 2,63 |

**Resultados del rebase promedio para las diferentes variantes de estudio y las condiciones de diseño.**

Primeramente, se exponen los resultados de la situación actual para con ellos evaluar cada una de las variantes restantes. Es importante saber que el rebase promedio admisible definido en Tarea Técnica para los estudios del malecón de La Habana es de 0.05 ($m^3/s*m$). Como se puede observar en la Tabla 7 los resultados de rebase promedio para las condiciones de estudio son muy elevados entre 0,6 y 3,5 ($m^3/s*m$) respectivamente.

Tabla 7 Rebase promedio situación actual para las condiciones de diseño.

| **Pruebas** | **Hs (m)** | **Tp (s)** | **N. Mar(m)** | **q ($m^3/s*m$) Situación actual** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 12 | 1,68 | 0,4211 |
| 2 | 5,77 | 12 | 1,68 | 0,6368 |
| 3 | 4 | 12 | 1,97 | 0,5662 |
| 4 | 5,77 | 12 | 1,97 | 0,7883 |
| 5 | 4 | 12 | 2,63 | 0,9654 |
| 6 | 5,77 | 12 | 2,63 | 1,4294 |

**Rebase en muros costeros de sección transversal curva**

Se analizan los resultados para las variantes 1 y 2. Como se observa el porciento de reducción de rebase en la Variante 2(muro curvo a la cota +4,46m) es alto con valores en el intervalo de 36% a 80%, con valores de rebase entre 0,085 y 0,8269 q ($m^3/s*m$) respectivamente.

Tabla 8 Rebase en muros costeros.

| Pruebas | Hs (m) | N. Mar(m) | q ($m^3/s*m$) Variante 1 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 2 | % de reducción del rebase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 4 | 1,68 | 0,3029 | 28,07 | 13 | 0,0850 | 79,81 |
| 8 | 5,77 | 1,68 | 0,5594 | 12,15 | 14 | 0,1927 | 69,74 |
| 9 | 4 | 1,97 | 0,4478 | 20,91 | 15 | 0,2682 | 52,63 |
| 10 | 5,77 | 1,97 | 0,7009 | 11,09 | 16 | 0,5021 | 36,31 |
| 11 | 4 | 2,63 | 0,7880 | 18,38 | 17 | 0,5164 | 46,51 |
| 12 | 5,77 | 2,63 | 1,1492 | 19,60 | 18 | 0,8269 | 42,15 |

**Rebase para la variante de muro y Berma tipo 1.**

Se analizan los resultados para la Variante 3. Se destaca que para esta variante la presencia de la Berma tipo 1 genera un incremento en los porcientos de reducción del rebase promedio fundamentalmente para los mayores niveles del mar.

Tabla 9 Rebase en bermas.

| Pruebas | Hs (m) | N. Mar(m) | q ($m^3/s*m$) Variante 3 | % de reducción del rebase |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 4 | 1,68 | 0,1057 | 74,90 |
| 20 | 5,77 | 1,68 | 0,2169 | 65,94 |
| 21 | 4 | 1,97 | 0,1768 | 68,77 |
| 22 | 5,77 | 1,97 | 0,3480 | 55,85 |
| 23 | 4 | 2,63 | 0,4680 | 51,52 |
| 24 | 5,77 | 2,63 | 0,7920 | 44,59 |

**Rebase en rompeolas.**

Se analizan las variantes 4 y 5. Se puede observar en la Tabla 10 como las variantes ya arrojan mejores resultados en lo referente a los rebases promedios. La Variante 4 tiene un caso por debajo del máximo caudal de sobrepaso admisible y la Variante 5 es más efectiva para la condición más favorable para el rebase promedio, no obstante, la Variante 4 presenta los porcientos de reducción mayores con valores que oscilan entre 42% y 92% y rebase promedio de 0,8305 q ($m^3/s*m$) y 0,0341 q ($m^3/s*m$) para estos porcientos de reducción.

Tabla 10 Rebase en rompeolas.

| Pruebas | Hs (m) | N. Mar(m) | q ($m^3/s*m$) Variante 4 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 5 | % de reducción del rebase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 4 | 1,68 | 0,0341 | 91,90 | 31 | 0,1103 | 73,81 |
| 26 | 5,77 | 1,68 | 0,1628 | 74,43 | 32 | 0,2261 | 64,49 |
| 27 | 4 | 1,97 | 0,0689 | 87,83 | 33 | 0,1499 | 73,53 |
| 28 | 5,77 | 1,97 | 0,2895 | 63,28 | 34 | 0,3658 | 53,60 |
| 29 | 4 | 2,63 | 0,3312 | 65,69 | 35 | 0,4072 | 57,82 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 5,77 | 2,63 | 0,8305 | 41,90 | 36 | 0,7329 | 48,73 |

**Rebase en la solución combinada**.

Se analiza la Variante 6. Se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que para esta variante donde se combinan las alternativas anteriores, los resultados siguen mejorando alcanzando dos resultados menores al rebase promedio admisible, y un porciento de reducción de rebase superior al 75% en la mayoría de pruebas.

Tabla 11 Rebase en la solución combinada.

| **Pruebas** | **Hs (m)** | **N. Mar(m)** | **q ($m^3/s*m$) Variante 6** | **% de reducción del rebase** |
|---|---|---|---|---|
| 37 | 4 | 1,68 | 0,0145 | 96,56 |
| 38 | 5,77 | 1,68 | 0,0804 | 87,37 |
| 39 | 4 | 1,97 | 0,0344 | 93,92 |
| 40 | 5,77 | 1,97 | 0,1799 | 77,18 |
| 41 | 4 | 2,63 | 0,2104 | 78,21 |
| 42 | 5,77 | 2,63 | 0,6374 | 55,41 |

**Rebase en soluciones combinadas de berma frontal con rompeolas monolíticos.**

Se hace énfasis en estas variantes, dividiéndose en dos grupos para su mejor comprensión, un grupo 1 que comprende a las variantes 7,8 y 9; y un grupo 2 que contiene a las variantes 10,11 y 12. Se muestras las variantes de la 9 a la 12 para su mejor entendimiento en esta etapa.

- Variante 9: Rompeolas monolítico (como medio poroso) de cota de corona +3.28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4.0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical +3.96m
- Variante 10: Rompeolas monolítico (como medio poroso) de cota de corona +3.28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4.0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical +4.46m.
- Variante 11: Rompeolas monolítico (hormigón) de cota de corona +3.28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4.0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical +4.46m
- Variante 12: Rompeolas monolítico (como medio poroso) de cota de corona +3.28m, longitud de corona de 12m y una losa de 2m de ancho con muro curvo a la cota +4.0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro.

**Análisis del grupo 1.**

En este apartado se quiere conocer cuál variante es la más efectiva de estas tres variando la posición o la ausencia del muro curvo sobre el rompeolas monolítico. Como era de esperar los resultados son muy buenos señalados (en color azul) los mejores resultados de rebase promedio, llegando a la conclusión que la mejor variante es la 8 (Rompeolas monolítico (con núcleo poroso) de cota de corona +3,28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4,0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical a la cota +3,96m.) señalado en color rojo. Ver Tabla 12

Tabla 12 Rebase en soluciones combinadas de rompeolas monolítico y berma frontal.

| Pruebas | Hs (m) | N. Mar(m) | q ($m^3/s*m$) Variante 7 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 8 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 9 | % de reducción del rebase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 4 | 1,68 | 0,0175 | 95,84 | 49 | 0,0136 | 96,77 | 55 | 0,0176 | 95,82 |
| 44 | 5,77 | 1,68 | 0,0630 | 90,11 | 50 | 0,0438 | 93,12 | 56 | 0,0624 | 90,20 |
| 45 | 4 | 1,97 | 0,0351 | 93,80 | 51 | 0,0210 | 96,29 | 57 | 0,0331 | 94,15 |
| 46 | 5,77 | 1,97 | 0,1157 | 85,32 | 52 | 0,0752 | 90,46 | 58 | 0,1109 | 85,93 |
| 47 | 4 | 2,63 | 0,1637 | 83,04 | 53 | 0,1073 | 88,89 | 59 | 0,1529 | 84,16 |
| 48 | 5,77 | 2,63 | 0,4396 | 69,25 | 54 | 0,3310 | 76,84 | 60 | 0,4170 | 70,83 |

**Análisis del grupo 2.**

Teniendo en cuenta el análisis realizado al grupo 1 se decide modificar la variante 8. Las modificaciones son las siguientes.
Modificar la cota del muro del malecón a la cota +4,46 m (Variante 10). Modificar el núcleo del rompeolas a núcleo impermeable. Colocar un espaldón conformado por una losa de 2 m y el muro de simple curvatura sobre el medio poroso.
Se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que los resultados obtenidos para la variante 11 son los mejores obtenidos en este estudio con porcientos de reducción entre 77% y 97% como se puede observar en la Figura 16 y valores de rebase promedio entre 0.0000 ($m^3/s*m$) y 0,1998 ($m^3/s*m$). Se señala que en esta variante el muro del malecón se mantiene con sección vertical elevando su cota a la +4,46m, se considera que se debe estudiar esta variante combinada con el muro de sección transversal curva a la cota +4,46 m. rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10 m con muro vertical +4,46 m.

Tabla 13 Rebase en soluciones combinadas de rompeolas monolítico y berma frontal.

| Pruebas | Hs (m) | N. Mar(m) | q ($m^3/s*m$) Variante 10 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 11 | % de reducción del rebase | Pruebas | q ($m^3/s*m$) Variante 12 | % de reducción del rebase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 4 | 1,68 | 0,0041 | 95,84 | 49 | 0,0000 | 96,77 | 55 | 0,0052 | 95,82 |
| 44 | 5,8 | 1,68 | 0,0173 | 90,11 | 50 | 0,0140 | 93,12 | 56 | 0,0285 | 90,20 |
| 45 | 4 | 1,97 | 0,0108 | 93,80 | 51 | 0,0037 | 96,29 | 57 | 0,0092 | 94,15 |
| 46 | 5,8 | 1,97 | 0,0375 | 85,32 | 52 | 0,0314 | 90,46 | 58 | 0,0521 | 85,93 |
| 47 | 4 | 2,63 | 0,0485 | 83,04 | 53 | 0,0500 | 88,89 | 59 | 0,0788 | 84,16 |
| 48 | 5,8 | 2,63 | 0,1791 | 69,25 | 54 | 0,1998 | 76,84 | 60 | 0,2349 | 70,83 |

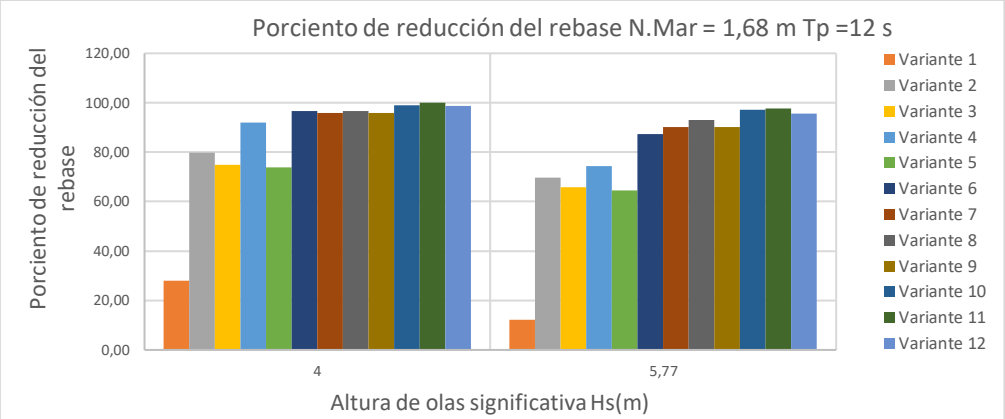



Figura 16 Porciento de reducción del rebase promedio para nivel del mar +1.68m y periodo pico 12s.

**Conclusiones.**

1 Se utilizó el perfil seleccionado en la modelación física, para las pruebas a realizar en la modelación numérica.
2 El IH-2VOF se calibró para las condiciones del caso de estudio, los parámetros significativos para la calibración del modelo son la generación del oleaje obteniéndose como resultado que la generación de segundo orden es la más efectiva, se obtuvieron los valores de los coeficientes de fricción lineal y no lineal con valores de 230 y 0,90 respectivamente
3 Se validó el modelo IH-2VOF comprobando su efectividad a partir de la comparación con los resultados de la modelación física con valores de errores absolutos promedios inferiores a un orden de magnitud de la variable medida.
4 Se seleccionó la variante más efectiva para las condiciones de diseño la cual consiste en rompeolas monolítico (hormigón) de cota de corona +3.28m, longitud de corona de 12m con muro curvo a la cota +4.0m al inicio del rompeolas más berma frontal de cota de corona N.M.M y longitud de corona de 10m con muro vertical +4.46m con rebases inferiores al admisible definido en la Tarea Técnica para el estudio del malecón de La Habana.
5 Se demostró la potencialidad del modelo numérico IH-2VOF en el cálculo de rebase promedio sobre estructuras de defensa costera para el caso de estudio.

**Referencias**

1. Córdova López, L., Buccino, M., Torres Hugues, R., Salerno, D., Pugliese Carratelli, E., Capobianco, A., & Ponce Portela, M. (2016). Análisis de los resultados del estudio mediante modelación física del rebase del oleaje, presiones sobre los muros costeros y estabilidad de los elementos que componen las bermas y rompeolas. Propuesta de Solución. (p. 127) [Final].
2. Córdova López, L. (2017). Evaluación de diferentes alternativas de protección contra inundaciones costeras en el malecón tradicional de La Habana, Cuba [Técnico].
3. Estopiñan, G. Y. (2013). Estudio del campo de oleaje en la bahía de La Habana, [Tesis de Diploma]. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”.
4. Montero, D. A. (2016). Determinación del Rebase del oleaje en el malecón Tradicional Habanero, mediante la aplicación del modelo Matemático SWASH. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Hidráulico)]. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
5. León Arias, D. (2023). Determinación del rebase del oleaje aplicando el modelo XBEACH, no hidrostático. Caso de estudio malecón de La Habana [Tesis en opción al Grado Científico de Máster en Ciencias Técnicas]. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría".

6. Campos-Caba, R., & Winckler, P. (2023). Evaluación de caudal de sobrepaso en una defensa costera mediante un modelo basado en las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds en el volumen (VARANS). 16.
7. Reeve, D. (2000). Wind Generated Ocean Waves; I. R. Young; Elsevier, 1999, 288 pages, ISBN 0-08-043317-0, NLG 270, Engineering Structures - ENG STRUCT, 22, 1225-1226. https://doi.org/10.1016/S0141-0296(99)00068-1

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES COSTERAS EN EL MALECÓN DE LA HABANA PROVOCADAS POR LOS HURACANES WILMA (2005) E IRMA (2017).

**Ing. Bryan Pérez León [1], MSc. Ing. Daniela Córdova de Horta[2], Dr. Ing. Luis F. Córdova López[3]**

[1]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, e-mail: perezleonbryan856@gmail.com, [2]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, e-mail: danielitach96@gmail.com, [3]Centro de Investigaciones Hidráulicas, Marianao, e-mail: cordovalopez1962@gmail.com

**RESUMEN**

El litoral de La Habana se encuentra expuesto a severas inundaciones costeras provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos como los huracanes, esto se debe a la posición geográfica en la que se encuentra la isla de Cuba. Para entender estos fenómenos y evitar los daños que provocan ha sido necesario implementar herramientas numéricas avanzadas. En este trabajo se aplica el Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM) el cual en su módulo central está compuesto por un tren de modelos numéricos acoplados de forma heterogénea y homogénea (Delft3D FLOW+WAVE; XBeach No Hidrostático e Iber). Como resultado de este trabajo se obtuvo para cada huracán seleccionado el comportamiento espacial y temporal de la inundación generada, definiendo las áreas de mayor peligro, así como el comportamiento en el tiempo del calado de inundación en puntos calientes que se encuentran localizados en las zonas de mayor peligro. Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el Malecón de La Habana es una zona altamente vulnerable y que los eventos hidrometeorológicos extremos incrementan los niveles de riesgo de pérdidas de vidas humanas y objetivos económicos-sociales, por lo que esta investigación contribuye a tomar medidas para mitigar los efectos de las inundaciones costeras.

**PALABRAS CLAVE:** inundaciones costeras, modelación numérica, huracanes, Iber.

# STUDY OF COASTAL FLOODING ON THE MALECÓN OF HAVANA CAUSED BY HURRICANES WILMA (2005) AND IRMA (2017).

## ABSTRACT

The coast of Havana is exposed to severe coastal flooding caused by extreme hydrometeorological events such as hurricanes. This is due to the geographical position in which the island of Cuba is located. To understand these phenomena and avoid the damage they cause, it has been necessary to implement advanced numerical tools. In this work, the Coastal and Maritime Engineering System (SICOM) is applied, which in its central module is composed of a train of numerical models coupled in a heterogeneous and homogeneous way (Delft3D FLOW+WAVE; XBeach Non-Hydrostatic and Iber). As a result of this work, the spatial and temporal behavior of the generated flood was obtained for each selected hurricane, defining the areas of greatest danger, as well as the behavior over time of the flood depth in hot spots that are located in the areas of greater danger. The results obtained in this research demonstrate that the Malecón of Havana is a highly vulnerable area and that extreme hydrometeorological events increase the risk levels of loss of human life and economic-social objectives, so this research contributes to taking measures to mitigate the effects of coastal flooding.

**KEY WORDS:** coastal floods, numerical modeling, hurricanes, Iber.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Los huracanes son potentes fenómenos que desencadenan impactos devastadores en las zonas urbanas costeras. Estos vienen acompañados de intensas lluvias y vientos destructivos. Debido a los efectos del

cambio climático en los últimos años ha aumentado la intensidad de estos fenómenos, poniendo en riesgo la seguridad de las comunidades costeras y la integridad de las infraestructuras. Las inundaciones causadas por los ciclones tropicales no solo representan una amenaza inmediata para vidas y bienes, sino que también tiene repercusiones económicas, ambientales y desplazamiento de las poblaciones.
Las inundaciones se pueden clasificar de acuerdo a su origen como:

- Inundaciones pluviales: la precipitación intensa o prolongada puede inducir la escorrentía superficial. La escorrentía se mueve de las áreas terrestres a un arroyo, lo que aumenta la tasa de flujo del arroyo hasta un punto que excede la capacidad del canal y produce un flujo fuera del banco (es decir, flujo sobre el banco) que inunda la llanura aluvial. [1]
- Inundaciones fluviales: se tienen cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. Las inundaciones fluviales más importantes se pueden dar en los ríos con mayores desarrollos urbanos o que lleguen hasta las planicies costeras. La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos se puede atribuir en primera instancia a un excedente de agua. Una avenida es el paso por tramos de un río de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua causado alteraciones a la morfología de los ríos. [2][3]
- Inundaciones costeras: tienen presencia cuando el nivel medio del mar asciende a la marea y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terrenos. Los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y las bajas presiones son los causantes de la marejada ciclónica. Unido con el nivel de la marea se encuentra el oleaje que, en función de sus características y de la batimetría de la playa, se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil de la costa. [4]

Los principales fenómenos peligrosos que acompañan a un huracán y generan inundaciones costeras son:

- Surgencia: es onda de longitud larga, que como promedio puede afectar de 150 a 200 km de costas, durabilidad de algunas horas, alcanza su mayor altura a la derecha de la trayectoria del organismo, en la región de los vientos máximos y es provocada por la tensión de los vientos fuertes y la caída de la presión atmosférica al encontrarse este organismo tropical sobre una región de plataforma insular o continental de poca profundidad, pudiendo alcanzar alturas superiores a los 6 m. [5]
- Marea de tormenta: se define como el nivel del mar que se alcanza ante el efecto de eventos meteorológicos extremos y está constituida por diferentes componentes de nivel del mar: marea astronómica, surgencia de tormenta y sobre elevación por viento (wind setup) y por rotura del oleaje (wave setup). [6]
- Oleaje: se define como los movimientos de la superficie libre del agua con períodos entre $2 - 20$ segundos, denominadas ondas de gravedad, las cuales son generadas por el viento y se propagan desde el área de generación hasta llegar a las costas, donde disipan su energía mediante turbulencia, procesos de rotura e interacción con el fondo. Las grandes alturas de olas y los cortos intervalos en las que estas se replican hacen que este sea uno de los elementos más peligrosos de un huracán. [7]

El aumento de áreas impermeables en las ciudades debido a la urbanización ha incrementado la ocurrencia de inundaciones y sus consecuencias durante eventos de lluvias extremas. Para mitigar los impactos de las inundaciones es fundamental que las ciudades cuenten con una red de drenaje adecuadamente planificada y diseñada. Los sistemas de drenaje urbano están compuestos por dos subsistemas claramente diferenciados: la red de alcantarillado (menor) y la red de superficie (mayor). [8]
El objetivo de este trabajo es simular el comportamiento de las inundaciones debido al rebase del oleaje de tormenta en la zona del Malecón de La Habana provocadas por los huracanes Wilma (2005) e Irma (2017) mediante la aplicación del modelo numérico Iber-SWMM.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### Descripción del área de estudio.

El Malecón de La Habana tiene una longitud total de 7,23 kilómetros desde La Chorrera hasta Muelle de Cruceros (entrada de la Bahía de La Habana), con presencia de arrecifes en 5,3 kilómetros, la altura media del muro con respecto al nivel del mar es 3,9 m; su ejecución comenzó en el año 1901 y se dilató hasta el 1959, esta obra fue construida ganando terreno al mar. Al Malecón vierten 33 drenes pluviales, de ellos 17 grandes drenes, en su mayoría semisumergidos debido a los efectos del cambio climático con el

incremento del nivel medio del mar desde que el muro fue construido hasta la actualidad. Por los años de explotación y por ser un muro costero expuesto constantemente al oleaje se han detectado puntos de socavaciones tanto en el muro como en el vial del Malecón a lo largo de su extensión; aparte de su alto valor patrimonial, existe un creciente desarrollo de la infraestructura hotelera y turística en el área, con presencia de edificios multifamiliares y viviendas. [9]

**Descripción de los materiales utilizados.**

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron huracanes Wilma (2005) e Irma (2017), en la tabla 1 se muestra las características más relevantes de estos.

**Tabla 1.** Características de los huracanes.

| Huracán | Fecha | Duración (días) | Categoría (E.S.S.) | Presión mínima (mbar) | Velocidad máxima de los vientos (Km/h) |
|---|---|---|---|---|---|
| Wilma (2005) | 15/10/2005 al 25/10/2005 | 10 | 5 | 882 | 295 |
| Irma (2017) | 30/08/2017 al 12/09/2017 | 13 | 5 | 914 | 285 |

**Modelo digital del terreno.**

Un modelo digital del terreno (MDT) proporciona una representación precisa de la superficie terrestre, incluyendo detalles como elevaciones, pendientes y características del terreno. Esto es crucial para predecir cómo y dónde se moverá el agua durante una inundación, ayudando a identificar las áreas de alto riesgo y a planificar las medidas de mitigación adecuadas. Se cuenta con un MDT (figura 1) con una resolución espacial de 1 metro, el cual abarca toda la zona que históricamente se ha inundado.

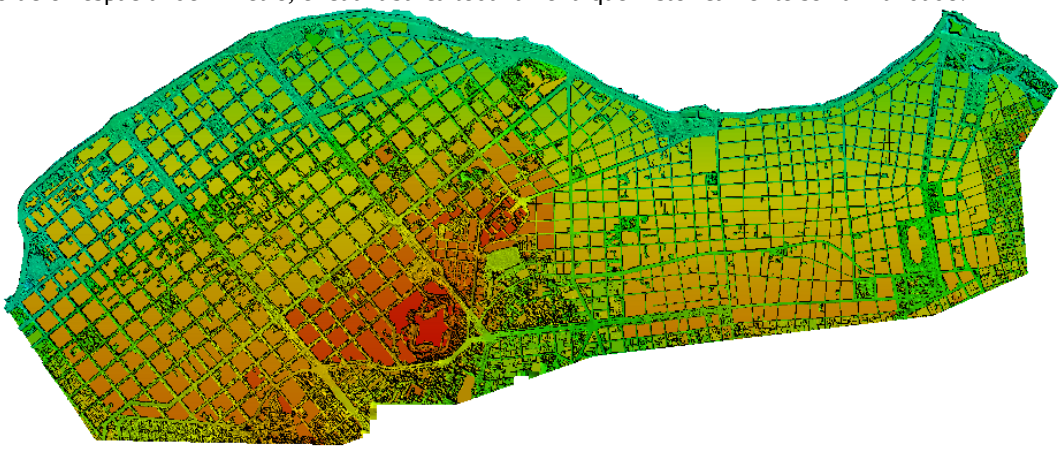


**Figura 1.** Vista superior del MDT.

**Ortofoto.**

Una ortofoto es una fotografía aérea corregida geométricamente, lo que significa que es precisa en términos de representación del área. Esto es crucial para identificar características del terreno y estructuras que pueden influir en el patrón de inundación, proporcionando una representación visual realista del terreno permitiendo entender mejor la zona de estudio. Se cuenta con una ortofoto (figura 2) con resolución de 6 cm.



**Figura 2.** Ortofoto utilizada en la investigación.

**Sistema de Ingeniería Costera y Marítima. Modelo numérico utilizado.**

El Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM) está compuesto de tres módulos, un primer módulo dirigido al preproceso de la información de campos de vientos, presión y precipitación para forzar los diferentes modelos que componen el segundo módulo en el cual se encuentran los modelos acoplados oceánico-costeros, y un tercer módulo donde se encuentran los modelos bases del sistema de acuerdo con la actividad principal que se realiza [9]. La figura 3 muestra la interacción de los módulos.

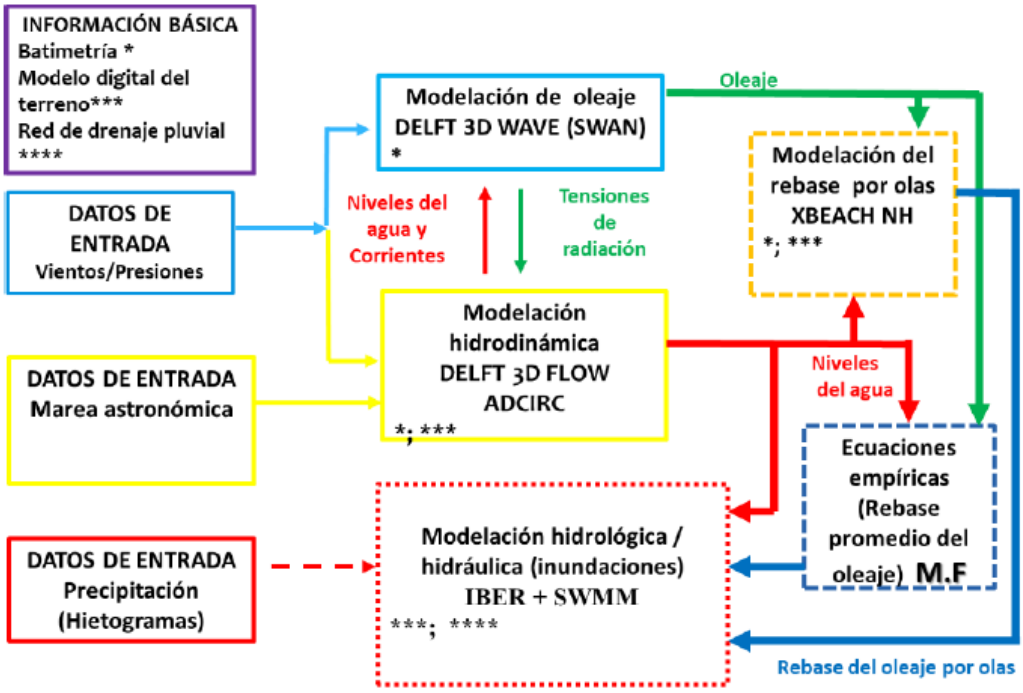



**Figura 3.** Interacción de los módulos del SICOM [9].

El tercer módulo conformado por los modelos bases del sistema de acuerdo con el fenómeno a estudiar, los cuales recibirán como condición de frontera los hidrogramas obtenidos a partir de las ecuaciones empíricas que obtenidos de la modelación física o de manuales de rebase o los resultados del modelo XBeach No Hidrostático (NH) y los niveles del mar en las descargas del sistema de tuberías del drenaje

pluvial. En el caso del estudio de las inundaciones en la zona urbana se propone la aplicación de los modelos hidrológicos–hidráulicos IBER, SWMM, o el acoplado entre estos dos modelos para el estudio del drenaje dual urbano.

**Modelo numérico.**
Iber es un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo superficial libre en ríos y estuarios. Iber resuelve las ecuaciones completas de aguas poco profundas promediadas para calcular la profundidad del agua y los dos componentes horizontales de la velocidad promediada en profundidad. Estas ecuaciones se resuelven con un solucionador de volúmenes finitos no estructurado y explícito en el tiempo. Cuenta con varios módulos como: el hidrodinámico, transporte de sedimentos, turbulencia, calidad del agua, procesos hidrológicos y hábitat. [10]
El módulo de hidrodinámica de Iber resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad en 2D, también conocidas como ecuaciones dinámicas de onda para distinguirlas de los modelos de onda difusivos y cinemáticos más simples[7][8]. El módulo de procesos hidrológicos de Iber permite calcular la transformación lluvia-escorrentía en toda una cuenca, haciendo posible su utilización como modelo hidrológico distribuido en cuencas de pequeño y mediano tamaño. Es completamente bidimensional y distribuido en el espacio, y trabaja sobre la misma malla de cálculo que el módulo hidrodinámico [11]. Para el desarrollo de esta investigación se empleará este dicho módulo.

**Iber-SWMM.**
Este plug-in es la vinculación de los modelos Iber y Storm Water Management Model (SWMM), que son un modelo de flujo terrestre 2D y un modelo de red de alcantarillado 1D, respectivamente. [8]

**Malla de cómputo.**
La malla creada para desarrollar la investigación cuenta con resolución variada (2 m y 4 m) con el objetivo de obtener resultados con una mayor exactitud en las calles que históricamente se inundan y para los tejados la resolución empleada es de 20 m con un total de 635 624 nodos (figura 4).



**Figura 4.** Malla de cómputo

## 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO.

**Establecimiento del modelo Iber-SWMM.**
El modelo Iber–SWMM se establece teniendo en cuenta las experiencias previas del Grupo de Ingeniería Costera y Marítima del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) en el estudio de inundaciones costeras en el Malecón de La Habana donde se ha aplicado este [4][7].

Se utiliza como condición de frontera del modelo Iber los hidrogramas generados aplicando el modelo XBeach NH el cual arroja los resultados segundo a segundo, se decide promediar estos con intervalos de tiempo de diez minutos ya que se realizaron múltiples pruebas con distintos intervalos y el seleccionado no influye en el comportamiento de la inundación y permite una mayor velocidad de simulación.
En el caso particular de este estudio al utilizarse por primera vez los hidrogramas generados por el modelo XBeach NH se realizaron múltiples pruebas para la validación del modelo utilizando para las mismas el informe generado por el Instituto de Meteorología de Cuba el cual describe el comportamiento del huracán Irma (2017). En este informe se presenta información de estimaciones de calados máximos de inundación en puntos del área de estudio. Como resultado de estas pruebas se determina incrementar la magnitud de los hidrogramas de los tramos 4 y 5 en un 20 por ciento para el huracán Irma (2017) y en el caso del huracán Wilma (2005) se incrementó entre un 45 y 60 por ciento. En el caso de los sumideros se asume que los mismos tienen un por ciento de eficiencia entre 0 y 10, en dependencia de la zona de estudio.
En la tabla 2 se encuentran los parámetros físicos y numéricos utilizados para las modelaciones. La tabla 3 muestra el tiempo de duración para generar la inundación.

**Tabla 2.** Parámetros utilizados en las modelaciones.

| Parámetro | Valor | Unidad de medida |
|---|---|---|
| Courant Friedrichs Levy (CFL) | 0,45 | Adimensional |
| Límite seco-mojado | 0,01 | m |
| Rugosidad de Manning | 0,018 | Adimensional |

**Tabla 3.** Tiempo de modelación.

| Huracán | Duración (s) | Duración (h) | Día de inicio | Hora de inicio (horario local) | Día de cierre | Hora de cierre (horario local) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wilma (2005) | 64800 | 18 | 24/10/2005 | 19:10 | 25/10/2005 | 13:10 |
| Irma (2017) | 158400 | 44 | 09/09/2017 | 5:30 | 11/09/2017 | 5:30 |

Para estudiar los niveles de inundación o calado se colocaron once puntos de observación, en la tabla 4 se presenta su localización y en la figura 5 se observa una vista de ellos.

**Tabla 4.** Localización de los puntos de observación.

| **Municipio** | **Punto** | **Localización** |
|---|---|---|
| **Habana Vieja** | P1 | calle Prado y calle Malecón |
| **Centro Habana** | P2 | calle Ánimas y calle Blanco |
| | P3 | calle Blanco y calle Trocadero |
| | P4 | calle San Lázaro y calle Belascoaín |
| | P5 | calle San Lázaro y calle Marina |
| | P6 | calle Jovellar y calle Marina |
| **Plaza de la Revolución** | P7 | calle Infanta y calle 23 |
| | P8 | calle 17 y calle O |
| | P9 | calle 3ra y calle G |
| | P10 | calle 3ra y calle Paseo |
| | P11 | calle 3ra y calle 12 |

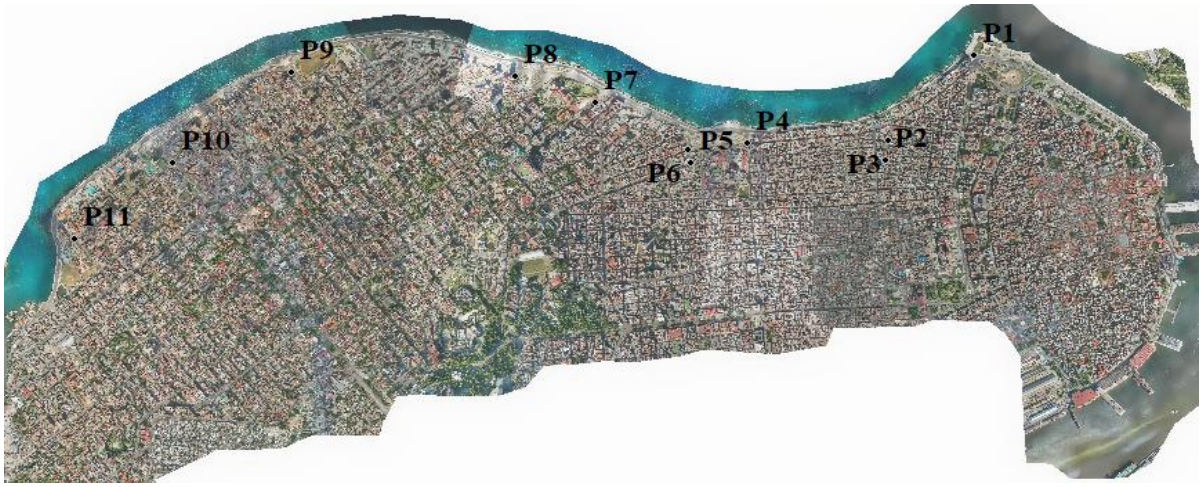



**Figura 5.** Vista aérea de los puntos de observación.

**Análisis de los resultados del huracán Wilma (2005).**

En la figura 6 se muestra el comportamiento del calado en el tiempo obtenidos para el huracán Wilma (2005) en los puntos de observación, de la misma podemos destacar que:

- Los máximos calados ocurren entre las 7 y 10 horas de comenzada la simulación.
- El máximo calado obtenido es para el P11 (calle 3ra y calle 12) con 1,96 m.
- Los puntos P5 (calle San Lázaro y calle Marina) y P6 (calle Jovellar y calle Marina) presentan calados máximos de 1,41 m y 1,79 m respectivamente.
- El menor de los máximos calados se encuentra en P8 (calle 17 y Calle O) con 0,26 m.
- El punto P7 (calle Infanta y calle 23) no cuenta con registro.

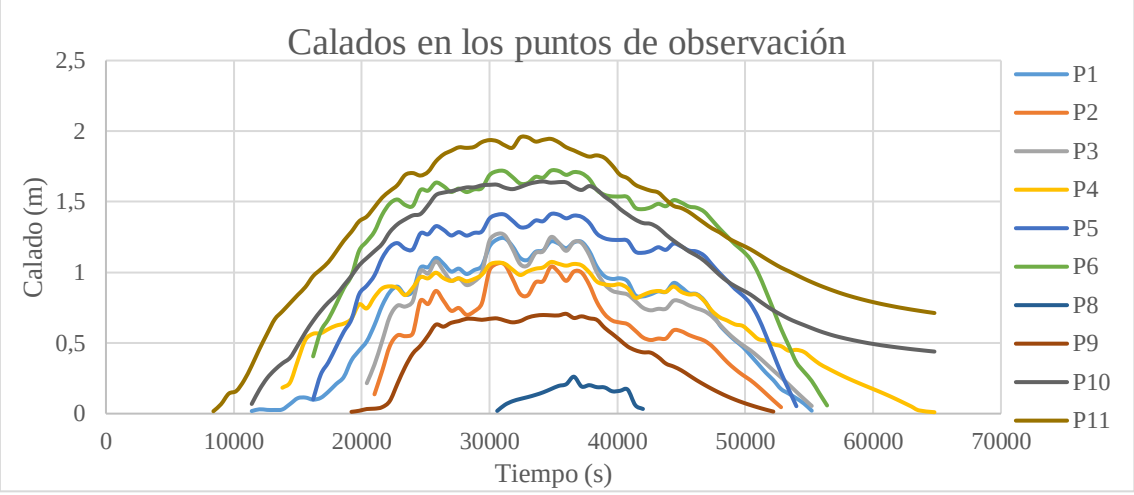



**Figura 6.** Comportamiento de los calados en los puntos de observación para el huracán Wilma (2005).

La figura 7 y figura 8 presentan los mapas de máximos calados donde se observan zonas críticas de inundación costera obtenidas para el huracán Wilma (2005). La zona A se encuentra ubicada en Marina entre Jovellar y San Lázaro, la misma es uno de los puntos más deprimidos de la ciudad, aquí se encuentran los puntos de observación P5 y P6. La zona B se encuentra entre la calle Galeano y la calle Pasea del Prado con límite norte la calle San Lázaro y límite sur la calle Ánimas, en la misma se encuentran los puntos de observación P2 y P3. Además, en el municipio Plaza de la Revolución se

observan otras dos zonas críticas, la zona C que se encuentra desde la calle 12 hasta la calle 4 con límite norte la calle 1ra y límite sur la calle Calzada (7ma); la zona D se ubica desde la calle Paseo hasta calle E teniendo como límite norte la calle 1ra y al sur la calle Calzada.




**Figura 7.** Mapa de máximos calados para el huracán Wilma (2005) en la zona del Malecón Tradicional.

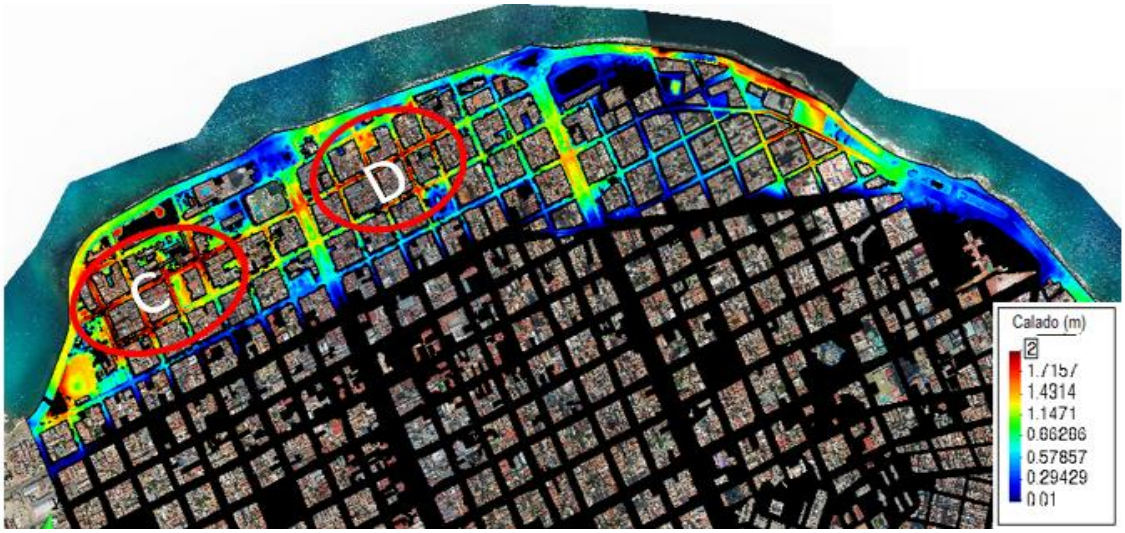



**Figura 8.** Mapa de máximos calados para el huracán Wilma (2005) en la zona del Malecón del Vedado.

**Análisis de los resultados del huracán Irma (2017).**

En la figura 9 se observa el comportamiento de los calados en el tiempo obtenido para la simulación del huracán Irma (2017) en los puntos de observación, de esta podemos destacar que:

- Los máximos registros de calado ocurren entre las 12 y las 22 horas de comenzada la simulación.
- El máximo calado se obtuvo para P6 (Jovellar y Marina) con 2,46 m.
- Se destacan P3 (calle Blanco y calle Trocadero), P5 (calle San Lázaro y calle Marina), P10 (calle 3ra y calle Paseo) y P11 (calle 3ra y calle 12) con calados máximos superiores a 2 m.
- El menor de los calados máximos fue registrado en P7 (calle Infanta y calle 23) con 0,31 m.

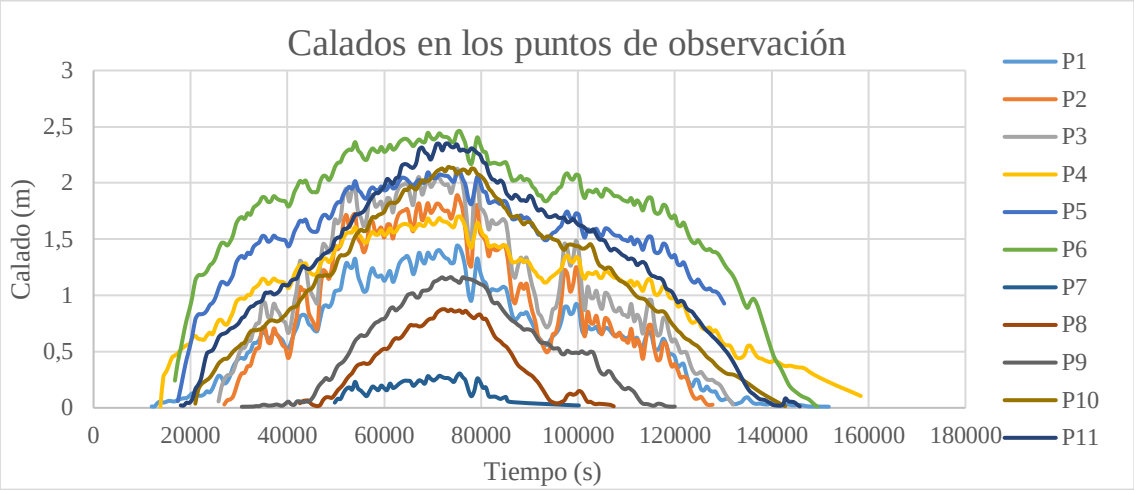



**Figura 9.** Comportamiento de los calados en los puntos de observación para el huracán Irma (2017).

La figura 10 y figura 11 presentan los mapas de máximos calados donde se observan zonas críticas de inundación costera obtenidas para el huracán Irma. La zona A se encuentra ubicada en Marina entre Jovellar y San Lázaro, la misma es uno de los puntos más deprimidos de la ciudad, aquí se encuentran los puntos de observación P5 y P6. La zona B se encuentra entre la calle San Nicolás y la calle Pasea del Prado con límite norte la calle San Lázaro y límite sur la calle Ánimas, en la misma se encuentran los puntos de observación P2 y P3. Además en el municipio Plaza de la Revolución se observan otras dos zonas críticas, la zona C que se encuentra desde la calle 12 hasta la calle 4 con límite norte la calle 1ra y límite sur la calle Calzada (7ma); la zona D se ubica desde la calle Paseo hasta calle E teniendo como límite norte la calle 1ra y al sur la calle Calzada; la zona E que comprende la calle G desde 3ra hasta 9na.




**Figura 10.** Mapa de máximos calados para el huracán Irma (2017) en la zona del Malecón Tradicional.

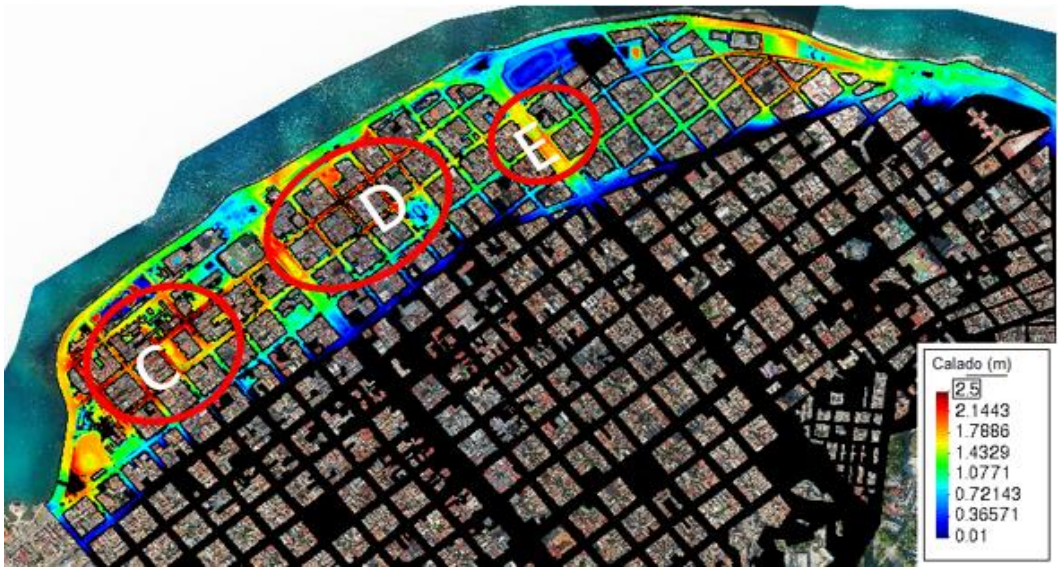



**Figura 11.** Mapa de máximos calados para el huracán Irma (2017) en la zona del Malecón del Vedado.

**Comparación de los resultados.**
Se compararan los resultados obtenidos para cada huracán en los puntos de observación, la tabla 5 presenta el calado máximo obtenido en cada uno de ellos donde se puede destacar que P7 y P8 son los puntos de menor calado máximo para todos los huracanes. También se puede señalar que P6 y P11 comparten los máximos registros.

**Tabla 5.** Calado máximo en los puntos de observación.

| Punto | Localización | Calado (m) | |
|---|---|---|---|
| | | Wilma (2005) | Irma (2017) |
| **P1** | calle Prado y calle Malecón | 1,24 | 1,44 |
| **P2** | calle Ánimas y calle Blanco | 1,06 | 1,89 |
| **P3** | calle Blanco y calle Trocadero | 1,27 | 2,12 |
| **P4** | calle San Lázaro y calle Belascoaín | 1,07 | 1,70 |
| **P5** | San Lázaro y Marina | 1,41 | 2,10 |
| **P6** | calle Jovellar y calle Marina | 1,72 | 2,46 |
| **P7** | calle Infanta y calle 23 | - | 0,31 |
| **P8** | calle 17 y calle O | 0,26 | 0,88 |
| **P9** | calle 3ra y calle G | 0,71 | 1,16 |
| **P10** | calle 3ra y calle Paseo | 1,64 | 2,14 |
| **P11** | calle 3ra y calle 12 | 1,96 | 2,35 |

Debido a que los puntos P6 y P11 son los más críticos las figuras 12 y 13 muestran una comparación del comportamiento del calado en el tiempo donde se puede apreciar que el huracán Irma (2017) presenta una mayor duración de la inundación que el huracán Wilma (2005), esto se debe a la diferencia de la intensidad de estos eventos.

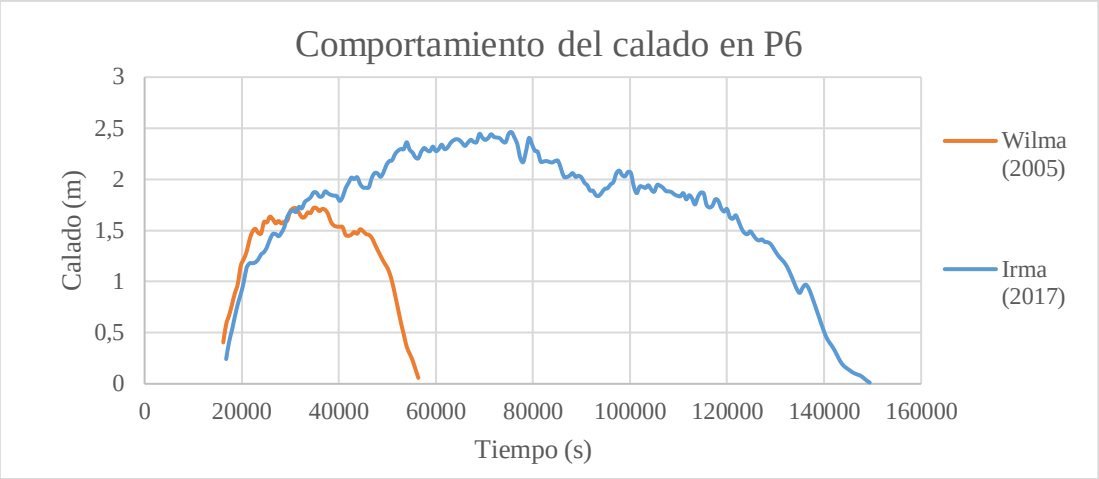



**Figura 12.** Comparación del comportamiento del calado en el tiempo para el punto P6.

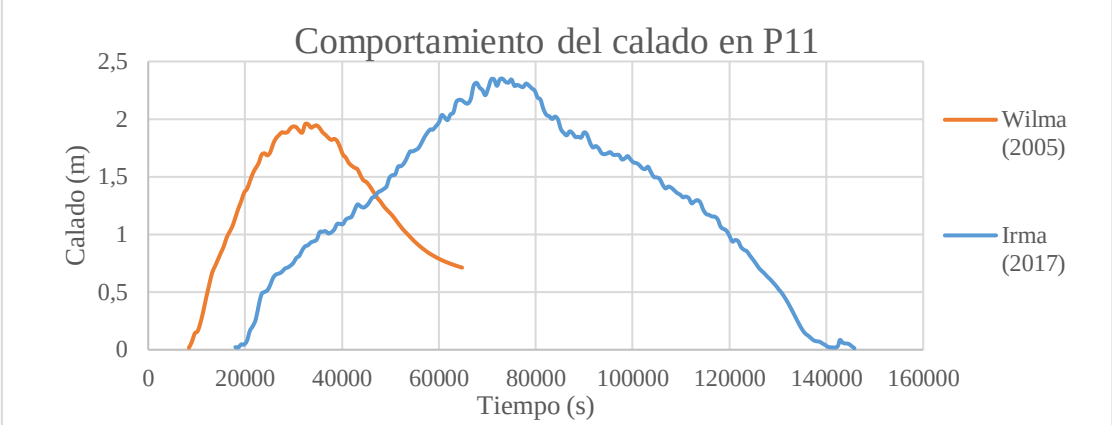



**Figura 13.** Comparación del comportamiento del calado en el tiempo para el punto P11.

## 4. CONCLUSIONES

- El Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM) demuestra ser herramienta efectiva para simular las inundaciones costeras en el Malecón de La Habana.
- Los resultados obtenidos demuestran que la zona del Malecón de La Habana está expuesta a un alto nivel de peligro durante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.
- Las zonas de mayor inundación son las mismas para todos los eventos simulados, destacándose que incrementan su área a medida que aumenta la intensidad del evento.
- Se identificaron cinco zonas de inundación dos en el municipio Centro Habana y tres en el municipio Plaza de la Revolución.
- Se obtuvieron los puntos más críticos desde el punto de vista de las cotas de inundación, siendo estos la intersección de Jovellar y Marina en el municipio Centro Habana y la intersección calle 3ra y calle 12 en el municipio Plaza de La Revolución.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Mendiondo Afá, I. (2023). Simulación de inundaciones compuestas en zonas urbanas costeras, huracán Irma 2017. Malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
2. Cruz, B. (2009). Formulación del riesgo conjunto, inundación-sequia, bajo un esquema probabilístico, aplicado en la región hidrológica nazas-aguanaval (RH-36) [Tesis de maestría en ingeniería hidráulica.]. Universidad Nacional Autónoma de México.
3. CENAPRED. (2004). Fascículo de inundaciones. Distrito Federal México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
4. Vellón Ferrer, R. (2023). Modelación de inundaciones compuestas generadas por el huracán Wilma (2005) en el malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
5. Generalidades de los Ciclones Tropicales. (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=OPTION&TB2=/contenidos/ciclones%20tropicales/generalidades/generalidades.htm
6. Morejón Mier, B. I. (2020). Estudio del sobrepaso del oleaje en el malecón de La Habana durante la ocurrencia del huracán Irma 2017 aplicando el modelo Delft3D. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana ``José Antonio Echeverría´´
7. Córdova de Horta, D. (2023). Simulación dinámica de inundaciones compuestas. Caso de estudio Malecón Tradicional de La Habana. [Trabajo de Diploma (en opción al grado científico de Master en Ciencias Técnicas)]. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".
8. Sañudo, E., Cea, L., & Puertas, J. (2020). Modelling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Models Iber and SWMM. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2647
9. Pérez León, B. (2024). Estudio de las inundaciones costeras en la zona del Malecón de La Habana aplicando el Sistema de Ingeniería Costera y Marítima. SICOM. [Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero)]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
10. Iber. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2024, de https://iberaula.es/
11. Sanz-Ramos, M., Cea, L., Bladé, E., López-Gómez, D., Sañudo, E., Corestein, G., García-Alén, G., & Aragón-Hernández, J. L. (2022). Iber v3. Manual e referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones. https://doi.org/10.23967/iber.2022.01

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DETERMINACIÓN DEL REBASE DEL OLEAJE APLICANDO LOS MODELOS NUMÉRICOS ACOPLADOS DELFT3D Y XBEACH NH: ESTUDIO DE CASO MALECÓN DE LA HABANA, CUBA

**Daniela Córdova de Horta[1,2,3,4], Luis. F. Córdova López[1,2], Miguel Ángel Pardo Picazo[3,4], Daniel Prats Rico[3,4]**

[1] Technological University of Havana, José Antonio Echeverría, Cuba 19390
[2] Hydraulic Research Center, Technological University of Havana, Cuba 19390
[3] Department of Civil Engineering, University of Alicante, Spain, 03690
[4] Institute of Water and Environmental Sciences, University of Alicante, Spain, 03690
e-mail: danielitach096@gmail.com

**RESUMEN**

El tradicional Malecón habanero, reconocido como Patrimonio de la Humanidad, se ve afectado anualmente por eventos hidrometeorológicos extremos como frentes fríos, huracanes y bajas extratropicales. Estos fenómenos ponen en peligro la vida de sus habitantes y provocan importantes pérdidas económicas. Este estudio propone un marco de modelado integrado que acopla los modelos Delft3D (módulos FLOW + WAVE) y el modelo no hidrostático XBeach de manera heterogénea, con el objetivo de determinar con mayor precisión las descargas desbordantes sobre la estructura protectora actual, conocida como el "Muro del Malecón". El marco propuesto permite una simulación detallada de los impactos de las olas durante eventos extremos, proporcionando datos esenciales para la gestión de riesgos costeros y la implementación de medidas de mitigación. Este estudio destaca la importancia de comprender y gestionar los impactos de las olas en áreas costeras vulnerables, ofreciendo una base sólida para mejorar la resiliencia y la adaptación a futuros eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente huracanes. Para este estudio se seleccionaron los huracanes Wilma (2005) e Irma (2017), ya que ambos causaron severas inundaciones a lo largo del litoral habanero. Como resultado de la investigación se realizó un análisis sectorial del comportamiento del oleaje a lo largo de todo el Malecón de La Habana, identificando los tramos más críticos en términos de rebasamiento promedio específico y rebase específico total del oleaje.

**PALABRAS CLAVES:** Desbordamiento de olas, modelación numérica, huracanes.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MEJORA DE LA PREDICCIÓN DE FALLAS DE PENDIENTES INDUCIDAS POR LAS PRECIPITACIONES EN REPRESAS TERRESTRES MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS HÍBRIDOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

**Isaida Flores Berenguer[1], Jack Warden[2], Yoermes González Haramboure[3], Alejandro Rosete Suárez[1], Jenny García Tristá[1], Mohammad Reza Najafi[2]**

[1]Technological University of Havana ¨José Antonio Echeverría¨, Havana, Cuba
[2]Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Western University, London, Ontario, Canada
[3]National Institute of Hydraulic Resources, Havana, Cuba 1
e-mail: isiflores92@gmail.com

**RESUMEN**

La estabilidad de taludes es un fenómeno complejo influenciado por variables geotécnicas y condiciones de carga externa. En los últimos años, numerosos derrumbes de pendientes en todo el mundo han puesto de relieve el importante impacto de las precipitaciones. Esto ha impulsado un aumento de los estudios de estabilidad de taludes para predecir posibles deslizamientos o establecer diversos escenarios. Las nuevas técnicas computacionales han desempeñado un papel fundamental en el avance de estudios más sofisticados. Esta investigación propone la integración de modelos numéricos híbridos y la implementación de tres algoritmos de aprendizaje automático (árboles de decisión, redes neuronales artificiales y redes neuronales artificiales con análisis de componentes principales) para predecir la seguridad en presas de tierra homogéneas sometidas a diferentes intensidades de lluvia. Se analizan tres geometrías fundamentales y 40 suelos arcillosos que constituyen el terraplén. Todos los algoritmos de aprendizaje automático se aplicaron a un modelo integral con 13 variables de entrada y a un modelo simplificado con seis variables de entrada. Los resultados demuestran una alta correlación entre los modelos numéricos y las observaciones de las tres aplicaciones implementadas. Los árboles de decisión entrenados para predecir la ocurrencia de fallas lograron una efectividad superior a 0,90 y errores de 0,08 y 0,098 en cada caso, combinados con coeficientes Kappa de Cohen superiores a 0,7. Los modelos de redes neuronales artificiales entrenados para predecir el factor de seguridad también arrojaron una efectividad superior a 0,90 y errores inferiores a 0,13, similares a aquellos con análisis de componentes principales. Los árboles de decisión tienen la ventaja adicional de facilitar la interpretación del modelo.

**PALABRAS CLAVES:** Estabilidad de Taludes, Modelos Numéricos Híbridos, Aprendizaje Automático.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DE CUBA

**Jennifer de la Caridad Rodríguez Calderón[1], Sandra Cruz González[1], Camila Cruz González[1], Rosa María Valcarce Ortega[1], Marina Beatriz Vega Carreño[1], Willy Roberto Rodríguez Miranda[1]**

[1]Departamento de Geociencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría, Cujae.
*Calle 114, No. 11901 entre Ciclo Vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba*
[1]e-mail: jenniferodcal@civil.cujae.edu.cu, sandracrugon@civil.cujae.edu.cu, camilacrugon@civil.cujae.edu.cu, rosy@civil.cujae.edu.cu, marina@civil.cujae.edu.cu, willy@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las cuencas hidrográficas Cauto, Mayarí, Toa y Guantánamo-Guaso, ubicadas en la región oriental de Cuba, han sido declaradas de interés nacional por el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, por lo que estudios dirigidos a preservar sus recursos naturales tienen especial interés. La presente investigación se dirigió a evaluar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de sus aguas subterráneas empleando el método GOD y el algoritmo k-medias. En la cuenca Cauto las áreas de mayor vulnerabilidad a la contaminación de sus aguas subterráneas se localizan en los extremos norte y sur, sobre las formaciones geológicas El Cobre y El Caney y rocas del Complejo Ofiolítico. En la cuenca Mayarí la vulnerabilidad extremadamente alta se asocia a las formaciones geológicas Bitirí, Camazán, Mucaral, Charco Redondo y Puerto Boniato; y en la cuenca Toa a las formaciones geológicas Sierra del Purial, Yateras y Mucaral. En la cuenca hidrográfica Guantánamo – Guaso se observa vulnerabilidad entre moderada y extrema sobre las formaciones geológicas Charco Redondo y Puerto Boniato. La cartografía de la vulnerabilidad de cada cuenca se presenta a escala 1:100 000 soportada en un sistema de información geográfica. Fue estudiada la variación espacio temporal del índice de vegetación y la salinidad de los suelos en estas cuencas empleando imágenes satelitales de Landsat 5, 7 y 8, correspondientes a los años 2000 y 2023. Los resultados demuestran que la salinidad de los suelos se ha incrementado en las cuencas Cauto y Guantánamo Guaso, lo que no favorece la protección de sus recursos hídricos.

**PALABRAS CLAVES:** cuencas hidrográficas, vulnerabilidad intrínseca, método GOD, minería de datos, teledetección.

# EVALUATION OF NATURAL VULNERABILITY TO GROUNDWATER POLLUTION IN BASINS OF THE EASTERN REGION OF CUBA

**ABSTRACT**

The National Council of Hydrographic Basins has declared the Cauto, Mayari, Toa and Guantanamo Guaso hydrographic basins, located in the eastern region of Cuba, of national interest. For this reason, studies aimed at preserving natural resources in these basins are of special interest. The present research was aimed at evaluating the intrinsic vulnerability to contamination of its groundwater using the GOD method and the k-means algorithm. In the Cauto basin, the areas of greatest vulnerability to groundwater contamination are located in the northern and southern ends, on the El Cobre and El Caney geological formations and rocks of the Ophiolitic Complex. In the Mayarí basin, extremely high vulnerability is associated with the Bitirí, Camazán, Mucaral, Charco Redondo and Puerto Boniato geological formations; and in the Toa basin, with the Sierra del Purial, Yateras and Mucaral geological formations. In the Guantánamo – Guaso basin, moderate to extreme vulnerability is observed in the Charco Redondo and Puerto Boniato geological formations. The vulnerability map for each basin is presented at a scale of 1:100,000 supported by a geographic information system. The spatio temporal variation of the vegetation index and soil salinity in these basins was studied using Landsat 5, 7 and 8 satellite images,

corresponding to the years 2000 and 2023. The results show that soil salinity has increased in the Cauto and Guantánamo Guaso basins, which does not favor the protection of their water resources.

**KEY WORDS:** watersheds, intrinsic vulnerability, GOD method, data mining, remote sensing.

**sobre los autores**

**Jennifer de la Caridad Rodríguez Calderón.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Adiestrada y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Sandra Cruz González.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Adiestrada y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Camila Cruz González.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Adiestrada y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Rosa María Valcarce Ortega.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular. Jefa del Colectivo de Carrera y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Marina Beatriz Vega Carreño.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular. Presidenta de la Comisión Nacional de Carrera y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Willy Roberto Rodríguez Miranda.** Ingeniero Geofísico del Departamento de Geociencias, CUJAE. Doctor en Ciencias Técnicas y Profesor Titular. Miembro de la Sociedad Cubana de Geología y la Asociación Cubana de Reconocimiento de Patrones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL EN EL PERÍODO 2000 AL 2020 EN EMBALSES DE LA PROVINCIA MAYABEQUE, CUBA

**Isabela Díaz Pérez[1], Rosa Ma. Valcarce Ortega[1], Willy R. Rodríguez Miranda[1]**

[1]Departamento de Geociencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría, Cujae.
*Calle 114, No. 11901 entre Ciclo Vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba*
[1]e-mail: rosy@civil.cujae.edu.cu, willy@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Los ecosistemas relacionados con el agua aportan importantes beneficios económicos y sociales en todos los países por lo que su protección se ha convertido en prioridad estratégica. Particularmente en Cuba, la disponibilidad de agua representa un gran desafío para lograr el desarrollo económico y la seguridad alimentaria. Esta investigación realizó un estudio de la variación espacio temporal de los principales embalses de la provincia Mayabeque durante los años 2000 al 2020, tomando como línea base el quinquenio 2000 – 2004. Fue aplicada la metodología aprobada por la Organización de Naciones Unidas para el seguimiento del indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se emplearon los índices espectrales MNDWI y $AWEI_{sh}$ calculados de las imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8. Los resultados mostraron marcada tendencia a la disminución de las áreas de los embalses analizados lo cual se corresponde con el comportamiento del clima en Cuba en las últimas décadas y señalan la necesidad de lograr una gestión integral y sostenible del agua que no comprometa la integridad ecológica de las cuencas y la respuesta a la creciente demanda de este recurso vital.

**PALABRAS CLAVES:** variación espacio temporal, teledetección, índices MNDWI y $AWEI_{sh}$, ODS 6.6.1.

# SPATIAL-TEMPORAL VARIATION IN THE PERIOD 2000 TO 2020 IN RESERVOIRS OF MAYABEQUE PROVINCE, CUBA

**ABSTRACT**

Water-related ecosystems provide important economic and social benefits in all countries, which is why their protection has become a strategic priority. Particularly in Cuba, the availability of water represents a great challenge to achieve economic development and food security. This research carried out a study of the space-temporal variation of the main reservoirs of the Mayabeque province during the years 2000 to 2020, taking the five-year period 2000 - 2004 as a baseline. The methodology approved by the United Nations Organization was applied to monitor indicator 6.6.1 of the Sustainable Development Goals. The MNDWI and $AWEI_{sh}$ spectral indices calculated from the Landsat 5, 7 and 8 satellite images were used. The results showed a marked tendency to decrease the areas of the analyzed reservoirs, which corresponds to the behavior of the climate in Cuba in recent decades and points out the need to achieve comprehensive and sustainable water management that does not compromise the ecological integrity of the basins and the response to the growing demand for this vital resource.

**KEY WORDS:** space temporal variation, remote sensing, MNDWI and $AWEI_{sh}$ indices, SDG 6.6.1.

**sobre los autores**

**Isabela Díaz Pérez.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Adiestrada y miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Rosa María Valcarce Ortega.** Ingeniera Geofísica del Departamento de Geociencias, CUJAE. Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular. Miembro de la Sociedad Cubana de Geología.

**Willy Roberto Rodríguez Miranda.** Ingeniero Geofísico del Departamento de Geociencias, CUJAE. Doctor en Ciencias Técnicas y Profesor Titular. Miembro de la Sociedad Cubana de Geología y la Asociación Cubana de Reconocimiento de Patrones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EFECTOS DE INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO ESTRUCTURA DE CUATRO TANQUES GÜIRA EN SANTIAGO DE CUBA

Joendris Manual Castellanos[1], Francisco Calderín Mestre[2], Darío Candebat Sánchez[3]

[1]Empresa GEOCUBA Oriente Sur, Joendrismanualcastellano@gmail.com,
[2]Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, calderin@uo.edu.cu,
[3]Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba, dario@cenais.cu

**RESUMEN**

Los reservorios de agua con características péndulo invertido conocidos como tanques güira, presentan diferentes dimensiones, fundamentalmente en altura y capacidad de volumen de agua acumulada. La evaluación de la interacción dinámica suelo estructura para el mejor diseño de las cimentaciones de estas obras gana relevancia cuando se encuentran en zonas de complejidad sísmica, como es el caso de la provincia Santiago de Cuba. El objetivo de esta investigación es comparar los efectos de la interacción dinámica suelo estructura de cuatro tanques güira con diferentes clasificaciones, para las mismas condiciones físico- mecánicas y dinámicas del suelo. Se cumplimentó una investigación del tipo cuantitativa aplicada. Los resultados alcanzados contribuyen a mejorar el diseño de las cimentaciones en futuras estructuras y a la rehabilitación de las existentes. Para la investigación se desarrollaron mediciones geofísicas por el método sísmico en el área de ubicación de cada tanque y se aplicó la técnica del georradar para la determinación de la profundidad del nivel de desplante de las cimentaciones, además se contó con las características físico-mecánicas entregadas por la Empresa filial de investigaciones aplicadas Santiago de Cuba (ENIA). La investigación concluye que existe influencia de las dimensiones de los tanques güira en la interacción dinámica suelo estructura.

**PALABRAS CLAVES:** cimentaciones, interacción dinámica suelo estructura, péndulo invertido, reservorios de agua, tanques güira.

# DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION EFFECTS OF FOUR GÜIRA TANKS IN SANTIAGO DE CUBA

**ABSTRACT**

Water reservoirs with inverted pendulum characteristics, known as güira tanks, have different dimensions, mainly in height and accumulated water volume capacity. The evaluation of the dynamic soil-structure interaction for the best design of the foundations of these works gains relevance when they are located in areas of seismic complexity, as is the case of Santiago de Cuba province. The objective of this research is to compare the effects of dynamic soil-structure interaction of four güira tanks with different classifications, for the same physical-mechanical and dynamic soil conditions. A quantitative applied research was carried out. The results achieved contribute to improve the design of foundations in future structures and to the rehabilitation of existing ones. For the research, geophysical measurements were developed by the seismic method in the area of location of each tank and the georadar technique was applied to determine the depth of the foundations' level of displacement, in addition to the physical-mechanical characteristics provided by the Subsidiary Company of Applied Research Santiago de Cuba (ENIA). The research concludes that there is an influence of the dimensions of the güira tanks in the soil-structure dynamic interaction.

**KEY WORDS:** foundations, dynamic soil-structure interaction, inverted pendulum, water reservoirs, güira tanks.

## 1. INTROIDUCCIÓN

Es importante evaluar el efecto de interacción dinámica suelo estructura en obras ubicadas en zonas de alta peligrosidad sísmica, más aún cuando estas estructuras están apoyadas en suelo mediante cimentaciones superficiales. En el caso de los tanques güira que se encuentran en la ciudad de Santiago de Cuba, este tema gana en relevancia, ya que son estructuras péndulo invertido que cuentan con un solo elemento de apoyo (fuste) por lo que su redundancia es prácticamente nula. La norma [1], clasifica estos reservorios y presenta el dimensionamiento para cada caso. Por su parte, la norma cubana [2] establece el peligro sísmico en las diferentes zonas del territorio nacional, a su vez expone la clasificación del sitio con base a las características del perfil de suelo, en esta propia norma se describen fórmulas empíricas para la determinación del periodo fundamental de vibrar de diferentes tipos de estructuras, pero no hace referencia a la interacción dinámica suelo estructura. Lo anterior motivó la necesidad de comparar los efectos de la interacción dinámica suelo estructura de cuatro tanques güira con diferentes alturas y volumen de reserva, pero con las mismas condiciones físico- mecánicas y dinámicas del suelo.

La modelación del fenómeno de ISE ante cargas dinámicas, como es la acción de un sismo, puede ser planteada desde dos perspectivas, usando un modelo que involucre a la estructura y el suelo circundante como un solo sistema (método directo) o mediante el método de subestructuras, que basado en el principio de superposición descompone el problema en partes más manejables y fáciles de revisar [3].

Este fenómeno de interacción suelo estructura se refiere a la modificación de la respuesta natural de un sistema estructural debido a que el suelo de alguna manera altera no solo las condiciones de apoyo que se pueden suponer inicialmente fijas, si no también el amortiguamiento total de la construcción [4].

[5] observó que en un suelo blando la amplitud de una onda sísmica de periodo corto disminuye muy rápido con la profundidad, por lo que las cimentaciones profundas son menos sensibles a las componentes rápidas de las ondas sísmicas.

Según [6] en general, los efectos de interacción suelo estructura son benéficos para estructuras con periodo fundamental mayor que el periodo dominante del suelo, pero perjudiciales si es el caso contrario.

La interacción suelo estructura consiste en hacer participar la rigidez del suelo de fundación como parte del análisis estructural.

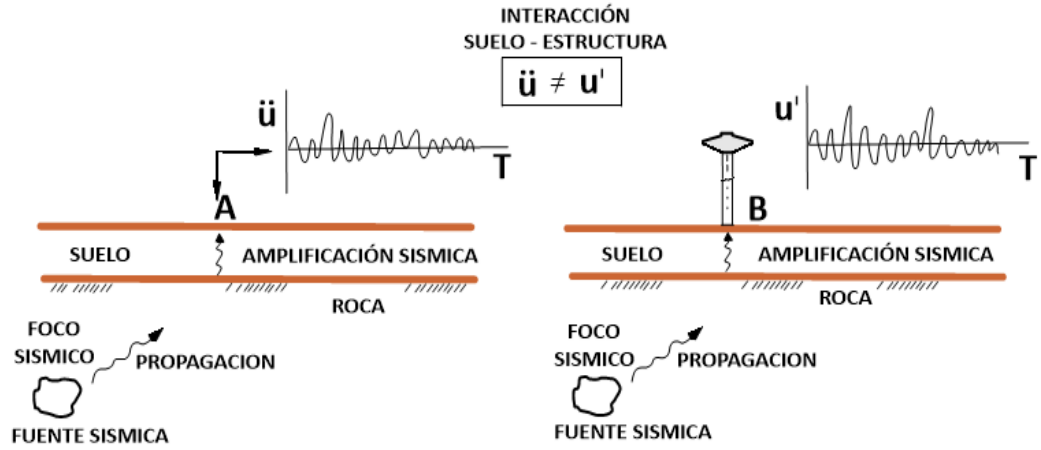



Figura 1: Efecto sísmico en la superficie en campo libre (A) y con estructura (B). (Modificado [7])

## 2. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA

En la evaluación realizada se emplea el método analítico, con solución en tres pasos (interacción cinemática, funciones de impedancia e interacción inercial).

Para el caso de estudio se desarrollaron un conjunto de métodos investigativos (investigación de antecedentes, trabajos topográficos, geofísicos), con la finalidad de conocer las características del área de soporte de cada tanque desde el punto de vista ingeniero – geológica y geotécnica. Los trabajos topográficos fueron desarrollados utilizando la técnica GNSS GS-14. Se hizo uso además de imágenes aéreas orto rectificadas, lo que permitió la determinación de las coordenadas planas de ubicación de los reservorios. Se emplearon dos métodos de investigaciones geofísicas (sísmica y georradar). Las características físico-mecánicas del suelo fueron tomadas de trabajos anteriormente realizados por la Empresa filial de investigaciones aplicadas Santiago de Cuba (ENIA).

**Dimensionamiento o geometría de las estructuras**

El dimensionamiento de los tanques güira se establece en el anexo 24 de la [1], registrándose un total de veintidós clasificaciones, con alturas totales entre los 19,75 hasta los 47,25 m. El volumen varía desde los 100 hasta los 400 $m^3$.

Para conocer la clasificación de los tanques evaluados (tabla 1), se realizarán dos mediciones con carácter de suficientes (altura de fuste y diámetro del acumulador).

Tabla 1: Clasificación de los tanques evaluados.

| Tanques | Altura del fuste | Diámetro del acumulador | Clasificación |
|---|---|---|---|
| Empresa Refinadora de Aceite | 21,00 | 10,30 | G-21-100 |
| Empresa Asbesto Cemento. UEB Fibrocemento Armando Mestre Martínez | 15,00 | 10,30 | G-24-150 |
| Unidad Empresarial de Base Cecilio Sánchez | 27,00 | 11,80 | G-27-150 |
| Frigorífico Cítrico Caribe | 30,00 | 12,80 | G-30-200 |

Nota: Las siglas G-15-100 quieren decir:
G: Sistema güira.
15: Altura del pedestal o fuste.
100: Capacidad del tanque en $m^3$ de agua.

**Periodo de vibración esperado de la estructura**

Este punto se desarrolla según la [2], la que establece fórmulas empíricas para determinar el periodo de vibración esperado para los diferentes tipos de estructuras.

**Determinación del periodo fundamental del suelo**

La referencia [8], utiliza las velocidades de ondas de corte (Vs) y el espesor del estrato para determinar el periodo fundamental del suelo. Ecuación 1.

$$Ts = \frac{4 * h}{Vs} \qquad (1)$$

Donde:

$Ts$ periodo fundamental del suelo
$Vs$ velocidades de ondas de corte
$h$ espesor del estrato de suelo

**Evaluación del posible fenómeno de interacción suelo estructura**

Para conocer si existirá o no, interacción dinámica suelo estructura se chequeará la siguiente expresión, si no se cumple puede despreciarse. Ecuación 2.

$$\frac{Te}{Ts} * \frac{Hs}{He} < 2{,}5 \qquad (2)$$

Donde:
$Te$ periodo fundamental de vibración de la estructura
$Ts$ periodo fundamental del suelo
$Hs$ profundidad de los depósitos firmes profundos en el sitio de interés
$He$ altura efectiva de la estructura

Cálculo de la rigidez máxima del suelo de cimentación por medio de ecuaciones que incluyan la velocidad de ondas de corte (Vs). Ecuación 3.

$$G = \frac{\gamma * Vs^2}{g} \qquad (3)$$

Donde:
$G$ módulo de rigidez medio del suelo de soporte.
$\gamma$ peso volumétrico del suelo
Vs velocidades de ondas de corte
g aceleración de la gravedad

**Periodo y amortiguamiento efectivos**

El periodo efectivo del sistema acoplado suelo–estructura se determinará de acuerdo con las expresiones: Ecuación 4, 5, 6.

$$\sim \mathrm{Te} = (Te^2 + Tx^2 + Tr^2)^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

$$Tx = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{We}{Kx}} \qquad (5)$$

$$Tr = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{We(He + D^2)}{Kr}} \qquad (6)$$

Donde:

We peso efectivo de la estructura que se tomará como [0,7 * Wo] (Peso total de la estructura, incluyendo cargas muertas y vivas).
D profundidad de desplante de la cimentación

**Resortes elásticos Kx, Kr**

$K_x$ rigidez de traslación, definida como la fuerza horizontal necesaria para producir un desplazamiento unitario del cimiento

$K_r$ rigidez de rotación, definida como el momento necesario para producir una rotación unitaria del cimiento

**El amortiguamiento efectivo del sistema acoplado suelo–estructura se determinará de acuerdo con la expresión. Ecuación 7, 8, 9.**

$$\xi e = 0{,}05\left(\frac{Te}{\sim \mathrm{Te}}\right)^3 + \frac{\xi x}{1+2\xi x^2}\left(\frac{Tx}{\sim \mathrm{Te}}\right)^2 + \frac{\xi r}{1+2\xi r^2}\left(\frac{Tr}{\sim \mathrm{Te}}\right)^2 \quad (7)$$

$$\xi x = \left(\frac{\pi Cx}{\sim \mathrm{TeKx}}\right) \quad (8)$$

$$\xi r = \left(\frac{\pi Cr}{\sim \mathrm{TeKr}}\right) \quad (9)$$

**Amortiguamientos de la cimentación en la dirección en que se analiza la estructura Cx y Cr. Funciones de impedancia**

Son funciones que dependen de las características del suelo, físicamente representan los resortes y amortiguamientos del subsuelo, también considerando las características de la cimentación y la frecuencia de la excitación.

Movimientos horizontales y de cabeceo. Ecuación 10, 11

$$Kx^0 = \frac{8\,G\,Rx}{2-v}\left(1+\frac{Rx}{2Hs}\right)\left(1+\frac{2\,D}{3\,Rx}\right)\left(1+\frac{5\,D}{4\,Hs}\right) \quad (10)$$

$$Kr^0 = \frac{8\,G\,Rr^3}{3(1-v)}\left(1+\frac{Rr}{6\,Hs}\right)\left(1+\frac{2\,D}{Rr}\right)\left(1+0{,}71\frac{D}{Hs}\right) \quad (11)$$

**Rigideces y amortiguamientos de la cimentación**

Las rigideces y amortiguamientos de la cimentación se obtendrán considerando círculos equivalentes a la superficie de desplante, cuyos radios para los modos de traslación y rotación están dados respectivamente por las siguientes expresiones. Ecuación 12, 13.

$$Rx = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (12)$$

$$Rr = 4\sqrt{\frac{4\,I}{\pi}} \quad (13)$$

Donde:

A área de la superficie neta de cimentación. Ecuación 14.

I momento de inercia de dicha superficie con respecto a su eje centroidal de rotación, perpendicular a la dirección en que se analiza la estructura. Ecuación 15.

$$A = \pi r^2 \quad (14)$$

$$I = \frac{B\,L^3}{12} \quad (15)$$

Donde:

r radio de la cimentación
B ancho de la cimentación
L largo de la cimentación

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Característica estratigráfica del área investigada**

Los cuatro reservorios estudiados se encuentran ubicados sobre depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea.

Relleno de material granular, color carmelita amarillento, con fragmentos de hasta 40 cm. color carmelita, semicompacto. Su espesor promedio es de 1,0 m.

Capa 1: Arcilla arenosa, con algunas gravas pequeñas, color que varía de carmelita a gris azuloso; muy húmeda, plasticidad de media-alta, de consistencia blanda. A medida que aumenta en profundidad alcanza mayor dureza, debido a la presencia de algunas gravas. El espesor puede llegar hasta los 8,20 m.

Capa 2: Arena arcillosa, con gravas pequeñas y algunos fragmentos de roca volcánica, color de carmelita a gris oscuro, húmeda; en estado semi compacto a compacto, el tamaño de las gravas oscila entre 1" y 1 ½". Su espesor promedio es de 4,15 m.

Capa 3: Conglomerado, compuesto por gravas, arena y arcilla, color carmelita y tonalidades azulosas, en estado compacto, húmeda, presentándose como componente principal las gravas, en otras la arena.

En la tabla 2 se describen algunas características físico-mecánicas del suelo en el área de ubicación del reservorio.

Tabla 2. Características físico-mecánicas del suelo en el sitio de ubicación del reservorio.

| Propiedades Físico-Mecánicas de los suelos | UM | Capa 1 |
|---|---|---|
| Humedad natural (**ω**) | % | 32 |
| Peso específico de los sólidos (**$G_s$**) | Adim. | 2,69 |
| Peso específico húmedo ($\gamma_f$) | kN/m$^3$ | 18,25 |
| Peso específico seco ($\gamma_d$) | kN/m$^3$ | 14,21 |
| Índice de Poro (**e**) | Adim. | 0,88 |
| Saturación (**S**) | % | 95 |
| Límite líquido (**LL**) | % | 49,8 |
| Límite plástico (**LP**) | % | 26,7 |
| Índice de plasticidad (**IP**) | % | 23,2 |
| Número de Golpes ($N_{SPT}$) | Golpes | 6 |
| Ángulo de fricción Interna (ϕ) | º | 25 |

| | | |
|---|---|---|
| Poisson (**ν**) | - | 0,25 |
| Granulometría | | |
| Grava | % | 5 |
| Arena | % | 42 |
| Limo y Arcilla | % | 53 |

**Investigaciones geofísicas**

A partir de los trabajos geofísicos realizados, se pudo obtener las velocidades de ondas de corte promedio en el área, las que corresponden a valores de entre los 245 m/s y los 716 m/s. Además, se pudo determinar la profundidad de desplante de la cimentación de cada tanque, siendo de 2,50 m.

En el sitio se desarrollaron siete perfiles de tomografía sísmica de 33,00 m (figura 2) y dieciséis perfiles de georradar de 10,00 m cada uno (figura 3).

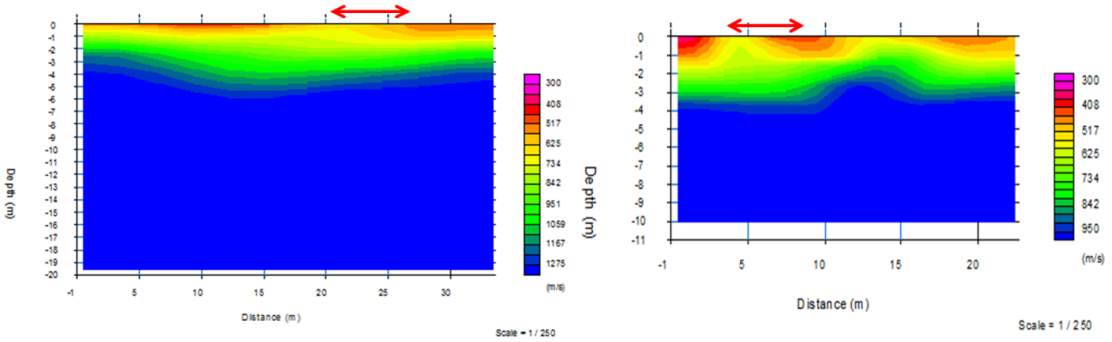



Figura 2: Tomografía sísmica de las líneas 1 y 2. (Empresa Refinadora de Aceite)

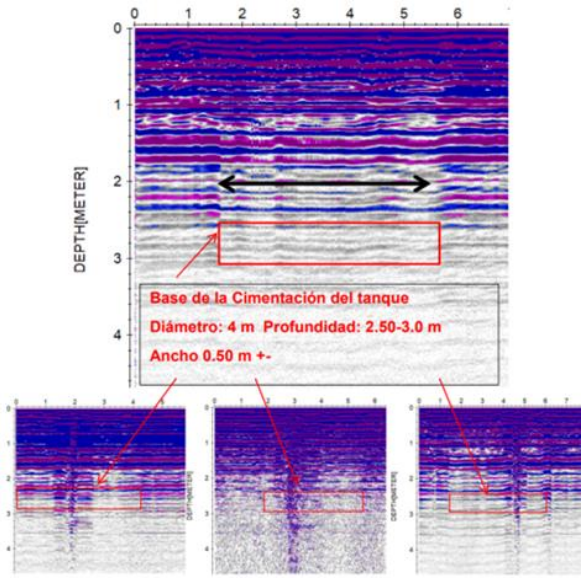



Figura 3: Muestra de los radargramas realizados

Estos radargramas presentan una serie de reflejos que indican dos diferentes capas estratigráficas en el subsuelo. Las variaciones en la amplitud y el tiempo de llegada de las ondas reflejadas proporcionan

información sobre la naturaleza y la densidad de los materiales presentes que fueron identificados como relleno en la capa superior de aproximadamente 0,80 m de espesor y las arcillas presentes en el intervalo de 0,80 m hasta la profundidad investigada. (Figura 4).

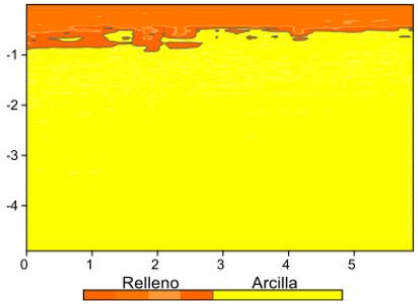



Figura 4: Capas litológicas según radargrama.

En la tabla 3 se muestran los valores de los diferentes módulos dinámicos, determinados a partir de las velocidades de ondas primarias y secundarias, se confirma el perfil de suelo tipo C.

Tabla 3. Módulos dinámicos.

| Denominación del Perfil | Profund. (m) | Velocidad Vp (m/seg) | Velocidad Vs (m/seg) | Poisson (μ) | Módulo de Rigidez G Kg/cm² | Módulo de Young E Kg/cm² | Módulo de Bulk K Kg/cm² | Resistencia a la Compresión qu Kg/cm² | Clasificación perfil de suelo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perfil 1 | 0,00-1,20 | 420 | 258 | 0,20 | 1198 | 2867 | 1577 | 8 | C |
| | 1,20-4,00 | 900 | 520 | 0,25 | 5797 | 14487 | 9637 | 42 | |
| | 4,00-11,90 | 1290 | 690 | 0,30 | 10956 | 28476 | 23685 | 81 | |
| Perfil 2 | 0,00-1,40 | 410 | 251 | 0,20 | 1126 | 2703 | 1503 | 8 | C |
| | 1,40-3,00 | 700 | 405 | 0,25 | 3304 | 8249 | 5464 | 24 | |
| | 3,00-5,50 | 998 | 534 | 0,30 | 6155 | 15995 | 13291 | 46 | |
| Perfil 3 | 0,00-0,90 | 450 | 276 | 0,20 | 1394 | 3341 | 1847 | 10 | C |
| | 0,90-2,00 | 700 | 405 | 0,25 | 3304 | 8249 | 5464 | 24 | |
| | 2,00-10,90 | 1038 | 555 | 0,30 | 6713 | 17450 | 14530 | 50 | |
| Perfil 4 | 0,00-0,50 | 400 | 245 | 0,20 | 1066 | 2559 | 1420 | 8 | C |
| | 0,50-2,50 | 660 | 382 | 0,25 | 2896 | 7230 | 4784 | 21 | |
| | 2,50-7,50 | 998 | 534 | 0,30 | 6155 | 15995 | 13291 | 46 | |
| Perfil 5 | 0,00-1,10 | 430 | 264 | 0,20 | 1261 | 3021 | 1664 | 9 | C |
| | 1,10-3,50 | 845 | 488 | 0,25 | 5025 | 12561 | 8367 | 36 | |
| | 3,50-11,20 | 1300 | 695 | 0,30 | 11135 | 28949 | 24112 | 82 | |
| Perfil 6 | 0,00-1,00 | 440 | 270 | 0,20 | 1327 | 3179 | 1754 | 9 | C |
| | 1,00-3,30 | 850 | 491 | 0,25 | 5095 | 12734 | 8476 | 37 | |
| | 3,30-11,90 | 1340 | 716 | 0,30 | 11906 | 30962 | 25828 | 88 | |
| Perfil 7 | 0,00-1,00 | 430 | 264 | 0,20 | 1261 | 3021 | 1664 | 9 | C |
| | 1,00-3,00 | 750 | 434 | 0,25 | 3860 | 9637 | 6381 | 28 | |
| | 3,00-9,00 | 1000 | 535 | 0,30 | 6180 | 16063 | 13352 | 46 | |

**Identificación del perfil de suelo y peligro sísmico**

El área objeto de estudio se encuentra muy cercana a la principal zona sismo generadora del país (Bartlett – Caymán), aproximadamente a unos 12,00 km de la misma, siendo esta capaz de generar sismos de gran magnitud que ponen en peligro y riesgos las obras de ingeniería existentes.

Para la puntualización del peligro sísmico del área de estudio se utilizó el mapa de peligrosidad sísmica de la norma cubana [2], principal herramienta para la mitigación del peligro y el riesgo sísmico en Cuba.

Como se observa en la figura 5 y en la tabla 4, el área estudiada se ubica en el municipio y provincia Santiago de Cuba, (zona sísmica 5), donde se esperan valores de aceleración máxima del terreno de 0,513 g (503,25 cm/s2).

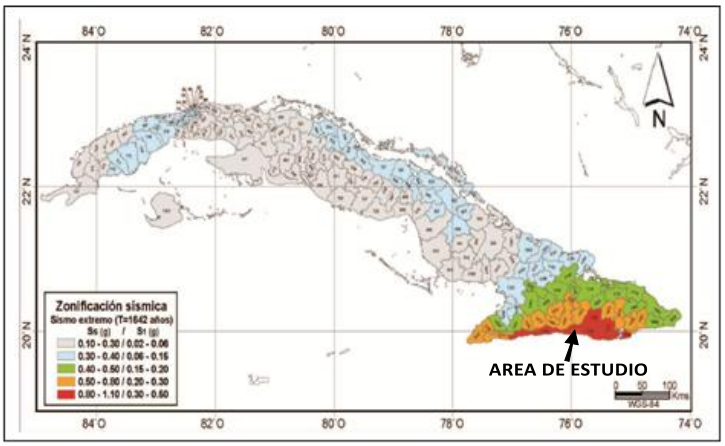



Figura 5. Ubicación del área de estudio dentro de la zonificación sísmica para la República de Cuba. (Modificado de [2]).

Tabla 4. Peligro sísmico en el municipio Santiago de Cuba, provincia Santiago de Cuba. (Tomado de [2]).

| No. | Provincia | Municipio | Código Municipio | S0 (g) | Ss (g) | S1 (g) | TL (s) | Zona |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 155 | Santiago de Cuba | Santiago de Cuba | 1306 | 0,513 | 1,035 | 0,428 | 6,00 | 5 |

Los valores de aceleración espectral S(0,5%) a esperar para diferentes niveles de peligro (Sismo extremo, severo, ordinario y mínimo), en el municipio Santiago de Cuba son los que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de aceleración S(0,5%) a esperar para diferentes niveles de peligro en el municipio Santiago de Cuba.

| Nivel de Peligro | TR (años) | S (0,5%) |
|---|---|---|
| Sismo extremo | 1462 | 0,513 g |
| Sismo severo | 808 | 0,410 g |
| Sismo ordinario | 475 | 0,338 g |
| Sismo mínimo | 225 | 0,256 g |

Estos valores de aceleración definidos anteriormente, son para un perfil de suelo tipo B, los mismos varían en dependencia del perfil de suelo, las condiciones tectónicas (tipos de fallas) y a las condiciones ingeniero geológicas y geotécnicas del área estudiada.

Según la caracterización geotécnica, el área de estudio clasifica como perfil de tipo de suelo C, mientras que el tipo de fuente sísmica es A, siendo la falla Oriente, la que se encuentra a 12,00 km aproximadamente, con lo que según la [2], en sus tablas 6 y 7, se definieron los factores modificadores (Na) y (Nv) del sitio.

Aplicando la propia [2]NC 46: 2017, se determinó la Aceleración máxima del suelo (AMS) siendo de 0,414 g (406,13 cm/s2) para perfil de suelo tipo C.

El espectro de diseño de respuesta sísmica y su gráfico para el área estudiada se muestran a continuación (tabla 6 y figura 6, respectivamente).

Tabla 6. Espectro de diseño de respuesta sísmica para perfil de suelo C.

| | Puntos | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Eje X. Periodo en segundos (T) | 0,000 | 0,120 | 0,601 | 1,000 | 3,300 | 6,000 | 12,000 |
| Eje Y. Aceleración espectral Sa (g) | 0,414 | 1,035 | 1,035 | 0,622 | 0,190 | 0,104 | 0,052 |

El espectro de diseño es una herramienta fundamental para el proyecto sismorresistente de cualquier obra de ingeniería, mediante el cual se puede establecer qué tal se comporta el suelo debajo de una estructura.

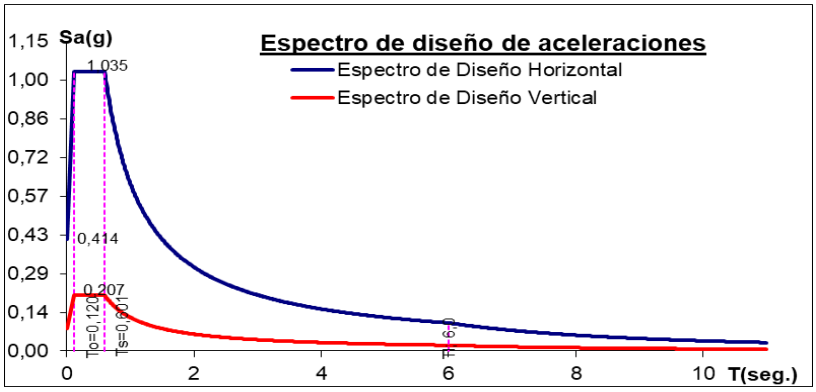



Figura 6. Gráfico del espectro de diseño de respuesta sísmica para tipo de perfil de suelo C.

**Evaluación del posible fenómeno de interacción suelo estructura.**

Las condiciones de la ecuación 1, se cumplen, por esta razón es necesaria la evaluación de la interacción dinámica suelo estructura en los cuatro reservorios.

El Periodo efectivo del sistema acoplado suelo–estructura para los cuatro reservorios se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Periodo efectivo del sistema acoplado suelo–estructura.

| Estructura | $Te$ | We | $He$ | D | Kx | Kr | $Te^2$ | $Tx^2$ | $Tr^2$ | ~ Te |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G-21-100 | 0,55 | 559,47 | 17,17 | 2,50 | 373148,33 | 716764,89 | 0,30 | 0,08 | 0,27 | 0,62 |
| G-24-150 | 0,61 | 797,11 | 19,53 | 2,50 | 373148,33 | 716764,89 | 0,37 | 0,09 | 0,34 | 0,70 |
| G-27-150 | 0,66 | 825,95 | 21,53 | 2,50 | 373148,33 | 716764,89 | 0,44 | 0,09 | 0,36 | 0,76 |
| G-30-200 | 0,71 | 993,31 | 23,83 | 2,50 | 373148,33 | 716764,89 | 0,50 | 0,10 | 0,41 | 0,83 |

**Descripción de resultados**

En todos los caos la interacción dinámica suelo estructura incrementa el periodo de vibración de los tanques güira analizados (figura 7), esto coincide con lo planteado por [9] quien en su investigación denominada ¨Influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de un reservorio elevado tipo Intze de la ciudad de Sechura en el 2018¨ observó que la interacción suelo- estructura prolonga el periodo de vibración de un reservorio elevado tipo Intze de la ciudad de Sechura. Similar resultado arrojó la investigación de [10] que determinó que, existe una relación significativa de la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación.

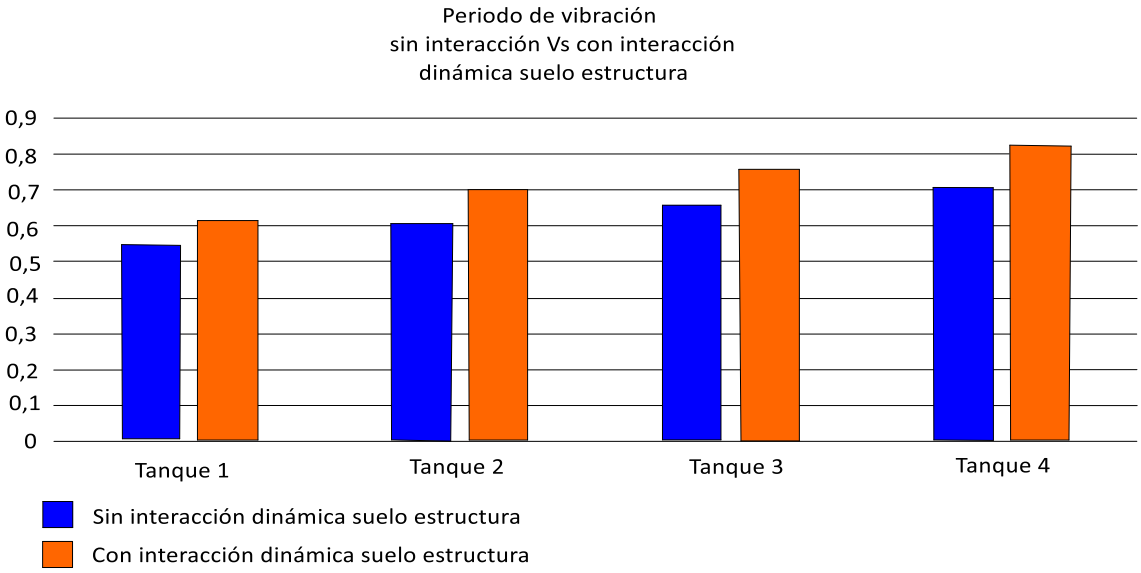



Figura 7. Comparación de los periodos de vibración sin interacción y con interacción dinámica suelo estructura.

**CONCLUSIONES**

La interacción suelo estructura incrementa el periodo natural de vibración de los reservorios evaluados, lo que es de vital importancia para el análisis sísmico de estas estructuras. Generalizar el conocimiento de alcanzado en esta investigación es muy importante para evitar los efectos de resonancia, así como para las posibles acciones de mantenimiento a los reservorios tipo güira.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer por su colaboración y apoyo para lograr los resultados de este trabajo a: Yoniel Torres Cabrera, Noelia Sierra Cuza, Sandra Rosabal Domínguez, Juan Inocencio Medina Hechavarría, Luis Manuel Ruiz Calunga, Samuel Rodríguez Suárez y Orlando Ramón Carraz Hernández.

**REFERENCIAS**

1. NC. Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas- Parte 8: Requisitos de estructuras. NC 775-8 2010. Oficina nacional de normalización 2010.
2. NC. Construcciones sismorresistentes-Requisitos básicos para el diseño y construcción. NC 46: 2017. Oficina nacional de normalización 2017.
3. WOLF, *John. Faundation vibration analysis using simple physical models.* ISBN 0-13-010711-51.
4. ARTETA, Yussy. "Interacción dinámica suelo-estructura en la ciudad de Armenia". Tesis Magister en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2000.
5. TODOROVSKA, María. "*Full-scale Experimental Studies af Soil-Structure Interaction*". Indian Society of Earthquake Technology Journal 39: 3, 2002.
6. PÉREZ-ROCHA, Luis Eduardo; AVILÉS, Javier. "Evaluación de efectos de interacción en resistencias inelásticas". Revista de ingeniería sísmica No 69 45-71, 2007, México, D.F.
7. SORIANO, Almudena. "Interacción suelo- estructura. Modificación del movimiento". Física de la tierra, 1989. ISSN 0214-4557. No. 1, 1989.
8. STEVEN, Kramer. *Geotechical Earthquaek Engineering*. Pearson, 1996. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
9. LOSANO, E. " Influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de un reservorio elevado tipo Intze de la ciudad de Sechura en el 2018". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero Civil. Universidad Cesar Vallejo, 2018.
10. SUAREZ, Keny Wilson. "Influencia de la interacción suelo estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero Civil. Huancayo, Perú, 2022.

**sobre los autores**

Joendris Manual Castellanos: Licenciado en Contabilidad y Finanzas, Técnico medio en Geodesia y Topografía, Doctorante en el programa de Doctorado ¨Construcción e hidráulica en zonas sísmicas¨ en la Universidad de Oriente. Especialista Integral en Investigación, Innovación y Desarrollo para Estudios Ingeniero Geológicos en la Empresa GEOCUBA Oriente Sur.

Francisco Calderín Mestre: Ingeniería Civil, Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular del Departamento Ingeniería Civil en la Universidad de Oriente. Es miembro fundador de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC). Es miembro del claustro de las Maestrías: Hábitat y medio ambiente en zonas sísmicas e Ingeniería Civil en zonas sísmicas de la Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente y de Ciencias de la construcción de la Universidad Popular de Nicaragua (UPONIC).

Darío Candebat Sánchez: Ingeniero Civil, Máster en Dirección, Doctor en Ciencias Técnicas. Investigador titular del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y profesor titular de la Universidad de Oriente. Coordinador Nacional de estudios de Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmicos de Cuba y miembro de varias asociaciones y comités técnicos. Miembro del claustro de las Maestrías: Ingeniería Civil en Zonas sísmicas y Hábitat y Medio ambiente en zonas sísmicas, Profesor Maestría Internacional de Estructuras. Universidad “Tomás Frías”. Potosí. Bolivia, miembro del Comité Académico del Doctorado: Construcciones e Hidráulica en zonas sísmicas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# USO DE WAVELETS PARA IDENTIFICAR FRECUENCIAS DOMINANTES EN REGISTROS SÍSMICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

**Francisco A. Flores[1], Joel de la Rosa[2]**

[1,2]IGM Ingenieros Geotecnistas Mexicanos, CDMX, México
[1]e-mail: alonso.fafl@igmmexico.com
[2]e-mail: jdelarosa.igm@gmail.com

**RESUMEN**

El análisis de acelerogramas requiere de diferentes técnicas que permitan obtener la mayor cantidad de información posible. La información contenida en los acelerogramas presenta mayor relevancia al tomar en cuenta que los espectros de diseño sísmico de algunos códigos reglamentarios son función principalmente del periodo del suelo y que puede obtenerse de los registros sísmicos de las estaciones localizadas en distintos geomateriales. El análisis tiempo-frecuencia es de gran interés cuando la señal es no estacionaria o con varias fases transitorias. En este trabajo se presenta un procedimiento tiempo-frecuencia basado en la transformada Wavelet para identificar las frecuencias predominantes de un depósito de suelo a través de la interpretación de registros sísmicos. Tal procedimiento se centra en el método simple propuesto por Todorovska para estimar frecuencias instantáneas de señales mediante el uso de la Transformada Wavelet Continua. El procedimiento se complementa con el uso de la reasignación y sincronización de la transformada Wavelet propuesto por Daubechies que permite concentrar la energía de la señal para una mejor interpretación de las frecuencias a lo largo del tiempo. El procedimiento se ejemplifica mediante la determinación de frecuencias y periodos dominantes del suelo para registros sísmicos correspondiente al sismo del 17 de septiembre de 2017.

**PALABRAS CLAVES:** registros sísmicos; frecuencias; wavelet: reasignación, sincronización.

**USE OF WAVELETS TO IDENTIFY DOMINANT FREQUENCIES IN SEISMIC RECORDS OF MEXICO CITY**

**ABSTRACT**

The interpretation of accelerograms requires different techniques that allow obtaining as much information as possible. The information contained in the accelerograms is particularly relevant considering that the seismic design spectra of some regulatory codes are mainly a function of the soil period and that it can be obtained from seismic records of stations located in different geomaterials. Time-frequency analysis is of great interest when the signal is non-stationary or has multiple transient phases. In this work, a time-frequency procedure based on the Wavelet transform is presented to identify the predominant frequencies of a soil deposit through the interpretation of seismic records. This procedure focuses on the simple method proposed by Todorovska to estimate instantaneous signal frequencies using the Continuous Wavelet Transform. The procedure is complemented by use of Wavelet reassignment and synchronization proposed by Daubechies, which allows to concentrate the signal's energy for better frequency interpretation over time. The procedure is exemplified by determining the frequencies and dominant periods of the soil for seismic records corresponding to the earthquake of September 17, 2017.

**KEY WORDS:** Spectral matching; seismic records; synthetics; wavelets.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México, CDMX, cuenta con una red acelerográfica muy extensa denominada Red Acelerográfica de la Ciudad de México, RACM, administrada por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, CIRES, la cual difunde los acelerogramas sísmicos con el objeto de promover actividades de investigación relacionadas con los factores de diseño y riesgo sísmico. El análisis de estos

acelerogramas requiere de diferentes técnicas que permitan obtener la mayor cantidad de información posible. La información contenida en los acelerogramas presenta mayor relevancia al tomar en cuenta que los espectros de diseño sísmico de la Ciudad de México contenidos en las Normas Técnicas Complementarias [1] son función principalmente del periodo del suelo y que puede obtenerse de los registros sísmicos de las estaciones localizadas en distintos geomateriales. El conocimiento de estos periodos ayuda a la generación de mapas de iso-periodos [2]. Ahora bien, en el Valle de México el cambio en los espesores de suelo compresible va generando una evolución en los periodos del suelo. El cambio del periodo del suelo en la CDMX ha sido estudiado por varios investigadores y existen varias propuestas para tomar en cuenta este cambio en los espectros de diseño (e.g. [3], [4], entre otros).

Las frecuencias dominantes presentes en un registro sísmico en superficie libre corresponden a las frecuencias del depósito de suelo y a las de la señal original que actúan en la roca y que no logran filtrarse debido a las características dinámicas del depósito de suelo. El análisis tiempo-frecuencia es de gran interés cuando la señal es no estacionaria o con varias fases transitorias. En esos casos las descripciones en el dominio del tiempo o de la frecuencia de una señal por sí solas no pueden proporcionar información completa que permita extraer sus características y su clasificación. El dominio del tiempo carece de la descripción de frecuencias de las señales y la transformada de Fourier de la señal no puede representar cómo cambia el contenido de frecuencias con el tiempo [5]. En este trabajo se presenta un procedimiento tiempo-frecuencia basado en la transformada Wavelet para identificar las frecuencias predominantes de un depósito de suelo a través de la interpretación de registros sísmicos. Tal procedimiento se centra en el método simple propuesto por [6] para estimar frecuencias instantáneas de señales mediante el uso de la Transformada Wavelet Continua. El procedimiento se complementa con el uso de la reasignación y sincronización de la transformada Wavelet propuesto por [7] que permite concentrar la energía de la señal para una mejor interpretación de las frecuencias en la señal a lo largo del tiempo.

## 2. ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA INSTANTÁNEA EN SEÑALES MEDIANTE EL USO DE LA TRANSFORMADA WAVELET CONTINUA

Todorovska [6] realizó una revisión de métodos y algoritmos para estimar la frecuencia instantánea de una señal basado en la Transformada Wavelet Continua, CWT. Los métodos revisados incluyen el método de la Transformada Hilbert, el método “Marseille” que usa la fase de la CWT, el método “Carmona” que emplea la amplitud de la CWT y el método “Simple” que emplea igualmente la amplitud de la CWT. Todorovska concluye que el método Carmona y el método Simple dan resultados similares, sin embargo, el primero requiere un mayor esfuerzo computacional, por lo que se eligió el segundo método en este trabajo. A continuación, se hace la descripción únicamente del método “simple”.

### Transformada Wavelet Continua

Una wavelet es una función (real o compleja) con una media igual a cero, localizada tanto en el tiempo como en la frecuencia, es decir, la función es diferente de cero solo cerca de un tiempo $t = t_0$ y su transformada de Fourir es diferente de cero únicamente cerca de una frecuencia $\omega = \omega_0$ [6]. Flores y Ayes [8] emplearon una metodología basada en Wavelet para generar acelerogramas sintéticos con un enfoque práctico en aplicaciones geotécnico-estructurales. Montejo y Suárez [9] emplearon la Transformada Wavelet Morlet para obtener las frecuencias predominantes de registros sísmicos, el procedimiento se basa en un acercamiento del mapa de coeficientes Wavelet posterior a que disminuye la parte intensa del sismo. A continuación, se indican algunos puntos principales de la transformada Wavelet.

La Transformada Wavelet Continua (CWT) de una función f(t), que depende de un tiempo t dado, se define como el producto interno entre dicha función y la familia de wavelet, $\psi$, que produce los coeficientes wavelet C [10]. La expresión (1) muestra la CWT de una función:

$$C(\lambda,\tau) = \langle \psi_{\lambda,\tau} | f \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\, \psi^{*}_{\lambda\tau\lambda,\tau}(t)dt \qquad (1)$$

Donde, $\psi^{*}_{\lambda\tau_{\lambda,\tau}}(t) \equiv \frac{1}{\sqrt{\lambda}}\psi\left(\frac{t-\tau}{\lambda}\right)$ denota la función wavelet, denominada como "wavelet madre", y el símbolo * indica el operador de la conjugada compleja. El parámetro $\lambda$ representa el factor de escala o escala, y este es un número real positivo que controla la dilatación ($\lambda > 1$) y la contracción ($\lambda < 1$) de la función en el tiempo. El parámetro $\tau$ controla la traslación en el tiempo. En la ecuación 1, el término $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$ es un factor que normaliza la amplitud de todas las familias de Wavelet.

**Localización tiempo-frecuencia**

La localización en el tiempo de una Wavelet o de una familia de Wavelet's, es decir, el tiempo central y la propagación alrededor del tiempo central se define mediante la media, $\bar{t}$, y la varianza, $\sigma_t^2$, para la expresión $\psi_{\tau,\lambda}(t)$ de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

$$\bar{t}_{(\tau,\lambda)} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t\left|\psi_{(\tau,\lambda)}(t)\right|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty}\left|\psi_{(\tau,\lambda)}(t)\right|^2 dt} \tag{2}$$

$$\sigma^2_{t\,(\tau,\lambda)} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\left(t-\bar{t}_{(\tau,\lambda)}\right)^2\left|\psi_{(\tau,\lambda)}(t)\right|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty}\left|\psi_{(\tau,\lambda)}(t)\right|^2 dt} \tag{3}$$

De manera similar, la frecuencia central y la propagación alrededor de la frecuencia central están definidos mediante la media, $\bar{\omega}$, y la desviación estándar, $\sigma_\omega$, de la frecuencia circular, ω, en la Transformada de Fourier de la wavelet, $\psi_{\tau,\lambda}(\omega)$.

**Distribución de energía de la Transformada Wavelet en el espacio Tiempo-Frecuencia**

Dado que la transformada Wavelet, $C(\tau,\lambda)$, es esencialmente una proyección de la función *f(t)* sobre la wavelet $\psi_{\tau,\lambda}$ y que es diferente de cero solo en la cercanía del tiempo central de $\psi_{\tau,\lambda}$ y de la frecuencia central de $\hat{\psi}_{\tau,\lambda}$; esto describe las propiedades de la función cerca de estas ubicaciones y por lo tanto es una forma de distribución de energía tiempo-frecuencia de *f(t)*. Las propiedades de localización de la transformada son las de la familia de la wavelet y $C(\tau,\lambda)$ representa las propiedades de la celda:

$$\left(\bar{t}_{(\tau,\lambda)} \pm \sigma_{t,(\tau,\lambda)}\right) \times \left(\bar{\omega}_{(\tau,\lambda)} \pm \sigma_{\omega,(\tau,\lambda)}\right) = \left((t_0+\tau) \pm \lambda\sigma_{t,0}\right) \times \left(\frac{\omega_0}{\lambda} \pm \frac{\sigma_{\omega,0}}{\lambda}\right) \tag{4}$$

en el plano tiempo-fase. La Figura 1 muestra tres casos (zonas): $\lambda = 1$ , $\lambda < 1$ y $\lambda > 1$. Aquí se puede observar que para frecuencias $\omega > \omega_0$ $(\lambda < 1)$ la zona se alarga sobre el eje $\omega$ pero se comprime sobre el eje *t* cuando $\omega < \omega_0$ $(\lambda > 1)$. Esto significa que las componentes de frecuencias bajas están mejor localizadas en el plano de frecuencias que las componentes de frecuencias altas.

**Transformada Wavelet Morlet**

En este trabajo se emplea la Transformada Wavelet Continua Morlet para obtener las frecuencias instantáneas de registros sísmicos. La CWT Morlet en el tiempo se define como:

$$C_M(\lambda,\tau) = |\tau|^{-\frac{1}{2}}\int_{\Delta\infty}^{\infty} f(t)\,\psi\left(\frac{t-\tau}{\lambda}\right)dt \tag{5}$$

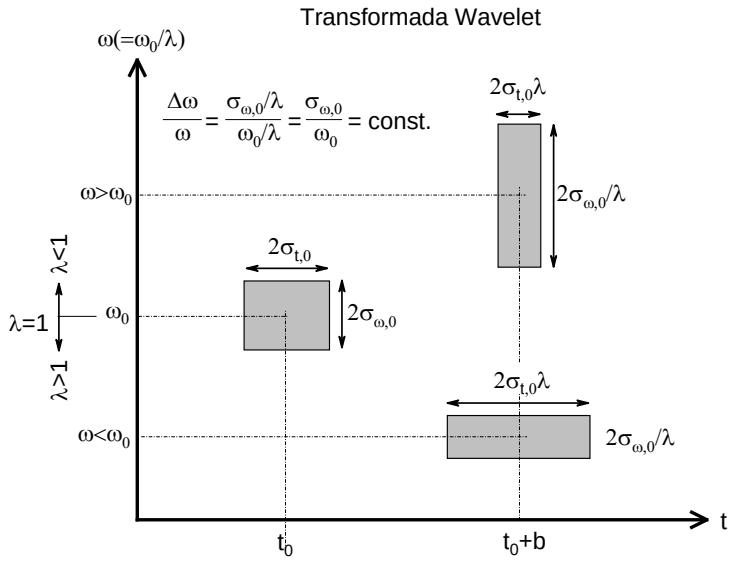



Figura 1. Resolución Tiempo-Frecuencia para la Transformada Wavelet (Modificado de Todorovska, 2004).

En la ecuación 5, $\psi(t)$ es la función Wavelet Morlet $\psi(t) = exp(i\omega_0 t)exp(-t^2/2\sigma^2)$; los parámetros $\lambda, \tau$, ya fueron definidos previamente. Por lo tanto, la Transformada Wavelet Continua Morlet, puede describir la distribución de energía de la señal de tiempo *x(t)* en el dominio conjunto tiempo-frecuencia. La Figura 2 muestra la representación gráfica de la parte real y la parte imaginaria de la transformada Madre Morlet con un ancho de banda de 1.5 y una frecuencia central de 1.5.

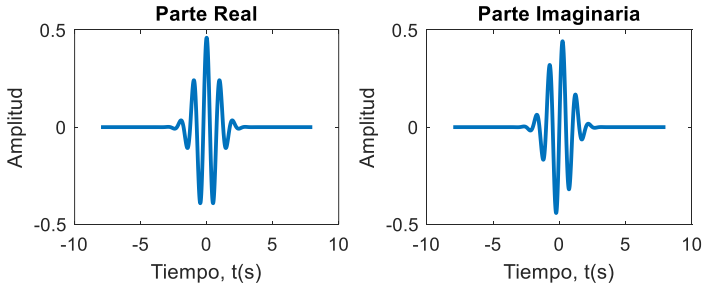



Figura 2. Representación de la Wavelet Madre Morlet.

La frecuencia máxima, $\omega_{max}$, para la Transformada Wavelet Continua se encuentra determinada por la relación de muestreo de la señal y la frecuencia de Nyquist, $\omega_{Nyquist}$, [11]:

$$\omega_{max} < \omega_{Nyquist} = \frac{\pi}{\Delta t} \tag{6}$$

donde $\Delta t$ es el intervalo de muestreo de la señal, esto implica la escala significativa mínima de la Transformada Wavelet es:

$$\lambda_{max} > \frac{\omega_0 \Delta t}{\pi} \tag{7}$$

Ahora, la frecuencia significativa mínima está determinada por la longitud de la ventana, de manera que debe haber contenido al menos un periodo, $T = 2\pi/\omega$, dentro de la ventana wavelet de análisis.

**Estimación de frecuencias instantáneas**

De los procedimientos indicados por [6], el método más directo para determinar la cresta de la Transformada Wavelet Continua (frecuencia instantánea) de una señal desde la amplitud, es encontrando para cada tiempo τ, la escala λ que hace que la amplitud de la transformada sea máxima, este método lo denomino método "Simple". Este método se basa en el conocimiento de que, en un intervalo de tiempo "estrecho" la energía de la señal se concentra cerca de su frecuencia instantánea para ese intervalo de tiempo. Los pasos para implementar este método en un algoritmo son los siguientes: 1) Dividir el dominio $(\lambda_{min}, \lambda_{max}) \times (\tau_{min}, \tau_{max})$ donde los candidatos de la cresta están definidos en una malla discreta de puntos igualmente espaciados, indexados $(i\lambda, i\tau)$, $i\tau = 1,\ldots,n\tau$ y $i\lambda = 1,\ldots,n\lambda$ y se calcula la transformada wavelet de la malla; 2) para cada $i\tau = 1,\ldots,n\tau$ encontrar el índice $i\lambda_r(i\tau)$ donde la transformada $\left|C_M(\tau(i\tau), \lambda(i\lambda))\right|$ es máxima, esto define la cresta; 3)finalizar los ciclos sobre los pasos aleatorios *k*, 4) una vez que se determinan las crestas, se obtienen las frecuencias dominantes instantáneas (FDI) empleando:

$$\omega_M(\tau) = \frac{\omega_0}{\lambda_r(\tau)} \tag{8}$$

**Reasignación y Sincronización**

La representación Tiempo-Frecuencia de una señal es una herramienta de análisis muy potente en el análisis de señales en el tiempo. Pueden dar una idea de la compleja estructura que tiene una señal de "múltiples capas". Los diferentes algoritmos para analizar señales de tipo tiempo-frecuencia pertenecen a métodos "lineales" o métodos "cuadráticos" [12]. La transformada Wavelet pertenece a los métodos lineales. Muchos métodos lineales pueden hacer la reconstrucción de la señal completa o por partes mediante el producto interno de las familias base de Wavelet. Sin embargo, en estos métodos la familia de funciones base empleadas inevitablemente "colorea" la representación y puede influir en la interpretación dada la lectura de la representación Tiempo-Frecuencia para deducir las propiedades de la señal [7]. En muchas aplicaciones prácticas incluyendo el análisis de las frecuencias dominantes de depósitos de suelo en registros sísmicos, uno se enfrenta a señales que tienen varias componentes no-estacionarias que están localizadas en el espacio Tiempo-Frecuencia. De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se emplea el algoritmo de reasignación y sincronización dado por [7] que emplea el esquema de Descomposición Modal Empírico propuesto por [13]. El enfoque propuesto por Daubechies et al. [7] es una combinación de análisis Wavelet y un método de reasignación.

## 3. EJEMPLOS NUMÉRICOS

Los ejemplos tienen la finalidad de mostrar la aplicabilidad de la transformada para obtener la frecuencia predominante instantánea de una señal.

**Señales analizadas**

En la Tabla 1 se muestran las señales analizadas. De la Figura 3 a la Figura 8 se muestra la señal en el tiempo, la representación gráfica Tiempo-Escala denominada "Escalograma" se indica mediante Tiempo-Periodo, la gráfica 3D de los coeficientes Wavelet de la señal, los coeficientes Wavelets máximos *vs* tiempo, los espectros de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, así como las frecuencias y periodos dominantes instantáneos (FDI y PDI). También se muestran las Frecuencias Dominantes Instantáneas en función del tiempo mediante el método de reasignación y sincronización.

La primera señal, S1, corresponde a una suma de funciones periódicas con dos frecuencias fundamentales una frecuencia de 1 Hz y la otra de 3 Hz (periodos de 1 s y 0.33 s. La Figura 3 muestra el escalograma de la señal donde se identifican concentraciones de coeficientes Wavelet alrededor de los periodos de 0.33 s y 1s a lo largo del tiempo de manera más intermitente alrededor de 1s, las concentraciones con mayor intensificación están alrededor de los 5 s. En la gráfica 3D de la misma figura se aprecia en mayor

claridad como los porcentajes de energía se concentran en periodos de 0.33 s y 1s. La variación de los coeficientes wavelet máximos se aprecia en la Figura 4, aquí se observa como en un rango 1.5 s a 8.5 s de la duración de la señal, los coeficientes máximos son constantes, esto muestra nuevamente la fase estacionaria de la señal. Los coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias (espectros de coeficientes máximos *vs* Periodos, Frecuencias) muestran los periodos y las frecuencias dominantes de 0.33 s y 1 s, y 1 Hz y 3 Hz, respectivamente. Para ver la variación de los PDI y FDI se graficaron en función del tiempo en la misma figura y se compararon contra la frecuencia dominante teórica (exacta), en ambos casos, se puede observar cómo se logran capturar las frecuencias dominantes para casi toda la duración de la señal, teniendo nuevamente oscilaciones mayores al principio y la final de la señal. Ahora bien, con la reasignación y sincronización, no se tienen oscilaciones respecto al FDI y se observa claramente la frecuencia de 2Hz, también se observa la frecuencia de 1 Hz pero de una manera mucho más tenue (Figura 5).

Tabla 1: Rango de valores de velocidades angulares y diámetros de poleas.

| ID | Señal | Frecuencias (Hz) | Frecuencias de muestreo (Hz) | Parámetros adicionales |
|---|---|---|---|---|
| S1 | $f(t) = \sin(2\pi \cdot t) + \cos(3 \cdot 2\pi \cdot t)$ | 1 y 3 | 100 | $t_{max} = 10s$ |
| S2 | $w(t) = 0.5\left(1 - cos(2\pi \cdot t)\right)/\left(N\Delta t\right)$<br>$f(t) = w(t)cos(2\pi f_0 t)$ | 1 | 100 | $N = 1000;\ t_{max} = 10s$<br>$\Delta t = 0.01s\ f_0 = 1Hz$ |

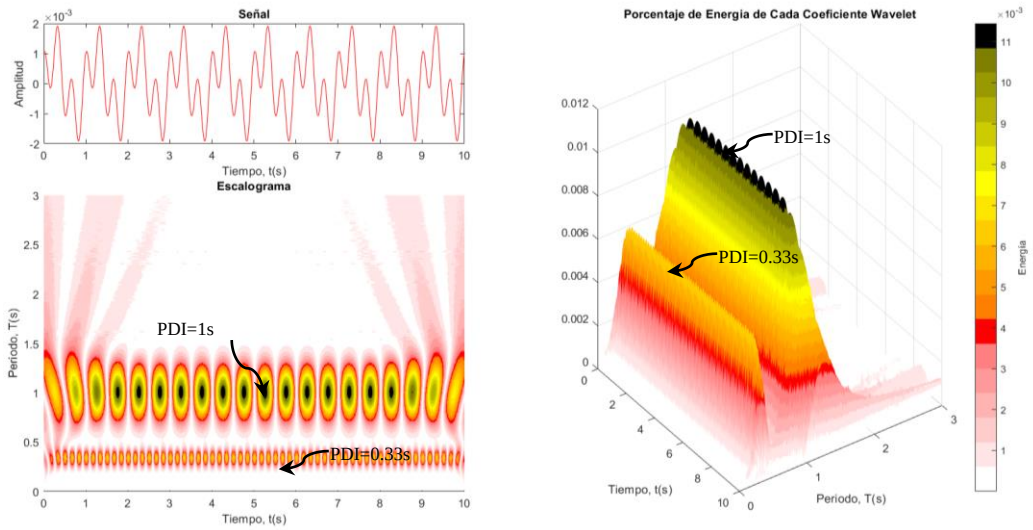



Figura 3. Señal S1, Escalograma y gráfica 3D de los coeficientes Wavelet de la señal

La señal S2, es una función compuesta con una amplitud máxima a los 5 segundos y con una frecuencia fundamental de 1 Hz (periodo de 1s). La Figura 6 muestra el escalograma donde se identifica concentración de coeficientes Wavelet alrededor del periodo de l s a lo largo del tiempo con mayor intensidad entre los 4 s y los 6 s. En la gráfica 3D de la misma figura se aprecia como los porcentajes de energía máximos se concentran en el periodo de 1 s pero en un intervalo de tiempo corto. La variación de los coeficientes wavelet máximos se aprecia en la Figura 7, aquí se observa el incremento de los coeficientes conforme transcurre el tiempo y se acercan a 5 s y posteriormente vuelven a decrecer. Los coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias muestran los periodos y las frecuencias dominantes de 1 s y 1 Hz, respectivamente. La variación de los PDI y FDI se graficaron en función del tiempo en la misma figura y se compararon contra la frecuencia dominante teórica (exacta), en ambos casos, se puede observar que se logran capturar las frecuencias dominantes, pero con una mayor variación en torno a los PDI y FDI exactos. Con relación a la reasignación y sincronización (Figura 8), se muestra una franja de tonalidades entorno al FDI de 1Hz, se logra distinguir el valor, pero de una manera menos clara que en los ejemplos anteriores. La gráfica de escalas-tiempo de la Figura 8 muestra la descomposición de la señal en los coeficientes Wavelet, en esta descomposición de las escalas se observa muy claramente la forma transitoria de la señal.

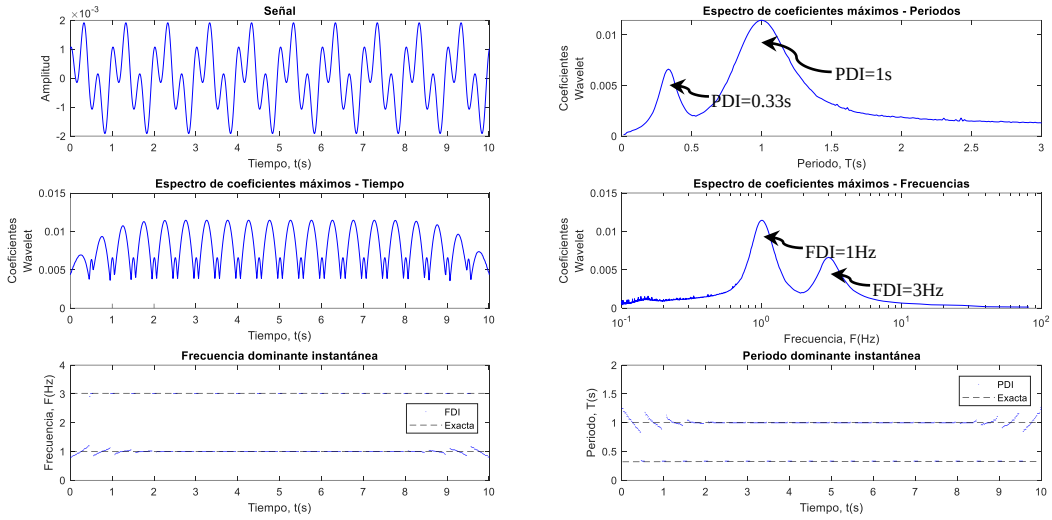



Figura 4. Señal S1, Coeficientes Wavelets Máximos *vs* tiempo, espectro de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, frecuencias y periodos dominantes instantáneos (FDI y PDI) en función del tiempo

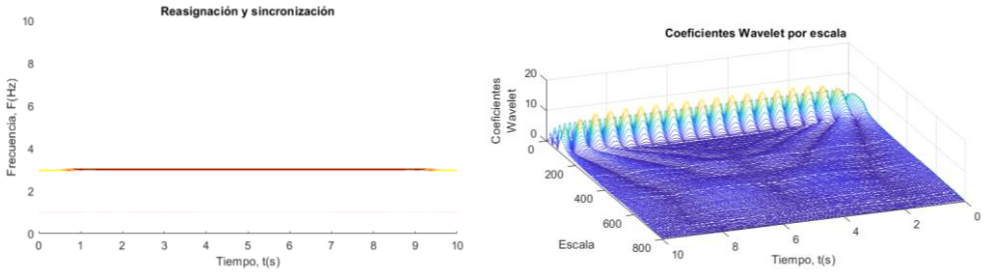



Figura 5. Señal S1, Frecuencias dominantes instantáneas mediante reasignación y sincronización, y Coeficientes Wavelet por escala

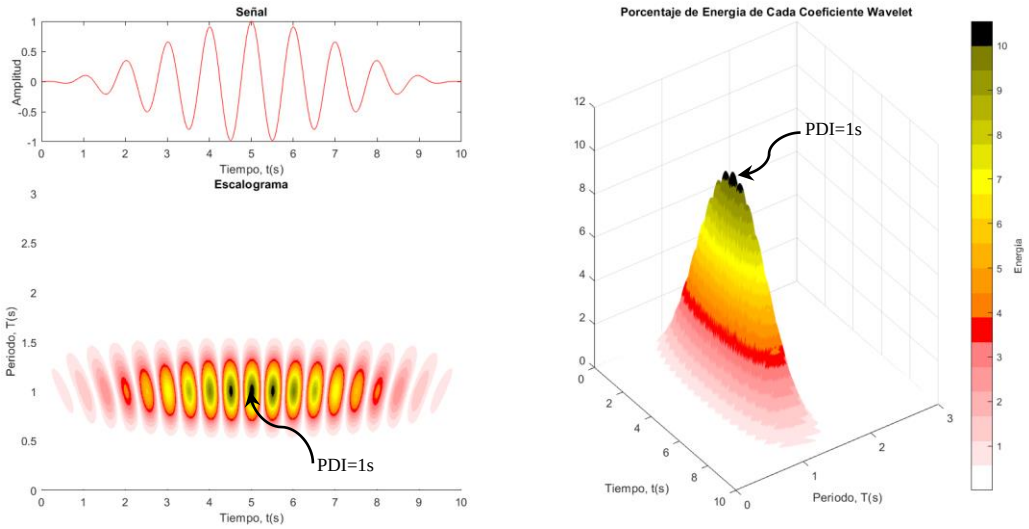



Figura 6. Señal S2, Escalograma y gráfica 3D de los coeficientes Wavelet de la señal

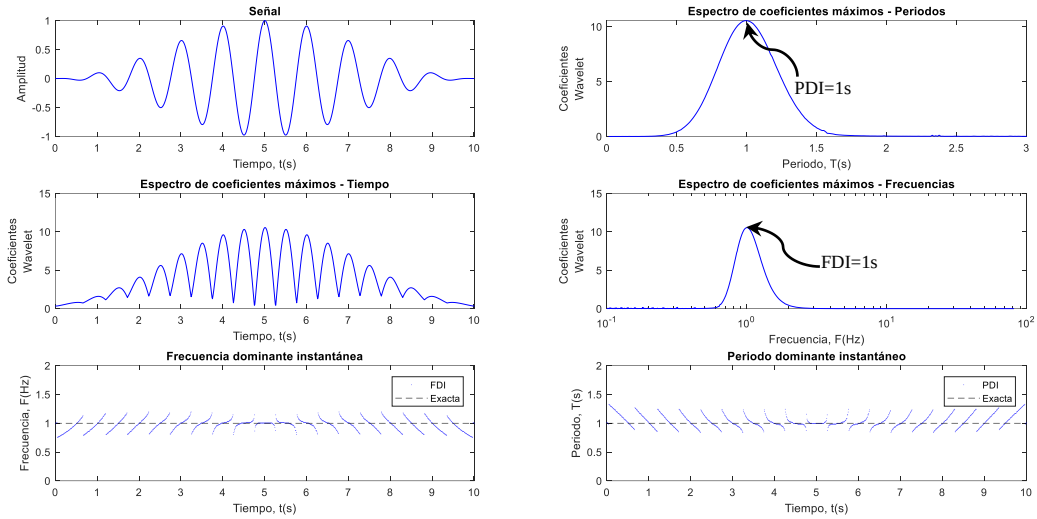



Figura 7. Señal S2. Coeficientes Wavelets Máximos *vs* tiempo, espectro de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, frecuencias y periodos dominantes instantáneos (FDI y PDI) en función del tiempo

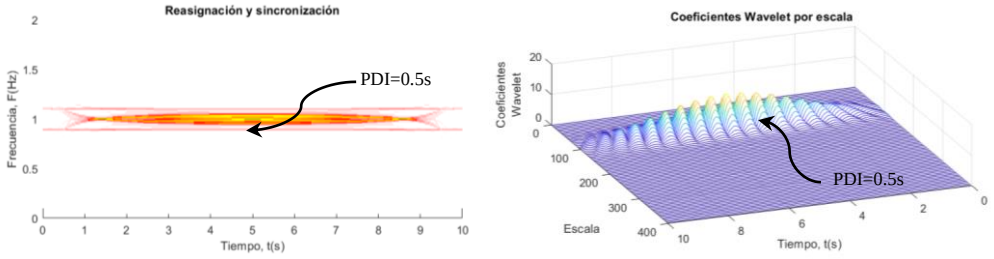



Figura 8. Señal S2. Frecuencias dominantes instantáneas mediante reasignación y sincronización, y Coeficientes Wavelet por escala.

## 4. IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DOMINANTES EN REGISTROS SÍSMICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En la Ciudad de México existe una amplia red de estaciones sismológicas incluyendo la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM) a cargo del Centro de Instrumentación y registro Sísmico (CIRES). Para este estudio se emplearon los registros sísmicos de estaciones sismológicas de la base de datos del CIRES, la mayoría de las estaciones sismológicas se concentran en la zona centro-norte de la CDMX. Los registros empleados para obtener los periodos del suelo corresponden al sismo del 19 de septiembre de 2017. El Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un sismo con magnitud $M_w$ de 7.1 localizado entre los estados Puebla y Morelos, a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México [14]. Efectos de resonancia de los depósitos de suelo blando asociados a los periodos del sismo, el suelo y las estructuras, así como daños en estructuras causados por este sismo se pueden consultar en [15]. La variación en las amplificaciones de las ordenadas espectrales en distintas zonas de la CDMX se tuvo en un rango de periodos que va de 0.36 s hasta 4.42 s, teniendo una aceleración espectral máxima de 1548 cm/s$^2$ en la estación CH84 para un periodo de 1.4s.

### Periodos y frecuencias dominantes instantáneos de los registros sísmicos

En esta sección se muestran los resultados de aplicar la metodología presentada en el capítulo anterior a los registros sísmicos de la CDMX mediante la Transformada Wavelet. Como ya se indicó, el objetivo de presentar el análisis de las señales es poner de manifiesto que la interpretación de los FDI y PDI requieren

de la interpretación de todas las gráficas que muestran su variación (i.e. tiempo-amplitud, tiempo-periodo, escalograma, coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, la reasignación y sincronización, así como la descomposición de la señal en escalas con el tiempo). Se estudiaron todas las estaciones (58 estaciones) que tiene el CIRES en la CDMX, sin embargo, por cuestiones de espacio, se presentan únicamente las gráficas de diez (10) estaciones que cubren la variación de materiales en la CDMX (ver Figura 9).

Las Figuras 10 a 14 muestran los escalogramas que identifican la concentración de coeficientes Wavelet que varían conforme avanza el tiempo y las gráficas 3D de los coeficientes Waveles de los registros sísmicos para ambas componentes horizontales. En la gráfica 3D de las mismas figuras se aprecia la variación de los porcentajes de energía máximos con las concentraciones de energías en las relaciones tiempo-periodo indicados anteriormente. En ambas gráficas, se observa marcadamente los máximos coeficientes, sin embargo, al inicio y al final de la señal no se logran observar los periodos dominantes. La variación de los coeficientes wavelet máximos se aprecia en las Figuras 11, 13 y 14. Los coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias muestran picos importantes, se logra observar la variación de los PDI y FDI. Las gráficas de escalas-tiempo de estas Figuras muestran la descomposición de la señal en los coeficientes Wavelet, en esta descomposición de las escalas se observa cuales escalas son las que predominan en la señal.

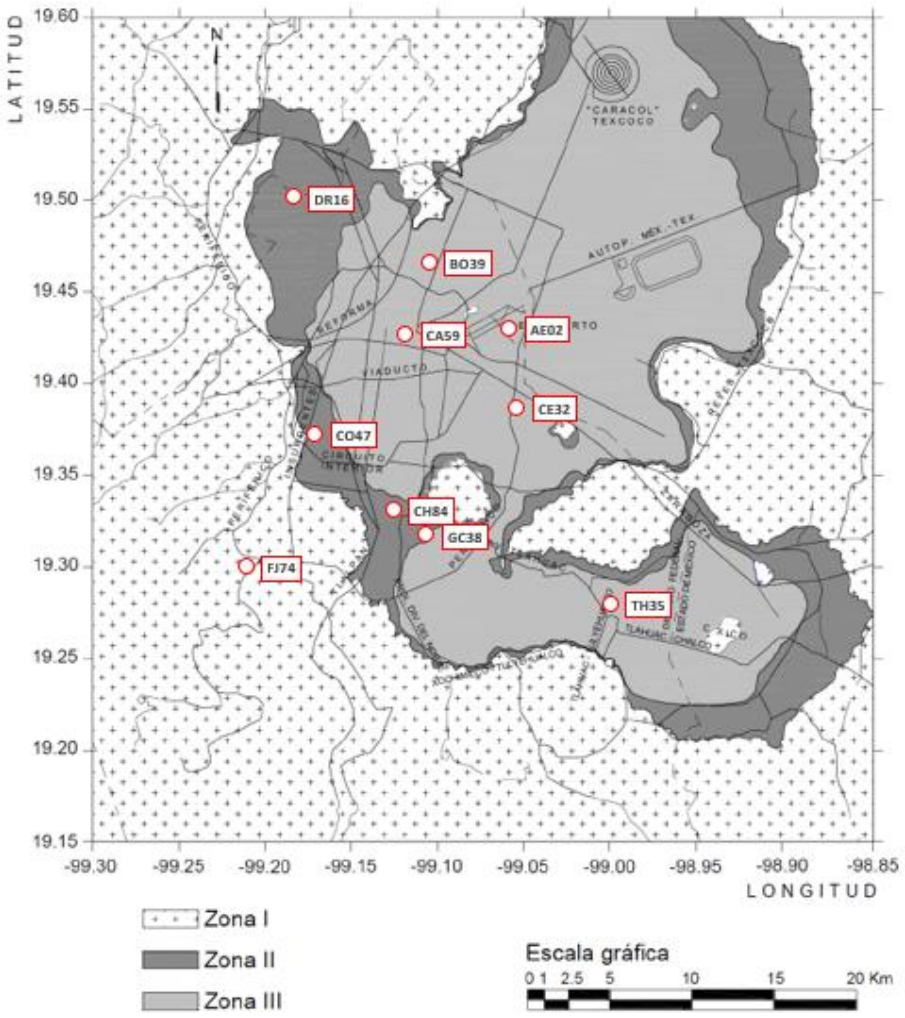



Figura 9. Estaciones sismológicas donde se muestran los análisis mediante la transforma Wavelet en este estudio.

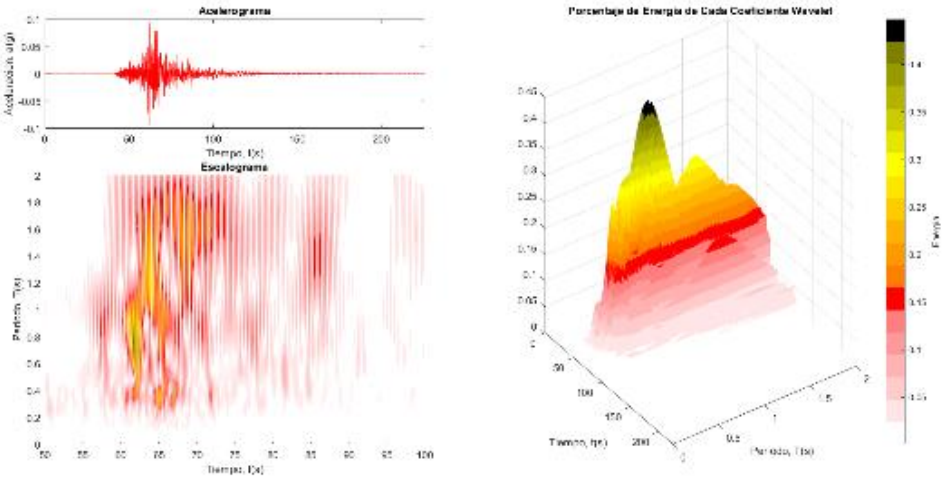



Figura 10. Registro FJ74_C1. Escalograma y gráfica 3D de los coeficientes Wavelet de la señal.

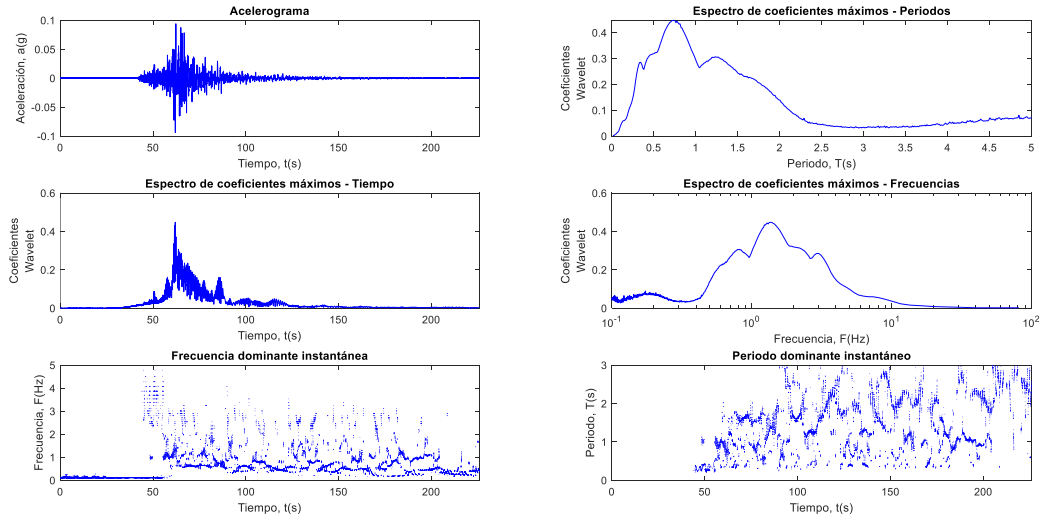



Figura 11. Registro FJ74_C1. Coeficientes Wavelets Máximos vs tiempo, espectro de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, FDI y PDI en función del tiempo.

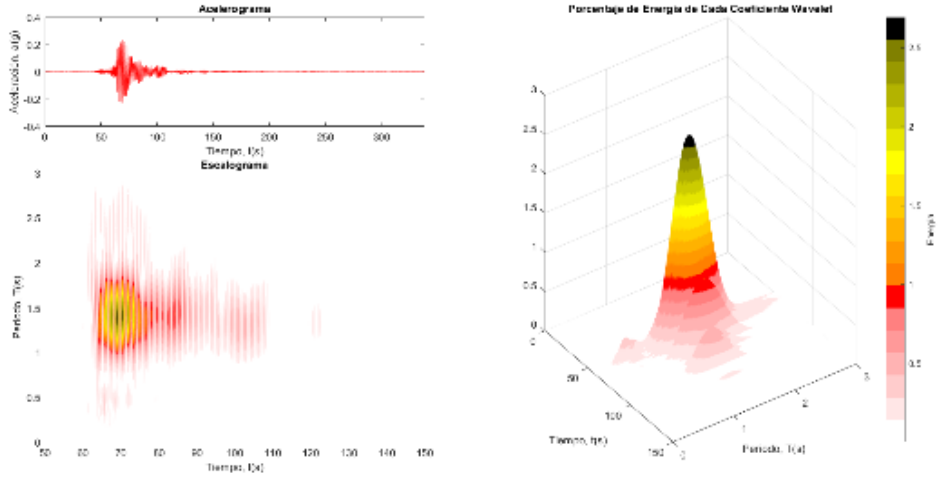



Figura 12. Registro CH84_C3. Escalograma y gráfica 3D de los coeficientes Wavelet de la señal.

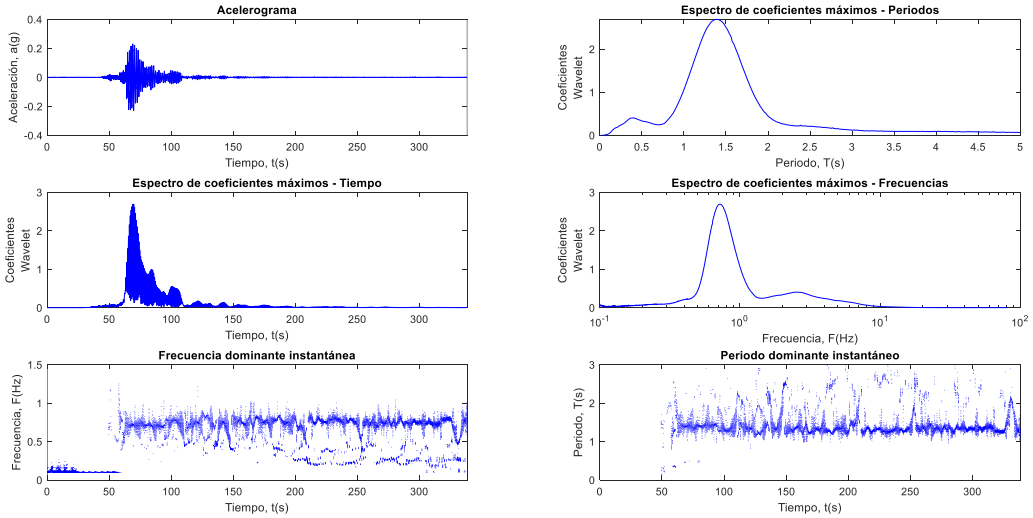



Figura 13. Registro CH84_C3. Coeficientes Wavelets Máximos vs tiempo, espectro de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, FDI y PDI en función del tiempo.

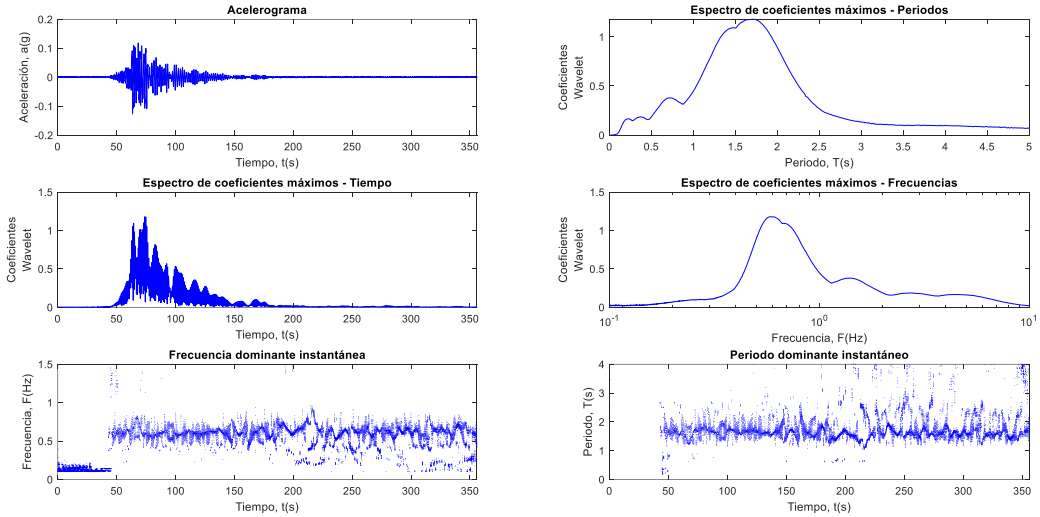



Figura 14. Registro GC38_C3. Coeficientes Wavelets Máximos vs tiempo, espectro de coeficientes máximos en función de los periodos y las frecuencias, FDI y PDI en función del tiempo.

Del análisis de las figuras anteriores se pudieron determinar los valores de FDI y PDI para ambas componentes horizontales. En general se observa una buena similitud con los resultados obtenidos mediante la metodología Wavelet y un análisis mediante la Transformada de Fourier. Se obtuvo un Ts de 1.66s, 0.89s y1.80s usando Wavelet y de 1.67s, 0.99, y 1.85s empleando Fourier para los registros FJ74, CH84 y GC38 respectivamente. Con relación a los 58 registros analizados, la comparativa de las frecuencias y periodos del suelo para los 58 registros analizados mediante Wavelet, análisis de Fourier (FFT) y periodos del suelo obtenidos de los espectros de respuesta, se pudo observar que la mayoría de los puntos cae dentro de un rango de +/- 10% de variación con relación a las dos metodologías indicadas.

## 5. CONCLUSIONES

Del procedimiento tiempo-frecuencia basado en la transformada Wavelet para identificar las frecuencias predominantes de un depósito de suelo a través de la interpretación de registros sísmicos presentado en este trabajo se puede concluir lo siguiente.

El uso de la transforma Wavelet es una alternativa robusta y muy atractiva para la identificación de las frecuencias predominantes en registros sísmicos. El análisis tiempo-frecuencia se ejemplificó mediante

algunos ejemplos numéricos para mostrar la aplicabilidad de la transformada para obtener la frecuencia predominante instantánea de una señal. La aplicación a 58 registros sísmicos tomados en la CDMX mostró su aplicabilidad práctica para identificar y analizar las frecuencias dominantes del depósito de suelo. El uso de la metodología Wavelet para determinar las frecuencias predominantes en los registros sísmicos, permite ver la variación con el tiempo del periodo instantáneo y la identificación de los tiempos del registro donde se presentan, tema importante para ver características no lineales y de posible de degradación de la rigidez del suelo al estar sometido a un evento intenso, que no pueden verse en los análisis de la señal mediante la transformada de Fourier, ni en el espectro de respuesta de aceleraciones. El uso de estas técnicas junto con los análisis de señales tradicionales permite extraer una cantidad mayor de información de los registros sísmicos.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) por compartir los registros sísmicos de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México empleados en esta investigación.

## REFERENCIAS

1. NTC, “Normas técnicas complementarias para el diseño por sismo”. Gaceta Oficial, Departamento del Distrito Federal, 2017.
2. Martínez-González J.A, Lermo J., Vergara-Huerta F. Ramos-Pérez. “Avances en la zonificación sísmica de la Ciudad de México y zona de Chalco, Edo. de Mex., propuesta de nuevo mapa de periodos dominantes para las NTC para diseño por sismo del reglamento del D.F”. Ciudad de México, XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Acapulco, Guerrero, noviembre 2015.
3. Arroyo D., Ordaz M., Ovando-Shelley E., Guasch J., Lermo J., Pérez C., Alcántara L., “Evaluation on the change in dominant periods in the lake-bed zone of Mexico City produced by ground subsidence through the use of site amplification factor”. Soil Dyn Earthquake Eng, 2013; 44:54-66.
4. Martínez-González J.A., Lermo J., Sánchez-Sesma F.J., Angulo-Carrillo J., Valle-Orozco R., Ordoñez-Alfaro J., Pérez-Rocha L.E., “Effects of the subsidence on the changes of dominant periods of soils within Mexico City Valley”. In: 15th World Conference on Earthquake Engineering id.3598; 2012.
5. Sejdíc E., Djurovic I. y Jiang J., “Time-frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances”, Digital Signal Process, Vol. 19, Issue 1, January 2019, Pages 153-183.
6. Todorovska M.I., “Estimation of Instantaneous Frequency of Signals Using the Continuous Wavelet Transform”. 2004 Report CE 01-07, University of Southern California, Department of Civil Engineering, Los Angeles. California.
7. Daubechies, I.; Lu, J.F. and H. T. Wu. Synchrosqueezed wavelet transforms: an empirical mode decomposition-like tool. Appl. Comput. Harmon. Anal. 2011, 30, 243–261.
8. Flores FA y Ayes-Zamudio JC, “Generación de sismos sintéticos para su aplicación en análisis geotécnicos-estructurales”, Revista de Ingeniería Sísmica N°98, 1-24, 2018.
9. Montejo L. y Suárez L., Wavelet-Based identification of site frequencies from earthquake records”, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 4 (2006) 565–594.
10. Bogiatzis, P y M Ishii, “Continuous Wavelet Decomposition Algorithms for Automatic Detection of Compressional and Shear Wave Arrival Times”. Bull Seismol Soc Am, Vol. 105., 1628-1641. 2015.
11. Oppenheim, A.V., and Schafer, R.W. “Discrete time signal processing”, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.
12. Flandrin P., “Time-Frequency/Time-Scale Analysis, Wavelet Analysis and Its Applications”, vol. 10, Academic Press Inc., San Diego, CA, 1999, with a preface by Yves Meyer, translated from French by Joachim Stöckler, 1999.
13. Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C. y Liu H.H., “The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis”, Proc. Roy. Soc. A 454 (1998) 903–995.
14. Servicio Sismológico Nacional. Reporte Especial: Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Reporte Preliminar, 25 de septiembre de 2017, Ciudad de México, México. 2017.
15. Galvis FA., Miranda E., Heresi P., Dávalos H y Ruiz-García J., “Overview of collapsed buildings in Mexico City after the 19 September 2019 (Mw 7.1) earthquake”, Earthquake Spectra, 2020.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MÉTODOS GEOFÍSICOS EN LA CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS EN LUANDA. CASO DE ESTUDIO

**Maria Amélia Pereira De Barros Da Silva [1], Esperança Aldina Gaieta Luango[2]**

[1] Facultad de Ciencias de la Universidad Agostinho Neto, Avenida 4 de Febrero,
[1]e-mail: mdebarrosdasilvamail.com
[2]Facultad de Ciencias de la Universidad Agostinho Neto, estudiante
[2]e-mail: luangoesperanca@hotmail.com

**RESUMEN**

Este trabajo hace un abordaje de los principales métodos geofísicos bajo el punto de vista de sus aplicaciones en proyectos de geotecnia. se discute las limitaciones y las potencialidades de cada uno de los métodos abordados (sísmicos, eléctricos). Después se presenta un estudio de casos que demuestran la eficiencia de los métodos geofísicos y la importancia de la interpretación integrada de estos datos con informaciones directas. Fueron estudiados diversos métodos efectuándose la adquisición, procesamiento e inversión de las ondas superficiales, teniendo como objetivo determinar el perfil de la velocidad de la onda de corte de un determinado local. Los complejos de métodos geofísicos fueron aplicados en dos perfiles de la Escuela Juventud en Lucha que carecían de información geotécnica. Los principales resultados de este trabajo es que se logró una clasificación de los suelos de esta zona de la ciudad de Luanda, se pudo estudiar su granulometría y estimar los parámetros geotécnicos, todo esto utilizando los datos del complejo de métodos geofísicos propuesto y la experiencia en este lugar. Los dos perfiles medidos en la Escuela Juventud en Lucha demostraron que los métodos geofísicos permiten estimar los parámetros geotécnicos sin ninguna información adicional aportada por los métodos tradicionales (perforaciones, ensayos de laboratorios y ensayos geotécnicos)

**PALABRAS CLAVES:** Métodos geofísicos, geotecnia, ondas superficiales, sísmica de refracción.

## GEOPHYSICAL METHODS IN GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF THE SOILS IN LUANDA. CASE STUDY

**ABSTRACT**

This study investigates two main geophysical methods for applications in geotechnical projects. The seismic and electric methods are analyzed based on their limitations and strengths. Case studies are presented that demonstrate the efficiency of the above geophysical methods and the importance of the integrated interpretation of these data with direct information (survey). Several methods of acquiring, processing and analyzing surface-wave inversion were studied, with the aim of determining the profile of the velocity of the shear wave at a given location. The geophysical methods were applied in two profiles at School Juventude em Luta, in Luanda, that lacked geotechnical information. As a result, a classification of the soils of this area of the city of Luanda was obtained, it is possible to analyses its granulometry and estimate the geotechnical parameters, all of these using the data of the proposed geophysical methods. The results obtained from the two profiles measured at Scholl Juventude em Luta demonstrated that geophysical methods allow the estimation of geotechnical parameters without the need of traditional methods such as drilling, laboratory tests and geotechnical tests.

**KEY WORDS:** Geophysical methods, Geotechnics, Surface waves, Seismic refraction

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de los suelos en el dominio de las pequeñas deformaciones actualmente es reconocida no solo en las aplicaciones donde es necesario tener en cuenta las solicitaciones cíclicas, sino también para solicitaciones estáticas.

La Geofísica Aplicada a la Ingeniería Civil busca el empleo de métodos de bajo costo y de mayor rapidez en la ejecución y en los resultados. Sin embargo, el error en la elección de los métodos o la utilización inadecuada de éstos, puede llevar a errores graves en la definición final del modelo del área estudiada. Por eso la elección del método geofísico constituye el primer paso para el éxito o fracaso de una obra como un todo. Es necesario que, en la práctica profesional, geólogos, geofísicos e ingenieros civiles trabajen de forma conjunta y se complementen para conocer mejor la naturaleza de los terrenos donde las obras serán implementadas. Después del estudio realizado, le corresponde al ingeniero civil proyectar y construir las obras respetando los levantamientos geofísicos y pedir, cuando sea necesario, nuevos datos.

En la práctica geotécnica son varios los ensayos in situ y de laboratorio que son usados, con el objetivo de obtener los parámetros elásticos del material presente en el subsuelo. No obstante, en el proceso de urbanización descontrolada característico del siglo XXI crece cada vez más la necesidad de obras civiles de elevada complejidad, principalmente en los sectores de construcción de autopistas, implantación de embalses, apertura de túneles, obtención de agua subterránea, construcción de moradas en áreas de grandes pendientes, entre otras. Delante de tanta complejidad es común el medio técnico ser sorprendido por noticias o relatos de accidentes en obras de ingeniería, cuyo origen está relacionado principalmente al relativo desconocimiento del ambiente geológico en que la obra es inserta. Es en ese contexto que la geofísica se destaca como una excelente herramienta para diagnóstico del subsuelo y para análisis geotécnicas para así, solucionar los problemas de ingeniería y garantizar mayor seguridad en las obras.

El principal objetivo de este trabajo es realizar una investigación bibliográfica y analizar los diferentes métodos utilizados para la caracterización de los suelos y presentar los posibles métodos geofísicos utilizados en obras de ingeniería e identificar las condiciones de aplicabilidad de ellos, los requisitos para buenos resultados y la posibilidad de combinación de diferentes métodos, de modo que el ingeniero interesado en utilizar estas técnicas pueda definir un programa de investigación que atienda correctamente a las necesidades de su proyecto. El complejo de métodos geofísicos propuesto será empleado para caracterizar los suelos en el área de la escuela Juventud en Lucha de la ciudad de Luanda.

## 2. EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE LA GEOFÍSICA EN ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Para el desarrollo de esta investigación fueron consultados más de 300 documentos sobre la aplicación de la Geofísica Somera y en especial, los relacionados con los métodos eléctricos y sísmicos que son empleados para estudios ingeniero geológicos.

Este análisis abarcó los procedimientos realizados en diferentes condiciones, así como el desarrollo de nuevos métodos que se incorporan a estos tipos de estudios demostrando las particularidades propias que hay que tener en cuenta para estudios geotécnicos.

Como forma organizativa de esta investigación se analizaron los trabajos que se basaban en el uso de la Geofísica en la Geotecnia de manera general y posteriormente, se revisó la bibliografía donde concretamente se hacía uso de los métodos eléctricos y los métodos sísmicos evaluando fundamentalmente, los métodos de refracción y los de estudio de ondas superficiales que serán los propuestos para conformar el complejo de métodos geofísicos.

Aunque existen trabajos aislados publicados en revistas de prestigio desde la mitad del siglo XX, que versan sobre la introducción de los métodos geofísicos a trabajos ingeniero geológicos, en esta investigación solo se mencionan algunos debido a su lejanía en el tiempo, no obstante, sobresalen ya, desde la década del 70 y 80, los artículos publicados en la revista ***Geophysics.***

En el trabajo de Ardersnon et al se resumen los principales métodos geofísicos aplicados en las investigaciones geotécnicas y explican sus ventajas y limitaciones. Asimismo, incluye algunas consideraciones sobre la parte económica, así como una estadística de su empleo [1].
El investigador Jaimes en el año 2011 muestra, desde el punto de vista teórico, los métodos geofísicos empleados para caracterizar los suelos y ofrece herramientas y bases para futuras investigaciones que incluyan la adquisición de datos y el tratamiento de información que, según este autor, debe permitir de manera más clara identificar las fortalezas y trabajar sobre las debilidades de cada uno de los métodos [2].

Los hermanos Ozcep presentan las investigaciones geofísicas en la ingeniería civil y la planificación urbana, a través del análisis de casos históricos en Turquía. Se incluyen los principales temas que, desde el punto de vista del geofísico, son importantes para la ingeniería civil y la planificación como son: el estudio de las propiedades físicas y geotécnicas, la planificación del uso de tierras o micro-zonación y los estudios ambientales de estimación de riesgo de desastre. Los métodos geofísicos le proveen las soluciones a una gran variedad de problemas de ingeniería geológica como: la licuefacción y estabilidad del suelo y los estudios de amplificación, las investigaciones del sitio y la experimentación, las obras hidrogeológicas, la construcción de metros, entre otros. Por las características de esta investigación, los métodos geofísicos utilizados son los sismológicos, por lo que no se hace referencia a otros que podrían ayudar también a solucionar algunas de las tareas de los casos presentados [3].

Rinaldi, también en el año 2011, presenta muy brevemente el uso de la Geofísica en los estudios geotécnicos. Resulta interesante que trata el tema de la relación que debe existir entre los ingenieros de las obras y los geofísicos, y de la necesidad que existe de que los primeros, tengan conocimientos de los problemas que pueden resolver los segundos. En el documento se tratan los métodos sísmicos, los electromagnéticos y los eléctricos y se presentan algunos casos históricos, pero no se profundiza ni en la teoría, ni en la parte práctica de su uso [4].

Aunque el trabajo de Naranjo y Dranichnikov en el año 2012, se centra en el uso y las ventajas que ofrece el método sísmico de refracción, también se hace un breve análisis del uso de los métodos eléctricos y gravimétricos que, conjuntamente con los métodos geotécnicos, consiguen llegar a soluciones ingenieriles de manera más económica y eficiente [5].

El notable geofísico Noel Pérez por su parte, demuestra la importancia de combinar en los estudios geotécnicos la tomografía eléctrica, la sísmica de refracción y el análisis de ondas superficiales. Realiza una comparación de los métodos utilizados y las formulaciones para los cálculos de algunas propiedades geotécnicas. En su trabajo se demuestran las ventajas de la utilización de la Geofísica para reducir tiempo y costos, al disminuir los ensayos de SPT, además, que el volumen del suelo investigado es mucho mayor que las pruebas puntales que ofrecen los métodos clásicos de prospección geotécnica [6].

Shirgiri en el año 2012, realiza un análisis de la utilización de métodos no invasivos para resolver tareas geotécnicas relacionadas con la presencia de diferentes objetos enterrados en las vías de Inglaterra, y propone la utilización de diferentes tecnologías como el radar de penetración (GPR), los métodos acústicos y los métodos activos y pasivos de campos electromagnéticos de baja frecuencia. Resulta de interés el uso de los métodos de análisis de ondas superficiales para el cálculo de las ondas transversales o de cizalla. En el texto se hace hincapié en la necesidad de los conocimientos previos del investigador del área de estudio, para llegar a conclusiones fidedignas y no sobrevalorar los resultados de la Geofísica [7].

En Perú se presenta el trabajo de Alva, 2012 que se centra en la aplicación de los métodos sísmicos y en especial, la sísmica de refracción y los métodos de análisis de ondas superficiales, y presenta las diferentes correlaciones que existen para estimar los parámetros geotécnicos de las velocidades de las ondas calculadas [8].

En países como Egipto y Arabia Saudita también se hace uso de estas técnicas sobresaliendo el trabajo de Khalil y Hanafy donde los parámetros geotécnicos son determinados para determinar la calidad de las rocas para las construcciones utilizando perfiles sísmicos regionales en estos dos países donde fue posible realizar una regionalización geotécnica de los suelos de ambos países [9]

En el trabajo de Barros da Silva, 2018 se ofrece una metodología que contempla un complejo de métodos geofísicos para ser utilizados en los suelos de Luanda, [10]., precisamente está investigación utiliza la misma para darle solución a los objetivos planteados.

En el continente africano también sobresalen los trabajos de Asare, Klu y Abdullah, donde los autores de usan la sísmica de refracción en la localidad de New Atuabo en Tarkwa, Ghana y con las datas se estiman los parámetros geotécnicos los cuales son validados con la prueba de cono de penetración dinámica (DCPT) demostrando la confiabilidad de los resultados que ofrece este método geofísico, [11].

Se estudiaron trabajos recientes en suelos arenosos como los de la zona de estudios, es caso de la investigación de Taj, 2024 donde se aplica una metodología en el nordeste de Marruecos utilizando la tomografía eléctrica para resolver problemas de inestabilidad de talud en las carreteras de esta localidad, los trabajos son complementados con herramientas geomáticas [12].

Qaher, 2023 en su artículo refleja la utilización de la Tomografía sísmica de refracción para evaluar las propiedades geotécnicas de las rocas. Fueron aplicados nueve perfiles sísmicos en el nordeste de Egipto. El método permitió caracterizar los suelos de esta región, los resultados fueron utilizados para diferentes obras de construcción [13].

Qaher también en el 2023 publica otro artículo donde se integran dos métodos geofísicos, la tomografía eléctrica y la sísmica de refracción para estudiar los lentes de arcillas para calcular sus parámetros geotécnicos. La combinación de ambos métodos permitió determinar la intrusión salina en estos suelos, además de dos capas, siendo la más profunda las que mejores condiciones para fundaciones posee [14].

Malik, Madunui y Hidayat Zahari también hacen uso de la tomografía eléctrica con un dispositivo gradiente el cual permitió caracterizar el corte geoeléctrico y compararlo con los datos de las perforaciones. La resistividad aumentaba con la profundidad, siendo los primeros 10 metros una capa de arcilla y a continuación una roca fracturada con 50% de RQD [15].

Long et al. presentan una investigación donde fueron utilizados métodos sísmicos en la localidad de Blessington cerca de Dublin en Irlanda en suelos arenosos. Se empleó el método de ondas superficiales MASW y el sísmico CPT. Se calcularon las velocidades de las ondas transversales a partir de los dos métodos y se correlacionaron pudiendo caracterizar las arenas densas no consolidadas [16].

En el caso de las rocas con karst hay trabajos realizados por Martínez-Pagán donde estudia un área kárstica combinando métodos geotécnicos tradicionales con los métodos geofísicos de la tomografía eléctrica y la sísmica de refracción los cuales pudieron determinar las estructuras kársticas, así como los mecanismos hidrológicos que provocan los cambios en las propiedades de las rocas [17].

En Europa también se aplican estas técnicas, ejemplo es el trabajo de Varone y Perl donde fueron aplicados métodos geofísicos en la localidad de Emilia- Romagna en Italia en suelos areno - arcillosos con problemas de licuefacción debido a su estratigrafía y geomorfología. El estudio sismológico permitió reconocer las áreas con mayores problemas y caracterizar desde el punto de vista geotécnico y sísmico toda la región [18].

La tomografía eléctrica sigue siendo un de los métodos más utilizados en los años recientes, esto lo demuestra Alam y otros autores cuando emplean la tomografía eléctrica por ser un método no invasivo el cual permite estimar la integridad estructural de los suelos, así como el contenido del agua y el tipo de fluido, se presentan 4 casos de estudios donde se demuestra la eficiencia de este método para resolver diferentes tareas de ingeniería geotécnica [19].

Es también tendencia utilizar los métodos geofísicos para hacer diagnósticos geotécnicos ejemplo es el trabajo realizado por Hamed a principios del año 2024 donde utilizó dos métodos sísmicos: la sísmica de refracción y el Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) con el objetivo de estudiar la falla ***Spillway*** la cual se encuentra al este de la presa Alto Aswan en Egipto la cual a provocado algunos problemas estructurales a este embalse. Estos métodos geofísicos permitieron calcular las velocidades transversales y estimar el parámetro Vs30 que permitió clasificar desde el punto de vista geotécnico los suelos de esta región [20]., otro ejemplo es el de Leites, Andrade y Santos los cuales realizaron un monitoreo geofísico durante 15 días en el área de una presa utilizando el método de tomografía eléctrica con el dispositivo Schlumberger con el objetivo de detectar contaminación en el embalse debido a las labores mineras, los datos geofísicos fueron correlacionados con parámetros geotécnicos y así poder caracterizar el área [21].

## 3. CASO DE ESTUDIO. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ECUELA JUVENTUD EN LA LUCHA DE LA CIUDAD DE LUANDA. ANGOLA

Después de realizada la investigación bibliográfica, se procedió a utilizar la metodología propuesta por Barros da Silva, [10], como se puede observar en la figura 1.

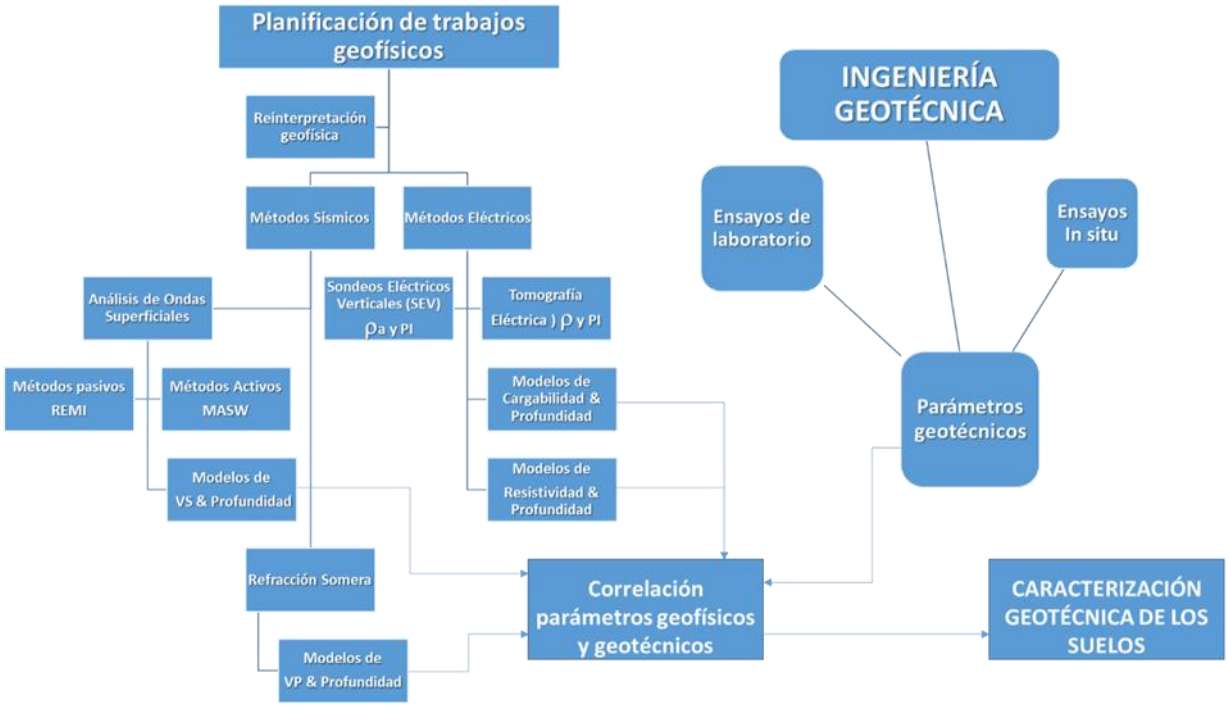



Figura 1. Procedimiento metodológico utilizado en el área de estudio

En la adquisición de los métodos eléctricos:

Utilizar como mínimo 24 geófonos espaciados 3 m, con esto se garantiza poder utilizar un mismo arreglo para la sísmica de refracción y para los métodos de ondas superficiales.

El tiempo de registro para la refracción y los métodos Multicanal de Ondas Superficiales utilizar 1s con intervalo de muestreo de 0,25 o 0,5 ms, para el método REMI utilizar como tiempo de registro mínimo 32 s y un total de 20 registros.

Como en el área existe mucha absorción de la energía y mucho ruido por encontrarse en un ambiente urbano, se deben realizar de 10 a 20 golpes para realizar un apilado que mejore la relación señal/ruido, esto también mejora la señal obtenida para el método 2D MASW cuando se utilizan geófonos de 14 Hz.
Aunque la frecuencia de los geófonos recomendada para los métodos de ondas superficiales son los de 4,5 Hz, si se utilizan de frecuencias mayores es recomendable siempre mejorar la relación señal/ruido aumentando la cantidad de registro por apilado, así como tener un conocimiento previo de las velocidades a obtener para comprobar la existencia de resultados ilógicos.

En el procesamiento y la interpretación de la sísmica de refracción tener en cuenta que los suelos de Luanda provocan refracciones muy débiles, obteniéndose dromocronas con pendientes muy poco pronunciadas y muy ruidosas resultado también de las irregularidades de las capas que producen las refracciones, no obstante, se propone que se utilice el método Time-term para dos capas debido a que fue el que mostró mejores resultados para el cálculo de las velocidades Vp, además de ser muy rápido. Por otro lado, se recomienda hacer la inversión utilizando el método de la tomografía para obtener un comportamiento más detallado de la Vp en el área.

El procesamiento de los métodos de las ondas superficiales está condicionado por un correcto análisis de dispersión. El hacer el picado de la curva de dispersión y escoger las frecuencias correctas, conllevará a que se obtenga un modelo de velocidades de las ondas S más cercano a la realidad.

Además de las velocidades también se debe hacer un modelo con las densidades estimadas del área.
Se debe realizar un trabajo estadístico profundo para obtener las ecuaciones de regresión y las correlaciones, si existen entre los parámetros geotécnicos y los sísmicos.

En cuanto a los métodos eléctricos:

Se pueden realizar las variantes de SEV y/o tomografía eléctrica de resistividad y de PI. Si solo se cuenta con un georesistivimetro, se realizan solamente los SEV con el procedimiento ya descrito.
Para la tomografía se recomienda en la adquisición utilizar el mismo arreglo de los métodos sísmicos, es decir, utilizar separación de electrodos de 3m y un total de 24 o 48 con esto se alcanzan las profundidades para los horizontes de interés de los suelos de Luanda. Si el área lo permite, se puede utilizar una separación de electrodos de 5m, mayor se perdería resolución.

Se deben hacer las mediciones como mínimo con tres arreglos, los más aconsejables son el dipolo-dipolo, el Wenner y el Wenner-Schlumberger.Para realizar la inversión se debe comprobar la calidad de los datos y combinar diferentes dispositivos permite obtener una mejor calidad de la inversión de los datos principalmente, si se utiliza la inversión robusta.

La interpretación integrada de los métodos sísmicos y eléctricos permitirá caracterizar los suelos estudiados, evaluando su grado de arcillosidad y compactación.

Como fase final de este procedimiento está la caracterización de los suelos a partir de las propiedades geofísicas, y calcular los parámetros geotécnicos, siempre utilizando como base la información que provee los ensayos de los métodos tradicionales de la ingeniería geológica, en el caso del área de estudio no existen datos geotécnicos tradicionales.

**Localización geográfica**

El área de estudio se encuentra en Angola específicamente en la provincia de Luanda que se encuentra al noroeste del país como puede observarse en la figura 2. Más localmente el área de trabajo encuentra dentro de la escuela Juventud en Lucha de Luanda, en una de las zonas céntricas de la ciudad (figura 3) a diferencia otros tipos de trabajo no se tenía ninguna información geotécnica como se puede observar en esta misma figura es un pequeño espacio dentro de la urbanización existente.

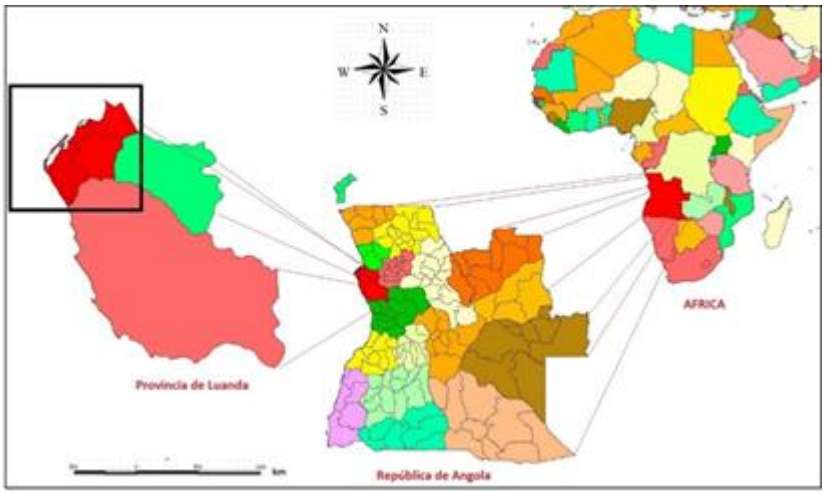



Figura 2. Esquema de la localización de la provincia de Luanda

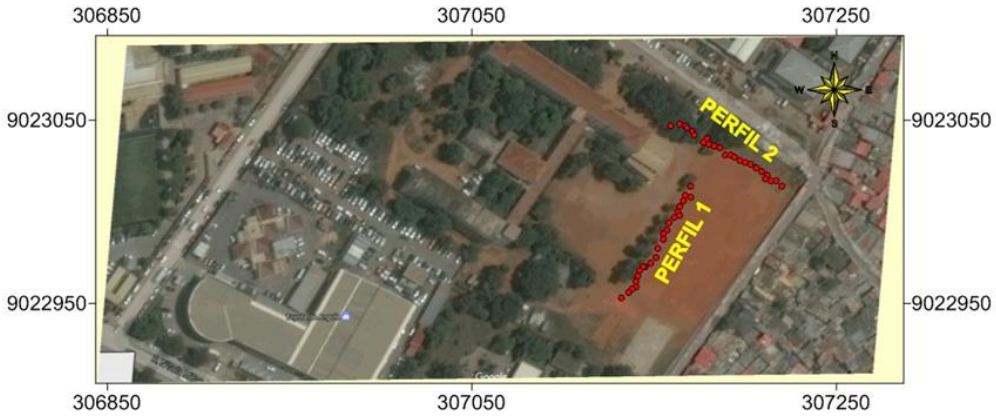



Figura 3. Área de la escuela Juventud en Lucha donde se aplicó el procedimiento geofísico

Como se pudo constatar el uso de la Geofísica para estudios geotécnicos está bien extendido a nivel mundial, a pesar de que, en Angola, apenas en los últimos 10 años, es que se están introduciendo estas técnicas; De ahí, la necesidad de evaluar la efectividad de estos métodos en las condiciones geológicas de los suelos de la ciudad de Luanda

En resumen, los métodos más empleados en la Ingeniería Geológica son los métodos sísmicos, eléctricos y electromagnéticos (Georadar) y en menor medida, los magnéticos y gravimétricos.
Debido a la cantidad de variantes que se pueden realizar con el mismo equipamiento y por la posibilidad de calcular algunos parámetros geotécnicos de manera indirecta, se definió de manera preliminar, el siguiente complejo de métodos geofísicos:
Métodos sísmicos
1. Sísmica de refracción somera.
2. Análisis de ondas superficiales (AOS).
a. Análisis multicanal de ondas superficiales (1D MASW y 2D MASW).
b. Refracción de microtemblores (REMI o MAM).
Métodos eléctricos
1. Sondeos eléctricos verticales (Resistividad aparente).
2. Tomografía eléctrica (Resistividad y PI).

En el área de estudio y por la experiencia de los autores en otras áreas similares en Luanda se eliminaron los métodos 1D MASW y los SEV porque los mismos aportarían información puntual y en algunos casos redundante.

Siguiendo la experiencia se planificaron los trabajos sísmicos con los mismos parámetros de adquisición, pero en este caso, se trazaron dos perfiles perpendiculares entre sí con 24 geófonos y espaciamientos de 3 m. Aunque se midieron todas las variantes, la mayor importancia se le otorgó a la sísmica de refracción y al método 2D MASW; con ellos se logra calcular los parámetros geotécnicos de manera rápida y con calidad. Con el método de refracción también se obtienen dromocronas con refracciones débiles difíciles de interpretar.

Los métodos de ondas superficiales aportaron la información sobre las velocidades de las ondas S. Es importante señalar que el método pasivo REMI ofreció excelentes resultados, dado el hecho que al encontrarse el área en una zona más urbanizada los ruidos no tenían una dirección preferencial

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 4 y 5 se presentan los modelos de velocidades Vp y Vs para el perfil 1 y 2. Aquí se evidencia el cambio de condiciones de los suelos de esta zona de Luanda donde los espesores de las arenas rojas de Quelo o Musseque son mayores que en las áreas anteriormente estudiadas. Por tal motivo aparecen

velocidades de las ondas P más homogéneas con la profundidad. En el perfil 2, (figura 5), los cambios laterales que se observan son debidos a una franja de material de relleno que atraviesa este perfil.

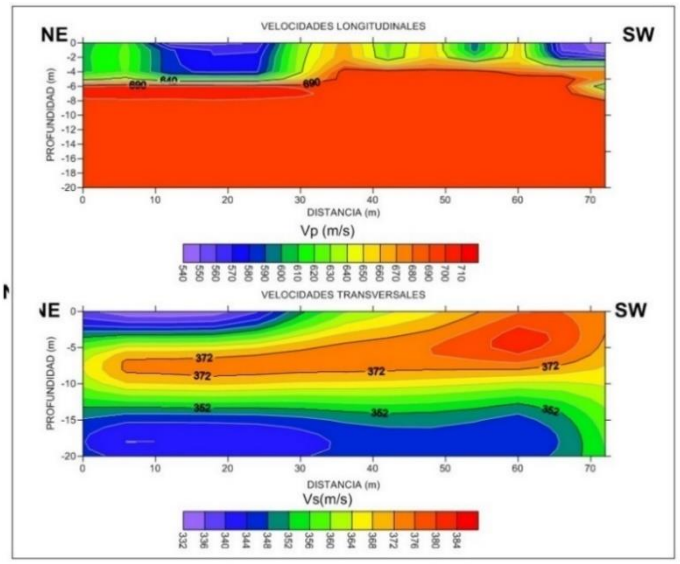



Figura 4. Modelos de velocidades de Vs y Vp del perfil 1 resultado del procesamiento sísmico, Seminario Mayor de Luanda

Los métodos de ondas superficiales aportaron la información sobre las velocidades de las ondas S. Es importante señalar que el método pasivo REMI ofreció excelentes resultados, dado el hecho que al encontrarse el área en una zona más urbanizada los ruidos no tenían una dirección preferencial.
Las velocidades de las ondas S se muestran más variables, apareciendo en ambos perfiles una cuña de mayores velocidades asociada a paquetes de arenas más compactos.

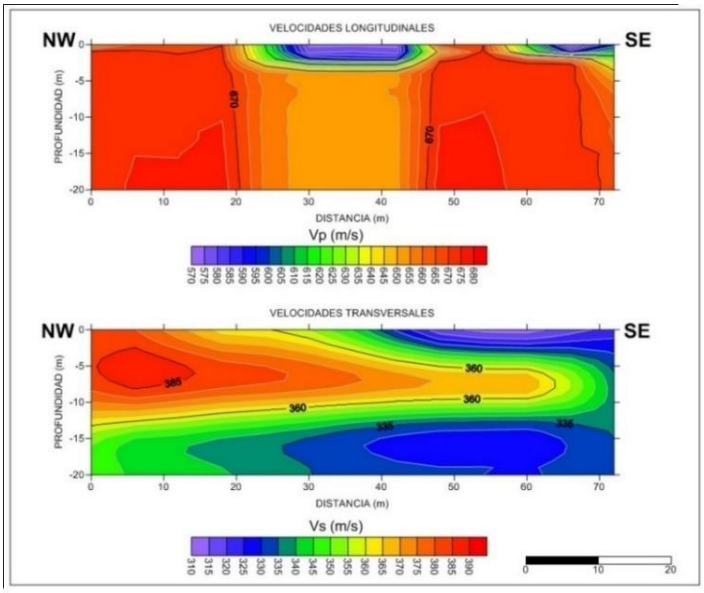



Figura 5. Modelos de velocidades de Vs y Vp del perfil 2 resultado del procesamiento sísmico, Seminario Mayor de Luanda

La tomografía eléctrica se realizó siguiendo el procedimiento establecido, no obstante, se hizo un procesamiento más rigoroso, debido a que esta zona, tiene condiciones diferentes a otras zonas donde también se empleó esta metodología porque posee mayores espesores de las arenas de la formación Quelo,

que tiene menos contenido de arcilla. Como conclusión, los dispositivos utilizados, los métodos y parámetros de la inversión propuestos funcionaron correctamente en esta área. Figura 6.

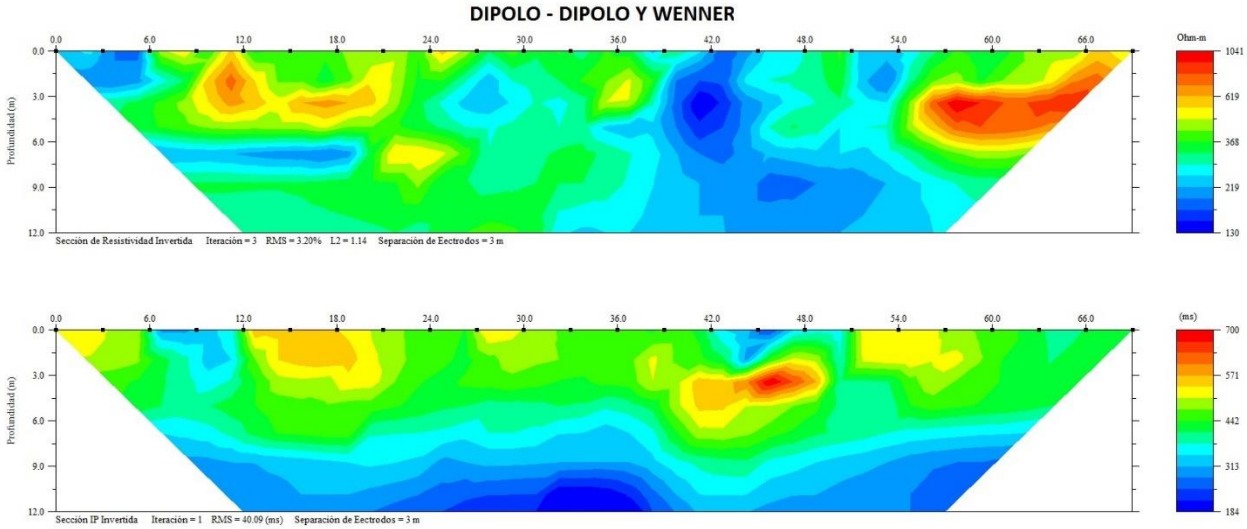



Figura 6. Sección de resistividad y PI. Perfil 1, combinación Dipolo-Dipolo y Wenner

Como resultados de todo el procesamiento se destaca que en las áreas donde existen mayores espesores de la formación Quelo, las tomografías eléctricas son menos ruidosas por que el proceso de inversión produce bajos errores cuadráticos medios, principalmente, en los dispositivos Wenner y Schlumberger. Por otro lado, ofrecen mayores valores de resistividad y de cargabilidad indicando menos presencia de arcilla. En el análisis se determinó que en el proceso de inversión se logra un menor RMS con menos datos; sin embargo, se consigue mayor resolución si el número de datos medidos es grande, por eso las combinaciones de los dispositivos son las más resolutivas.

En la figura 7 puede apreciarse como ni por la resistividad o el PI se puede seguir algún horizonte geoeléctrico continuo y es que, las arenas rojas de musseque poseen diferentes grados de compactación y humedad, que las hacen muy heterogéneas, desde el punto vista de sus propiedades eléctricas, sin embargo, en los dos perfiles se observa el mismo comportamiento, por lo que no existe anisotropía en las propiedades eléctricas del área.

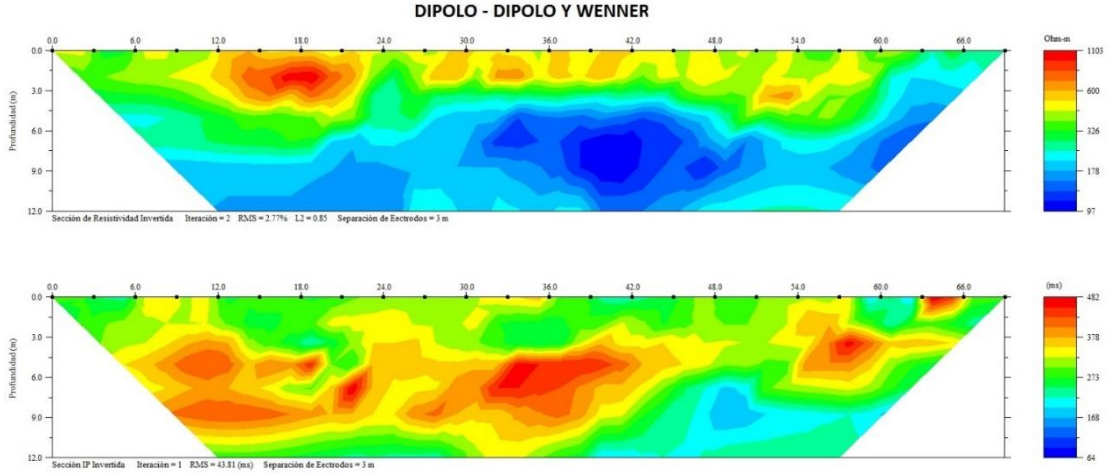



Figura 7. Sección de resistividad y PI. Perfil2, combinación Dipolo-Dipolo y Wenner

En el perfil 2 (figura 7) perpendicular a uno, se observa mayor homogeneidad con un gran mínimo relacionado con una faja de relleno en el perfil

.

**Caracterización de los suelos de la escuela Juventud en Lucha**

Al no tener información geotécnica en el área, no se hizo estudio estadístico, pero sí fueron caracterizados los suelos, utilizando las propiedades eléctricas y sísmicas obtenidas del procesamiento geofísico. La información geotécnica que se consultó estaba a unos 300 metros del área, pero fue suficiente para conocer las unidades geotécnicas presentes en la zona que siguen siendo las mismas C1, C2 y C3 descritas para los suelos de la Ciudad de Luanda. Para esta zona, la única diferencia es que tienen grandes espesores y que alcanzan los mayores valores de resistencia a la penetración estándar ($N_{SPT}$) a profundidades de más de 10 m. Con estos criterios se obtuvo el gráfico que relaciona las velocidades sísmicas (Vp y Vs).

Generalmente, las unidades geotécnicas en Luanda están definidas por el valor de $N_{SPT}$ más que por su composición litológica. Por esa razón en el área de estudio, se encuentran las mismas unidades geotécnicas, a pesar de que la composición de los suelos es diferente. En la figura 8, se puede comprobar que las unidades geotécnicas, cuando los suelos predominantes son las arenas rojas de Musseque tienen el siguiente comportamiento a partir de sus velocidades sísmicas:

C1. Menores velocidades de VP entre 540 y 600 m/s velocidades Vs de baja a media (310 a 375 m/s);
C2. Velocidades de VP entre 600 y 640 m/s velocidades Vs de (310 a 380 m/s);
C1. Mayores velocidades de VP entre 640 y 700 m/s velocidades Vs (310 a 390 m/s).
Los suelos se clasifican de tipo C y D según la figura 9.

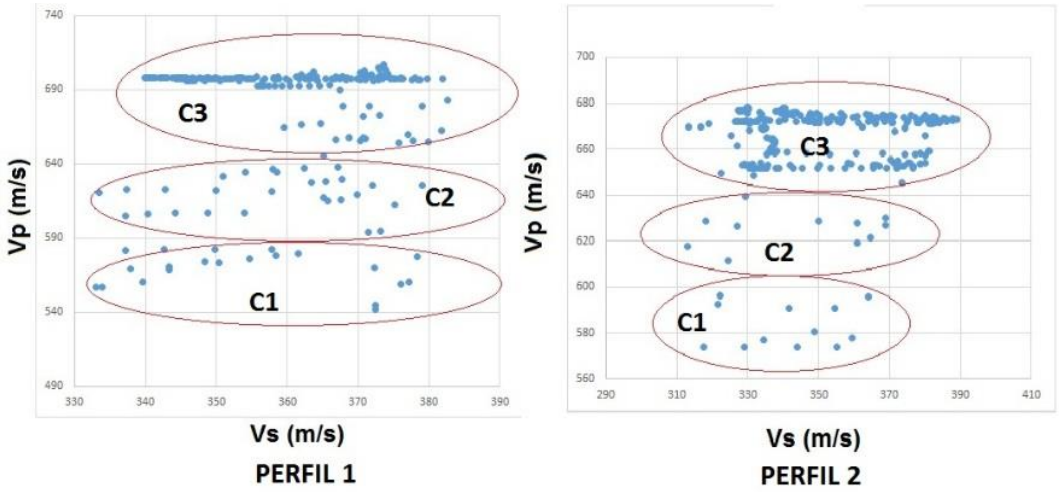



Figura 8. Relación entre las velocidades longitudinales (VP) y velocidades transversales (Vs) de los suelos del área del Seminario Mayor de Luanda

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | $v_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s > $v_s \geq 760$ m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 760 m/s > $v_s \geq 360$ m/s |
| | perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios | **N** ≥ 50, ó<br>$s_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²) |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 360 m/s > $v_s \geq 180$ m/s |
| | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones | 50 > **N** ≥ 15, ó<br>100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $s_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²) |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 180 m/s > $v_s$ |
| | perfil que contiene un espesor total **H** mayor de 3 m de arcillas blandas | **IP** > 20<br>**w** ≥ 40%<br>50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $s_u$ |
| F | Los perfiles de suelo tipo **F** requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:<br><br>**F1-** Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br><br>**F2** -Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br><br>**F3-** Arcillas de muy alta plasticidad (**H** >7.5 m con Índice de Plasticidad **IP** > 75)<br><br>**F4**-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( **H** > 36 m) | |

**Tabla 2 Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E**

| Tipo de perfil | $v_s$ | N o Nch | $s_u$ |
|---|---|---|---|
| C | entre 360 y 760 m/s | mayor que 50 | mayor que 100 kPa (≈ 1 kgf/cm²) |
| D | entre 180 y 360 m/s | entre 15 y 50 | entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm²) |
| E | menor de 180 m/s | menor de 15 | menor de 50 kPa (≈0.5 kgf/cm²) |

**Tomada de A.2.4.5 de NSR-10**

Figura 9. Imágenes de las tablas para clasificación de los suelos según las velocidades de las ondas s, tomadas de [22] que se basan en las normas internacionales del IBC. [23]

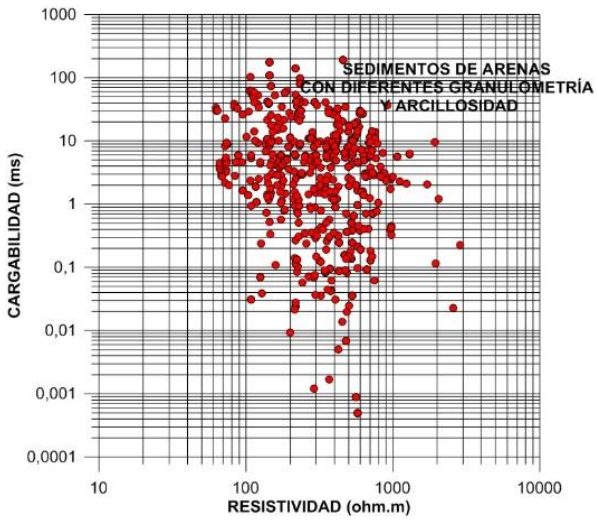



Figura 9. Asociación de la resistividad y la cargabilidad con la litología, basado en el modelo de Draskovits [24] obtenida con todos los dispositivos

Con las propiedades eléctricas se comprueba aún más la presencia de suelos arenosos de la formación Quelo. Se evidencia también una gran variabilidad dentro de las arenas que pueden tener presencia de arcillas y limos, así como su granulometría y compactación también es muy variable (figura 9). La humedad de estos suelos también provoca que el rango de resistividad y cargabilidad medida sea muy grande. En esta área, por no tener ensayos de NSPT, no se hicieron correlaciones con este parámetro; no obstante, se consigue realizar este tipo de caracterización sin tener ninguna información geotécnica.

Se calcularon los parámetros geotécnicos utilizando las fórmulas (1)-(3).

Módulo de corte o cizallamiento (G) definido como la relación entre la tensión y la deformación de corte, es una medida de la dureza del material

$$G = \frac{E}{2(1+\eta)} = \delta V_S^2 \qquad \delta = 0.2V_P^{0.25} \qquad (1)$$

δ = Densidad del material del terreno

Coeficiente de Poisson, η. Expresa la relación entre las deformaciones transversales y longitudinales.

$$\eta = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)} \qquad (2)$$

Módulo de elasticidad o módulo de Young (Edin) Representa la cantidad de esfuerzo por unidad de deformación E=σ/ε. Figura 37.

$$E_{din} = \delta V_S^2 \left(\frac{3V_P^2 - 4V_S^2}{V_P^2 - V_S^2}\right) \qquad (3)$$

Para ejemplificar los parámetros geotécnicos calculados se presentan en la figura 10 el módulo de Young dinámico estimados por los métodos sísmicos, como se puede observar, en el perfil 1, aun el mismo aumenta con la profundidad, aunque se puede observar un comportamiento interesante que generalmente ocurre en estos suelos, donde existe una capa intermedia, en este caso entre los 6 y 12 metros, que posee los mayores valores, sin embargo más profundo, esta propiedad disminuye por lo que los ingenieros deben tener en cuenta esta problemática, en el caso del perfil 2 se observa una ruptura en la vertical de la continuidad del módulo de Young, donde en superficie presenta valores muy bajos indicando que este suelo fue removido.

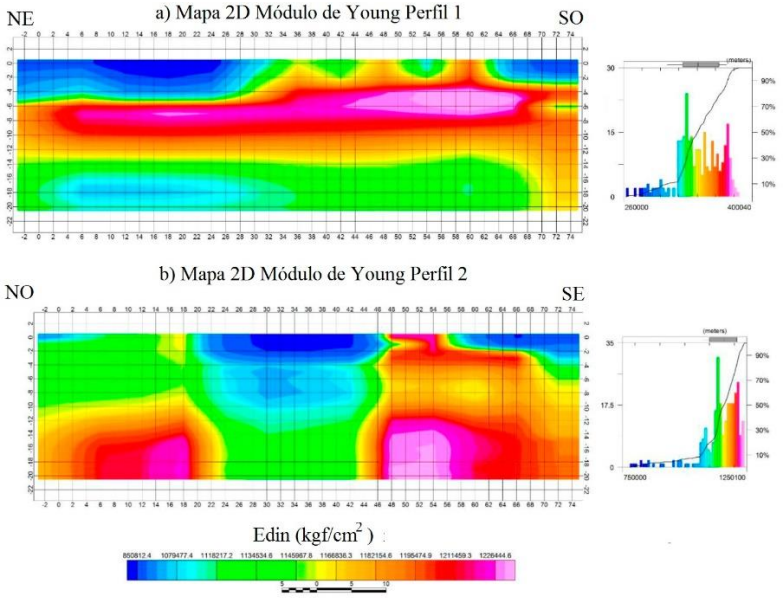



Figura 10. Módulo de Young (kgf/cm$^2$): a) perfil 1, b) perfil 2

## 5. CONCLUSIONES

- Fue elaborado y validado un procedimiento para el uso de la geofísica en suelos arenosos - limo - arcillosos en Luanda Angola, que incluye refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en sus variantes pasiva y activa y Tomografía Eléctrica.
- Es mejor representar los resultados de la interpretación geofísica por perfiles o cortes que valores de propiedades físicas asignadas a capas, debido a las grandes variaciones laterales de estos parámetros que en muchos casos impiden el seguimiento de bordes o límites de estratos.
- Las unidades geotécnicas de los suelos del Seminario Mayor en Luanda son caracterizadas por primera vez utilizando la geofísica.
- Las velocidades de onda transversal Vs obtenidas del Análisis de Onda Superficial permitieron clasificar los suelos del Seminario Mayor de Luanda en los tipos C y D, según la clasificación IBC.
- Los dos perfiles medidos en el seminario Mayor de Luanda demostraron que los métodos geofísicos permiten estimar parámetros geotécnicos sin ninguna información obtenida por métodos tradicionales (perforaciones, ensayos de laboratorio y ensayos geotécnicos)

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a SASSCAL (Southern African Science Service Centre Sea Climate Change and Adaptive Land Use) por la financiación del equipo y algunas actividades para el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. ANDERSON, N., N. CROXTON, R. HOOVER y P. SIRLES. “Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization”. Transportation Research Board, 2008, vol 1, núm. 2, pp. 10 - 22.
2. JAIMES, J.D. "Métodos geofísicos aplicados a la caracterización de suelos: Estado del arte". Tesis en opción al grado de Ingeniero Civil Universidad Industrial De Santander. Facultad De Físicomecánicas, Bucaramanga, 2011.
3. OZCEP, F. y T. OZCEP. “Geophysical analysis of the soils for civil (Geotechnical) engineering and urban planning purposes: Some case histories from Turkey”. International Journal of the Physical Sciences. 2011, vol,6 núm 5, pp 1169-1195, .
4. RINALDI, V.A. " Ensayos no destructivos en geotecnia". En: coord., Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), 2011,
5. NARANJO, H. y T. DRANICHNIKOV. “Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional. El caso del puente sobre el río Maicito”. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
6. PÉREZ, N. "Prospección Geofísica aplicada en las investigaciones geotécnicas". En: 2do Congreso de Fundaciones Profunda de Bolivia, La Paz, 2012, 38.
7. SHIRGIRI, N. "Correlation between geotechnical and geophysical properties of soil". Tesis de maestría, Universidad de Birmingham, 2012.
8. ALVA, J.E. "Aplicaciones de la geofísica en la ingeniería geotécnica". En: CONIEIC. HUANCAYO 2013, HUANCAYO, Perú, 2013
9. KHALIL, M. H. y HANAFY, S. M. “Geotechnical Parameters from Seismic Measurements: Two Field Examples from Egypt and Saudi Arabia”. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2016, vol 21, núm. 1, pp. 13–28
10. BARROS DA SILVA, M.A.P. Procedimientos para la aplicación integrada de métodos eléctricos y sísmicos en estudios ingeniero geológicos de suelos areno limos arcillosos. Caso de estudio Luanda, Angola. Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría (CUJAE). La Habana Cuba, 2018
11. ASARE, E. N.; KLU, A. K. y ABDULLAH, R. . “The Use of Seismic Refraction and Geotechnical Parameters to Conduct Site Investigation – A Case Study” . International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), 2019, vol 6, núm. 9, pp 7-11

12. TAJ, B. et al. " Geotechnical Prospects and Electrical Tomography to Study Slope Instability in the Rif Alboran Sea Shoreline on the Mediterranean By-Road (Northern Morocco)" Ecological Engineering & Environmental Technology 2024, vol 25, núm1, 138–151
13. QAHER, M. et al "Assessing Geotechnical Property for Construction Purposes: A Study on the Efficacy of Shallow Seismic Refraction Tomography Method". Frontiers in Scientific Research and Technology, 2023, vol 7, pp70 – 96
14. QAHER, M. et al "Integration of ERT and shallow seismic refraction for geotechnical investigation on El-Alamein Hotel Building Area, El-Alamein new city, Egypt", Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resource, 2023, vol 9, núm 115, pp 23
15. ABD MALIK, A. K. , MADUNI A. y HIDAYAT ZAHARI, M. N. " Correlation of Electrical Resistivity Tomography and Geotechnical Field Data for Soil Profile Characterization". Journal of Sustainable Underground Exploration, 2023, vol. 3, núm . 1, pp 10-15
16. LONG, M. et al. "Some practical applications of shear wave velocity measurements in dense sand" in Proceedings of the 8th International Symposium on DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GEOMATERIALS Porto, 3rd - 6th September 2023
17. MARTÍNEZ-PAGÁN, P. et al "Integration of Electrical Resistivity Tomography and Seismic Refraction Tomography to Investigate Subsiding Sinkholes in Karst Areas". Water, 2023, vol 15, núm 2192.
18. VARONE, CH. et al "PERL: a dataset of geotechnical, geophysical, and hydrogeological parameters for earthquake-induced hazards assessment in Terre del Reno (Emilia-Romagna, Italy)" . Natural. Hazards and Earth System Scince, 2023, vol 23, pp 1371–1382
19. ALAM, M.J.B.; AHMED, A.; ALAM, M.Z. "Application of Electrical Resistivity Tomography in Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Aspect". Geotechnics 2024, vol 4,pp 399–414.
20. HAMED, A. et al "Application of seismic refraction and MASW methods for investigating the Spillway Fault trace along the western side of the Aswan High Dam, Egypt". Acta Geodaetica et Geophysica, 2024, vol 59, pp 27–50
21. LEITE DE FREITAS, L. F. Y ANDRADE E SANTOS, H. "The relationship between geophysical and geotechnical data: a temporal analysis of an iron ore tailings dam" An International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2024, vol 47, núm 4, pp 10
22. APONTE, J.A. "Evaluación de Métodos No Convencionales de Caracterización Geotécnica". Tesis de maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad De Ingeniería, Bogotá D.C., 2011.
23. BSSC. Edition NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings, FEMA 302/ 303. Building Seismic Safety Council. Federal Emergency Management Agency, 1998.
24. DRASKOVITS, P., J. HPBOT, L. VERÖ y B.D. SMITH. "Induced polarization surveys applied to evaluation of groundwater resources, Pannonian Basin, Hungary", Stanley H. Ward ed., Induced Polarization: Applications and Case Histories: Society of Exploration Geophysicists, investigations in geophysics, 1990, vol 4, pp 379 - 396

**sobre los autores**

Doctora Maria Amélia Pereira De Barros Da Silva decana de la facultad de Ciencias de la Universidad Agostino Neto, Luanda Angola
Licenciada Esperança Aldina Gaieta Luango, Responsable de marketing y responsable de stock interno, INSUL – GRUPO CENTAURUS

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELADO DEL FACTOR C RUSLE EN CUENCAS ECUATORIANAS UTILIZANDO NDVI Y ECUACIÓN REGIONAL

**Daniel Delgado[1,2], Gema Casanova-Ruiz[1], Olga Briones-Ordoñez[1], Pablo Farfán-Intriago[1]**

[1]Departamento de Construcciones Civiles, Arquitectura y Geología, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Ur-bina, Portoviejo EC130105, Manabí, Ecuador
[2]Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens, Université de Perpignan, Via Domitia, UMR 5110, 52 Avenue Paul Alduy, F-66860 Perpignan CEDEX, France
E-mail: daniel.delgado@utm.edu.ec

**RESUMEN**

La erosión del suelo es un problema mundial cada vez mayor, exacerbado por las actividades humanas que conducen a una pérdida significativa de la cubierta vegetal. El Factor C del modelo RUSLE representa la capacidad protectora de la vegetación frente a la erosión hídrica. El objetivo principal de esta investigación es analizar el Factor C en cuencas ecuatorianas utilizando el índice NDVI y una ecuación regional. La metodología incluyó la descarga de datos MODIS NDVI de 2001 a 2020, inicialmente a una resolución de 1 km, luego ajustada a 4 km y reproyectada al sistema de coordenadas WGS84, zona 17 Sur. Además, se utilizaron datos de precipitación de GPM-IMERG para evaluar la relación entre la cubierta vegetal y las precipitaciones. Los resultados revelaron una variabilidad espacial significativa del factor C en todo Ecuador, con valores que oscilan entre 0,099 y 0,51 y un valor medio de 0,22. Las cuencas del Amazonas exhibieron una mejor cobertura vegetal, mientras que la Sierra y las regiones costeras mostraron mayores riesgos de erosión. Esta información será crucial para la gestión sostenible del suelo, la planificación del uso de la tierra y la mitigación de los riesgos asociados con la erosión hídrica.

**PALABRAS CLAVES:** Erosión del suelo; teledetección; dinámica de la cobertura del suelo; Gestión sostenible de la tierra; SIG.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EMPLEO DE LA TELEDETECCIÓN PARA ESTIMAR LOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

**Héctor Manuel Fernández Núñez[1], Isabela Díaz Pérez[2], Daily González Henríquez[3]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría Calle 114 No 11901 e/ Rotonda y Ciclo Vía, Marianao, La Habana, Cuba, CP 19390, Email: dr.hectorfer@gmail.com, [2]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría Calle 114 No 11901 e/ Rotonda y Ciclo Vía, Marianao, La Habana, Cuba, CP 19390, Email: isabeladp@civil.cujae.edu.cu, [3]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría Calle 114 No 11901 e/ Rotonda y Ciclo Vía, Marianao, La Habana, Cuba, CP 19390, Email: dailygonhen@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Los trabajos para estudiar la calidad del agua en los embalses son costosos y suelen ser también demorados, además que solo se pueden hacer análisis puntuales que no permiten abarcar todo el cuerpo de agua. En la actualidad se emplea la teledetección para resolver este problema, permitiendo estudiar los embalses en toda su extensión, así como disminuir el tiempo de la obtención de los datos, no obstante, aún se precisa de tener mediciones in situ para correlacionarlas con los datos de reflectancia ofrecidos por las imágenes del satélite. Este trabajo tiene como objetivo proponer una metodología para hacer los estudios cualitativos y semicuantitativo de la calidad del agua, en las condiciones de Cuba, utilizando las técnicas de teledetección cuando no se cuenta con datos in situ. Para esto se realizó una investigación bibliográfica donde se extrajeron los modelos de regresión con mayor coeficiente de correlación, los cuales fueron aplicados en imágenes del Landsat 8 de la región occidental y central de Cuba. Como resultados, se obtuvo una metodología que involucra el cálculo del contenido de clorofila-a a partir del promedio de cinco modelos de regresión, el cálculo de la profundidad del disco de Secchi y el cálculo del índice de calidad del Agua (WQI). La cartografía obtenida de los parámetros, permitió realizar el análisis temporal entre los años 2013 al 2024 demostrando el carácter estacional que presenta la calidad del agua en los embalses.

**PALABRAS CLAVES:** Calidad del agua, clorofila-a, Disco de Secchi, Landsat, teledetección

## USE OF REMOTE SENSING TO ESTIMATE WATER QUALITY PARAMETERS

**ABSTRACT**

The work to study the quality of the water in the reservoirs is expensive and usually takes time, and only specific analyzes can be carried out, which do not allow the entire body of water to be covered. Currently, remote sensing is used to solve this problem, allowing the reservoirs to be studied in their entirety, as well as reducing the time to obtain the data. However, it is still necessary to have in situ measurements to correlate them with the data from reflectance offered by satellite images. This work aims to propose a methodology to carry out qualitative and semiquantitative studies of water quality, under the conditions of Cuba, using remote sensing techniques when in situ data are not available. For this, a bibliographic research was carried out where the regression models with the highest correlation coefficient were extracted, which were applied in Landsat 8 images of the western and central region of Cuba. As a result, a methodology was obtained that involves the calculation of the chlorophyll-a content from the average of five regression models, the calculation of the depth of the Secchi disk and the calculation of the Water Quality Index (WQI). The cartography obtained from the parameters allowed the temporal analysis to be carried out between the years 2013 to 2024, demonstrating the seasonal nature of the water quality in the reservoirs.

**KEY WORDS:** Water quality, chlorophyll-a, Secchi disk, Landsat, Remote sensing

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye el compuesto químico más esencial. no solo para la existencia de la propia vida, sino para su conservación y resiliencia. Dicho esto, su cuidado y preservación debería constituir una tarea

fundamental para todos los seres humanos. Como es sabido el agua dulce tiene un bajo porcentaje en cantidad comparada con toda la existente en nuestro planeta, no obstante, debido a su potabilidad, su uso clave en las actividades domésticas, industriales y de diversos sectores, como la agricultura, acuicultura, la generación de energía, la navegación, el esparcimiento y el turismo es la más utilizada y la que con mayor rapidez se agota. Por todo lo anterior, su monitoreo constituye una preocupación no solo de los gobiernos de los diferentes países sino también de los organismos internacionales como la ONU que la incluyó en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual se compone de 17 objetivos y 169 metas, además de 232 indicadores que se miden a través de los datos estadísticos que se recogen por las instituciones autorizadas en cada país [1]. El objetivo 6 se centra en garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, por lo que establece como meta 6.6 la protección y restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua [2], dentro de esta el indicador 6.6.1es descrito como el cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con este vital fluido con el paso del tiempo, el cual tiene por objeto reunir y suministrar datos sobre la extensión de estos ecosistemas relacionados con el agua y la cantidad y calidad del agua que contienen, en apoyo a todos los procesos de adopción de decisiones [3]

En resumen, la calidad de las aguas se basa principalmente en las características químicas, físicas, radiológicas y biológicas de las mismas por lo que se hace necesario realizar mediciones de algunos parámetros para hacer su evaluación. Los parámetros de calidad del agua (PCA) fundamentales que se miden son turbidez, las concentraciones de clorofila-a, nitrógeno, fósforo, oxígeno disuelto, nutrientes, algas nocivas y sólidos totales suspendidos, aunque se incluyen otros como la temperatura, la salinidad el PH y algunos compuestos químicos contaminantes. Esta cantidad de parámetros son necesario medirlos para una correcta valoración de la calidad de las aguas, generalmente se realizan in situ por lo que resultan muy costosos, requieren mucha mano de obra además son lentos, para hacer un monitoreo constante con el agravante que son mediciones puntuales que no caracterizan completamente los diferentes cuerpos de agua en estudio. El uso de los métodos convencionales tiene una capacidad limitada para capturar la heterogeneidad horizontal en el sistema hídrico a gran escala y extensión [4], por lo que desde hace un tiempo se vienen introduciendo las técnicas de teledetección, para mejorar la confianza y la predicción de estos parámetros.

Debido a la ventaja de la cobertura espacial, tanto global como temporal y dada la cantidad de plataformas satelitales con diferentes resoluciones espectrales, radiométricas y temporales, unido a que es posible por la reflectividad del agua, en sus diferentes condiciones, tener una correlación significativa entre estos valores radiométricos y diferentes parámetros de calidad es que se hace posible el uso cada vez mayor de estas técnicas. Los parámetros del agua ópticamente activos, como la claridad, la turbidez, el color del agua, los sólidos suspendidos totales, la clorofila-a y la materia orgánica disuelta coloreada, controlan las propiedades visuales de un cuerpo de agua [5], parámetros como la claridad y la turbidez afectan la absorción y dispersión de la luz, mientras que la clorofila-a (Chl-a) es un compuesto clave que se encuentra dentro de los organismos fotosintéticos (es decir, fitoplancton, algas, plantas verdes) y su fuerte pigmento verde es fácilmente detectable mediante teledetección satelital; por tal motivo son ampliamente utilizados para estos tipos de estudios. Aunque no es visible, la temperatura del agua también se puede observar utilizando la porción infrarroja térmica del espectro electromagnético que captan algunos de los principales satélites terrestres. Existen otros parámetros que no son ópticamente activos y que se obtienen de manera indirecta algunos de ellos son los contenidos de nutrientes, la demanda química de oxígeno entre otros.

Existen innumerables artículos que versan sobre el uso de técnicas de teledetección para estimar PCA debido a que los sensores capturan firmas espectrales de los componentes del agua que lo hacen una herramienta eficaz para su estudio ya sean cuantitativos o cualitativo. Ejemplo de estos tipos de investigaciones se pueden encontrar en: [6, 7, 8, 9 y 10]
En la mayoría de estos artículos se demuestra como las metodologías utilizadas para estimar los parámetros de calidad de agua a partir de datos in situ dependen de las características específicas de una zona y que por ende no pueden transferirse a otras regiones, aunque hay que decir, que existe una tendencia a desarrollar algoritmos más regionales transferibles o universales que puedan ser utilizados en diferentes regiones principalmente utilizando técnicas de Inteligencia Artificial, ejemplo es el trabajo de [4]

En Cuba el departamento de Geociencias de la Cujae desde el año 2022 trabaja en el proyecto PS113LH001-021 con el título “Aplicaciones de la teledetección al estudio de la variación espacio temporal de los

ecosistemas relacionados con el agua en Cuba" que entre sus objetivos incluye el estudio sobre la calidad de las aguas. Por otro lado, se han realizado varios estudios de calidad de las aguas, por ejemplo, el embalse Abreus en la provincia de Cienfuegos ha sido uno de los más estudiados y resaltan los trabajos de [11, 12 y 13]siendo este último una investigación donde se hace uso de las técnicas de la teledetección para hacer estudio de calidad y se obtienen dos modelos de regresión para la clorofila-a.
El objetivo de esta investigación es proponer una guía para hacer los estudios cualitativos y semicuantitativo de la calidad del agua utilizando las técnicas de teledetección cuando no se cuenta con datos in situ.
Se utilizó el embalse Ejército Rebelde de la Habana Cuba para probar la metodología el cual tiene una extensión suficiente grande para ser estudiada y se extendió los resultados a dos áreas de la región occidental y central que abarcan las escenas 15-44 y 14-45 del Landsat 8.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para estudio de la calidad de las aguas a partir de la teledetección parte por realizar una investigación bibliográfica que nos permita identificar, los materiales necesarios para realizar el trabajo, detectar cuales son los procedimientos que más se emplean, así como determinar qué nuevos aportes podemos hacer, hasta finalmente conformar un grupo de procedimientos para alcanzar el objetivo final.
Se realizó una profunda búsqueda bibliográfica para obtener las principales metodologías y resultados de los procesos empíricos, analíticos semi empíricos incluso los obtenidos por trabajos con inteligencia Artificial.

Estos tipos de investigaciones exigen que se hagan mediciones in situ en los cuerpos de agua estudiados con el objetivo de calibrar y validar los resultados de todo el procesamiento, que según [14] debe ser 60% de estos para calibración y 40% para validación, esto es lógico teniendo en cuenta que la toma de la imagen precisa de factores que dependen del lugar geográfico de donde se obtuvo la imagen, la época del año, las condiciones del tiempo, así como la altura del sol entre otros factores que implican que los valores estimados de los PCA tengan sus diferencias. En este proceso se deben escoger los parámetros que más se correlacionan con la reflectancia de las imágenes dadas por la teledetección, en la tabla 1 se presentan algunos de los más usados.

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua usados más comúnmente en la teledetección. Tomado de [14]

| **Parámetro de calidad del Agua (PCA)** | **Siglas en inglés** | **Unidades** | **Actividad Óptica** |
|---|---|---|---|
| Clorofila-a | CHL-a | µg/l | Activo |
| Profundidad del Disco de Secchi | SDD | m | Activo |
| Temperatura | T | °C | Activo |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | Activo |
| Materia Orgánica disuelta coloreada | CDOM | mg/l | Activo |
| Carbón Orgánico Total | TOC | mg/l | Activo |
| Carbón Orgánico Disuelto | DOC | mg/l | Inactivo |
| Turbidez | TUR | NTU | Activo |
| Salinidad de la superficie del Mar | SSS | PSU | Activo |
| Fósforo Total | TP | mg/l | Inactivo |
| Demanda Química de Oxigeno | COD | mg/l | Inactivo |
| Demanda Bioquímica de Oxigeno | BOD | mg/l | Inactivo |
| Conductividad Eléctrica | EC | µS/cm | Activo |

Para esta investigación fueron seleccionados los parámetros: Clorofila -a y profundidad del disco de Secchi.
El siguiente paso es seleccionar las imágenes que se van a utilizar, para esto debemos tener en cuenta la resolución espacial, radiométrica y temporal, todo eso depende del objetivo de nuestro trabajo, la escala de trabajo y del presupuesto, esto último es importante porque a pesar que hay muchas imágenes con acceso público hay otras de mayor calidad que es necesario pagar para obtenerlas.

Del sitio WEB https://earthexplorer.usgs.gov/ se descargaron las imágenes correspondientes a la escena 16-44, 15-44 y 14-45 del Landsat 8 desde el 2013 al 2024 correspondiente a la colección 2 Nivel 2 que ya viene con la corrección atmosférica por lo que sus valores están dados en reflectancia superficial correspondiente al occidente y la región central de Cuba, de la escena 16-44 se extrajo, la Presa Ejército Rebelde donde fue probada la metodología.

El Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) ofrece varios productos científicos que se encuentran en varias colecciones y niveles en este caso se utilizó el nivel 2 (L2SP) de la colección 2 de sensores infrarrojos térmicos/imagen terrestre operacional.

Estas imágenes vienen con valores de reflectancia de superficie que se generan en el Centro de Ciencia y Observación de Recursos Terrestres (EROS) con una resolución espacial de 30 metros. La misma es una estimación de la reflectancia espectral de la superficie de la Tierra tal como se mediría a nivel del suelo en ausencia de dispersión o absorción atmosférica. Los datos de reflectancia de la superficie Landsat 8-9 se generan a partir del Código de reflectancia de la superficie terrestre (LaSRC) el cual utiliza la banda costera de aerosoles para realizar pruebas de inversión de aerosoles, utiliza datos climáticos auxiliares de MODIS y utiliza un modelo de transferencia radiactiva único.

Como último paso se hizo la conversión de escala de todas imágenes multiplicando por 0,0000275 y sumando (-0,2).

Una vez obtenidas las imágenes se preparó la siguiente metodología que difiere con el esquema general utilizado, porque no se cuenta con datos medidos in situ, por tal motivo la idea es, utilizar algunas de los modelos obtenidos por otros autores y probar cuáles funcionan en las condiciones de Cuba, partiendo de la hipótesis, que a pesar de las diferencias en las condiciones en que fueron obtenidas esas imágenes se puede tener, al menos una valoración cualitativa o semicuantitativa del comportamiento de la calidad de las aguas.

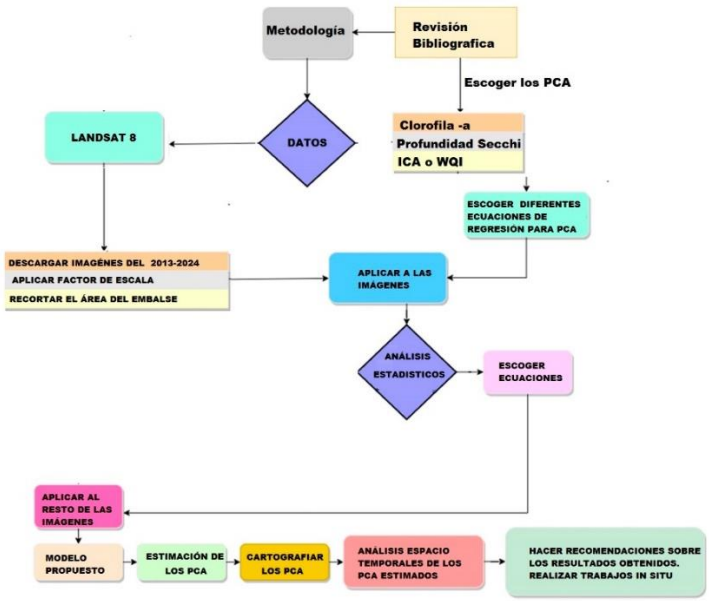



Figura 1. Metodología de trabajo de la investigación

Como resultado de la profunda revisión bibliográfica fueron escogidos algunos modelos de diferentes fuentes donde correlacionaban las imágenes del Landsat con la clorofila-a y la Profundidad del Disco de Secchi.
Clorofila- a. es un pigmento verde presente en algas y plantas que permite la absorción de la luz solar para que realicen el proceso de fotosíntesis. Generalmente es usada como indicador de productividad de algas en ecosistemas acuáticos, es decir que, mediante la concentración de Clorofila-a presente en el agua, se

determina el aumento de biomasa de algas. Por lo general altas concentraciones indican mala calidad del agua. Su aumento se ve influenciado por la presencia de materia orgánica proveniente de las plantas de tratamiento de agua residual, de altos niveles de nutrientes de fertilizantes y escorrentía urbana. El Disco de Secchi permite la medición de la penetración luminosa en el agua por tanto es un reflejo de la turbidez de ríos, lagos y mares.

Se escogió como imagen de prueba la escena LC08_L2SP_016044_20130802_20200912_02_T1 que posee muy bajo porciento de nubes y donde el espejo de agua de la presa se reflejaba perfectamente. Se recortó solamente el área alrededor del embalse para garantizar que los valores de reflectancia del agua sean los mayores dentro de la imagen.

Se aplicaron todos los modelos consultados y como era de esperar la gran mayoría no ofrecían resultados lógicos basados en que estaban fuera de los valores permisibles para la clorofila -a (µg/l) y profundidad del disco de Secchi (m), esto es posible porque muchas veces en los artículos no aparecen las unidades de los parámetros utilizadas para obtener las ecuaciones de regresión además por lo que ya fue mencionado en cuanto a las diferencias de los valores de reflectividad dada las condiciones atmosféricas y geográficas donde fueron captadas las imágenes por otro lado se hacen diferentes correcciones a las imágenes con diferentes algoritmos y en algunos casos utilizan la reflectancia del techo de la atmósfera(TOC) y no la superficial. Las ecuaciones que mejores resultados ofrecieron son las ecuaciones lineales, siendo las peores las exponenciales y las cuadráticas.

Se escogieron 10 modelos para la predicción de la clorofila-a (tabla 2), utilizando como criterio aquellos que tenían los mejores coeficientes de correlación con los datos medidos in situ (siempre con R mayor que 0.8), así como valores de RMS.
Para el caso de la Profundidad del Disco de Secchi se escogieron los modelos propuestos por (Kloiber, Brezonik et al. 2002) dado que para su obtención se tomaron datos de más de 500 lagos de Estados Unidos en varios periodos de tiempo.

Tabla 2. Ecuaciones escogidas para el análisis estadístico.

| ID | Ecuación | Autores |
|---|---|---|
| CHL-1 | $Chl-a = 3.4 * \left(\frac{B3-B2}{B4} + \frac{B5}{B4}\right) + 2.37$ | [15] |
| CHL-2 | $Chl-a = -14.61 * \left(\frac{B2}{B3+B4}\right) + 10.98$ | [16] |
| CHL-3 | $Chl-a = -11.50 * \left(\frac{B2-B3}{B2+B3}\right) + 2.50$ | [16] |
| CHL-4 | $Chl-a = -10.40 * \left(\frac{B1}{B3+B4}\right) + 7.93$ | [16] |
| CHL-5 | $Chl-a = 0.2818 * (\frac{B5+B6}{B4})^{3.497}$ | [17] |
| CHL-6 | $Chl-a = 7.820 * \left(\frac{B1}{B3}\right)^2 - 20.734\left(\frac{B1}{B3}\right) + 13.767$ | [18] |
| CHL-7 | $Chl-a = -9{,}145 * \left(\frac{B4}{B1}\right)^2 + 9{,}639x - 2{,}444$ | [18] |
| CHL-8 | $Log(Chl-a) = 1.05 + 103.37 + B1 - 221.63 * B2 + 119.1 * B3 - 19.09 * B4 + 21.39 * B5$ | [19] |
| CHL-9 | $Chl-a = 4050.2 * B3 - 170.43$ | [20] |
| CHL-10 | $Chl-a = 13{,}053(NDVI) + 12{,}756$ | [21] |

**Análisis exploratorio de los datos**

Del análisis fueron eliminados los resultados de las ecuaciones 5 y 7 porque aparecían muchos valores aislados extremos aleatorios relacionados con zonas de sombras que las ecuaciones aplicadas a las imágenes convertían en valores muy altos o negativos, a pesar que la gran mayoría estaban en los rangos lógicos de

ambos parámetros. La estadística descriptiva, muestra cierta similitud entre los valores del parámetro clorofila-a estimados por los modelos analizados, igualmente sus desviaciones estándar no son muy grandes como se puede observar en la figura 2, solo el modelo CHL10 se aleja de la tendencia.

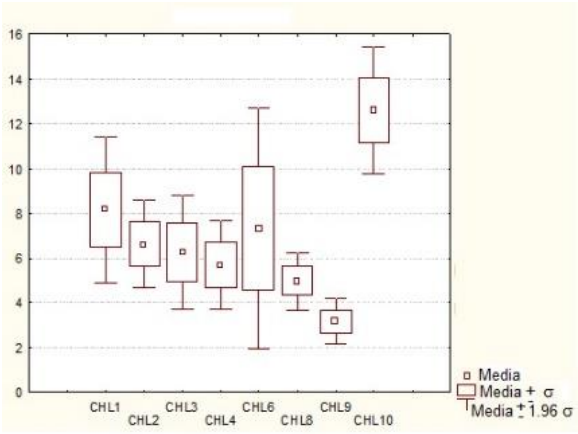



Figura 2. Gráfico de Caja y de Bigotes de los datos de Clorofila-a(µg/l) estimados por las ecuaciones

**Análisis de correlación**

Esta etapa es importante en el trabajo porque se partía del supuesto que, a pesar de las condiciones diferentes en la estimación de los parámetros de calidad del agua, la respuesta de los modelos al menos cualitativamente debería ser similar, aun con todos los factores que intervienen para que esto no sea exactamente así.

Se calcularon los coeficientes de correlación lineal y de Pearson porque se observó que no todos los parámetros estimados por las fórmulas presentan una correlación línea, los resultados se presentan en la figura 3 y las tablas 3 y 4. Como se puede los que mejor coeficiente de correlación posee entre ellos son los modelos CHL1, CH2, CH3, CHL-4 Y CHL-6.

Tabla 3. Matriz de correlación entre los resultados obtenidos por los modelos del ensayo.

| | *CHL-1* | *CHL-2* | *CHL-3* | *CHL-4* | *CHL-5* | *CHL-6* | *CHL-8* | *CHL-9* | *CHL-10* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CHL-1 | 1,00 | | | | | | | | |
| CHL-2 | 0,44 | 1,00 | | | | | | | |
| CHL-3 | 0,50 | **0,95** | 1,00 | | | | | | |
| CHL-4 | 0,45 | **0,97** | **0,94** | 1,00 | | | | | |
| CHL-5 | 0,23 | 0,02 | 0,07 | 0,04 | 1,00 | | | | |
| CHL-6 | 0,46 | **0,97** | **0,94** | **0,99** | 0,05 | 1,00 | | | |
| CHL-8 | 0,70 | 0,41 | 0,44 | 0,37 | 0,17 | 0,36 | 1,00 | | |
| CHL-9 | 0,61 | 0,39 | 0,41 | 0,33 | 0,25 | 0,32 | 0,92 | 1,00 | |
| CHL-10 | 0,84 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 0,24 | 0,02 | 0,63 | 0,53 | 1 |

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson

| Las correlaciones marcadas son significativas para p <,05000 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CHL-1 | CHL-2 | CHL-3 | CHL-4 | CHL-6 | CHL-8 | CHL-9 | CHL-10 |
| CHL-1 | 1,000 | 0,772 | 0,809 | 0,748 | 0,768 | 0,673 | 0,627 | 0,549 |
| CHL-2 | **0,772** | 1,000 | 0,961 | 0,972 | 0,975 | 0,480 | 0,496 | 0,122 |
| CHL-3 | **0,809** | **0,961** | 1,000 | 0,948 | 0,960 | 0,495 | 0,505 | 0,125 |
| CHL-4 | **0,748** | **0,972** | **0,948** | 1,000 | 0,997 | 0,418 | 0,419 | 0,102 |
| CHL-6 | **0,768** | **0,975** | **0,960** | **0,997** | 1,000 | 0,433 | 0,439 | 0,103 |
| CHL-8 | 0,673 | 0,480 | 0,495 | 0,418 | 0,433 | 1,000 | 0,956 | 0,412 |

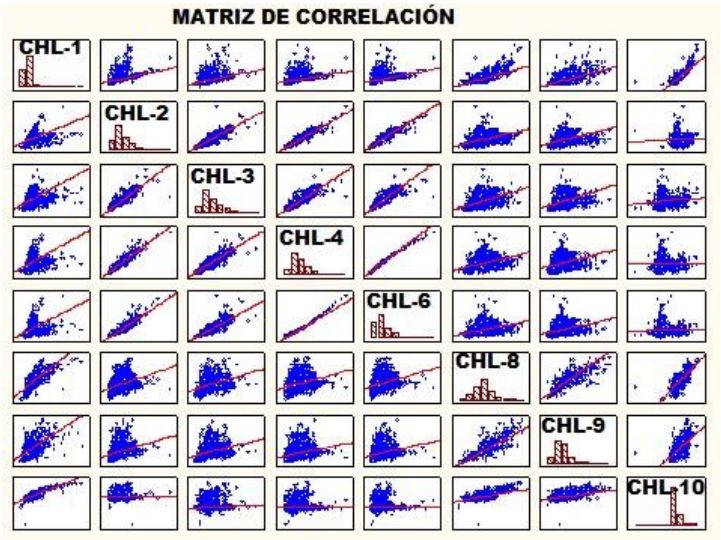



Figura 3. Gráfico de dispersión entre los resultados de las diferentes formulaciones para la clorofila-a.

Como resultado del análisis estadístico finalmente se escogieron 5 modelos para la clorofila-a y uno para la profundidad del Disco Secchi, para ser aplicados en el resto de las imágenes.
En el caso de la clorofila se calcularon las cinco ecuaciones y se promediaron debido a las altas correlaciones que poseen las mismas con esto se garantiza que el resultado final tenga la influencia de varios criterios.

**Obtención de los parámetros de calidad del agua en el Sistema de Información Geográfica**

Se creó un proyecto en ambiente de sistema de información Geográfica utilizando las imágenes obtenidas del sitio de EarthExplorer desde el año 2013 hasta el 2024, el criterio fue utilizar las imágenes que no tuvieran nubes sobre el espejo de agua, en ocasiones hubo que utilizar algunas con nubes por lo que se creaban valores anómalos que hubo que eliminar.

Para probar las ecuaciones se utilizó la imagen LC08_L2SP_016044_20130802_20200912_02_T1, para lo cual se utilizó la calculadora raster del QGis, se puede observar en la figura 4 el comportamiento espacial del parámetro Clorofila-a calculada para todos los modelos.
Para la representación de los parámetros en los mapas se utilizó la clasificación trófica dado por Carlson (tabla 5) aunque se pudo observar durante la investigación bibliográfica que muchos autores hacen modificaciones a estos valores o utilizan las normas propias de sus países.

Tabla 5. Relación entre índice Trófico (IT) clorofila (Chl), y profundidad de Secchi (SD, metros), y la clasificación trófica según [22].

| Índice del Estado Trófico | Chl(µg/l) | SD (m) | Clasificación trófica |
|---|---|---|---|
| <30-40 | 0-2.6 | >8-4 | Oligotrófico |
| 40-50 | 2.6-20 | 4-2 | Mesotrófico |
| 50-70 | 20-56 | 2-0.5 | Eutrófico |
| 70-100+ | 56-155+ | 0.5-<0.25 | Hipertrófico |

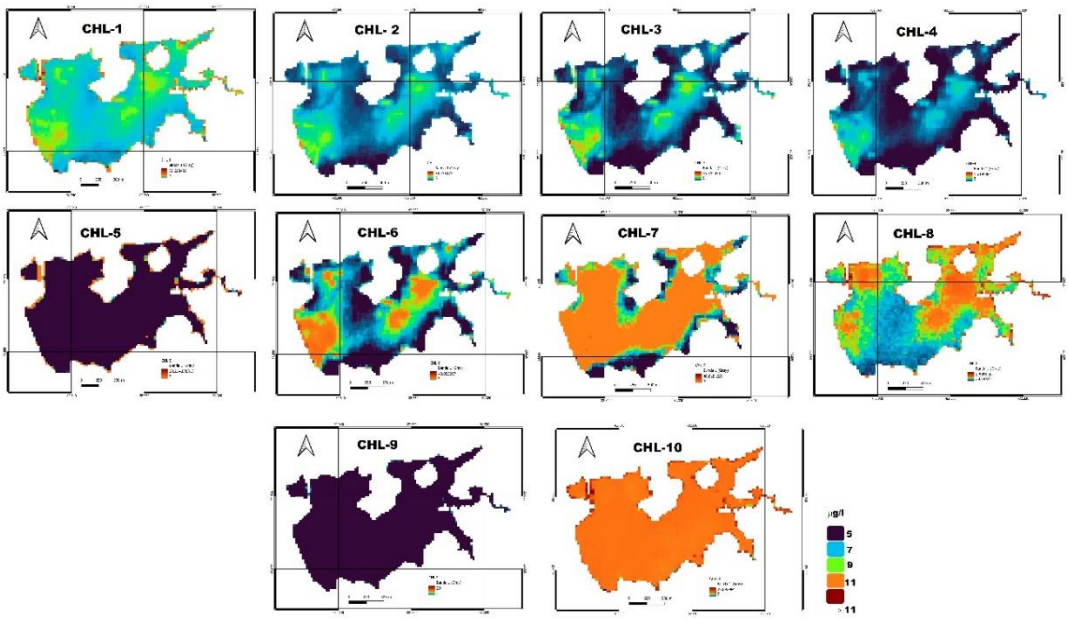



Figura 4. Mapas de clorofila a utilizando los modelos de prueba.

Para el caso de la profundidad del Disco de Secchi se utilizaron las ecuaciones dadas en [23], pudiendo comprobar que todas dieron resultados similares como se puede observar en la figura 5

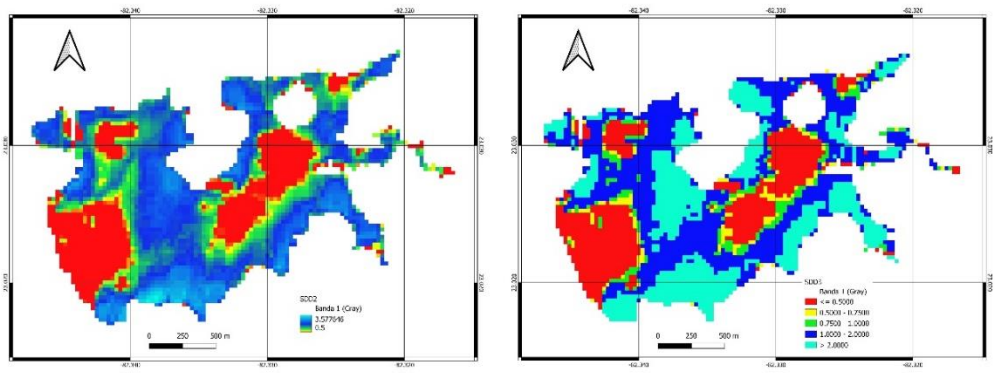


Figura 5. Ejemplos de mapas de Profundidad del disco de Secchi obtenidas por dos modelos propuestos por [23]

Una vez realizado el análisis espacial se corroboró lo obtenido por el análisis estadístico y se llegaron a las siguientes conclusiones:
Existen cinco modelos para la estimación de la clorofila-a que poseen una alta correlación y una buena representación de este parámetro espacialmente, por lo que para obtener valores aceptables que permitan hacer una valoración cualitativa lo más cercana a la realidad se sugiere que se utilicen las 5 y se le halle el

promedio, por ser este el estadígrafo más robusto para este tipo de situación. Los modelos son las siguientes:

Para la clorofila -|a:

$$Chl-a = \left(3.4 * \left(\frac{B3-B2}{B4} + \frac{B5}{B4}\right) + 2.37\right) + \left(-14.61 * \left(\frac{B2}{B3+B4}\right) + 10.98\right) + \left(-11.50 * \left(\frac{B2-B3}{B2+B3}\right) + 2.50\right) + \left(-10.40 * \left(\frac{B1}{B3+B4}\right) + 7.93\right) + (7.820 * \left(\frac{B1}{B3}\right)^2 - 20.734\left(\frac{B1}{B3}\right) + 13.767))/5 \quad (1)$$

Para la profundidad del disco de Secchi:

$$ln(SDD) = 1.066 * \left(\frac{B2}{B4}\right) - 0.0588 * B2 - 0.557 \quad (2)$$

## 3. RESULTADOS

**Análisis espacio temporal de la calidad de las aguas del embalse Ejército Rebelde**

Para realizar este análisis se utilizó la siguiente metodología:
Se escogieron dos imágenes anuales, una para el periodo lluvioso y otro para el seco, en el caso del año 2023 y hasta el 24 se hizo un análisis más continúo utilizando todas las imágenes que no contenían nube. Se utilizaron los modelos propuestos para la clorofila-a, y el de profundidad del Disco de Secchi. Se calculó el Índice espectral del Estado Trófico propuesto por [24]adaptada para el Landsat 8.

$$WQI = \frac{\{B3+(B2-B4)\}-B6}{\{B3+(B2-B4)\}+B6} \quad (3)$$

Se realizó el análisis estadístico de los resultados

Se obtuvo los mapas para un mes del periodo lluvioso y otro para el periodo seco de los dos parámetros y del índice espectral de calidad del agua (WQI) desde el 2013 al 2022 y para el año 2023 se realizó un análisis más continuo y se obtuvieron los mapas de estas mismas variables de todos los meses en que no habían nubes sobre el embalse, los meses que no se pudieron estudiar fueron abril, agosto, octubre y noviembre, se incluyeron los meses de febrero y marzo del 2024.
A manera de ejemplo se presentan los resultados de la metodología para el año 2021 donde se procesaron las imágenes de agosto y diciembre para el periodo lluvioso y seco respectivamente. En la figura 6 se muestra que ambos meses presentan una situación similar en cuanto al comportamiento del parámetro clorofila – a observándose valores altos en las orillas y cercanos a la cortina, asociados principalmente a las presencia de plantas acuáticas, en la zona central existen valores medios mientras que los valores más bajos están al noroeste, en cuanto a la transparencia del agua el parámetro SDD refleja valores medios en casi todo el embalse mientras que el índice de calidad nos presenta con buena calidad de las aguas todo el centro del embalse y con mala calidad las orillas. Ese año fue de una intensa sequía donde hubo un descenso considerable del nivel de las aguas que provocó que la calidad del agua principalmente en las orillas del embalse se clasificara, durante casi todo el año, como mala.

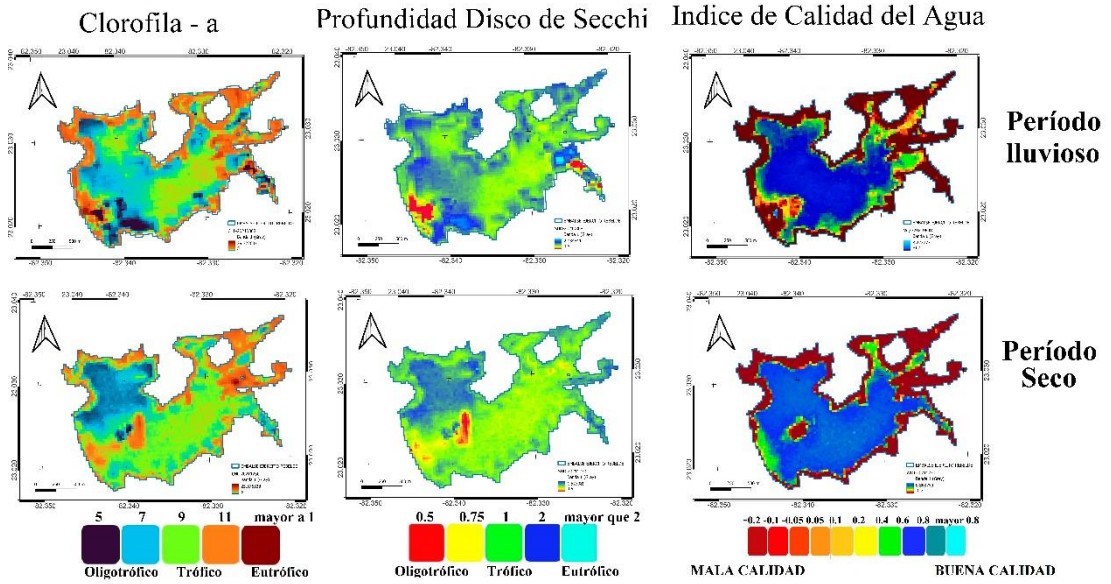



Figura 6. Parámetros de calidad del agua embalse Ejército Rebelde año 2021.

La metodología fue implementada en otras dos zonas del occidente y centro de Cuba donde se pudo constatar los buenos resultados que ofrece la metodología, ya trabajando a una escala más regional donde involucra todos los cuerpos de aguas presentes en una escena del satélite Landsat 8.
Fueron utilizadas las escenas 15-44 y 14-45 y realizados análisis temporales de la calidad del agua de los principales embalses en el periodo 2013 -2024 demostrando que con la metodología propuesta a pesar que no se tienen mediciones in situ de los parámetros de calidad de agua se pueden obtener valores semicuantitativos que a pesar que no están validados, al menos dan una idea del comportamiento de la calidad de las aguas con el tiempo como se puede observar en las figuras 7 y 8.

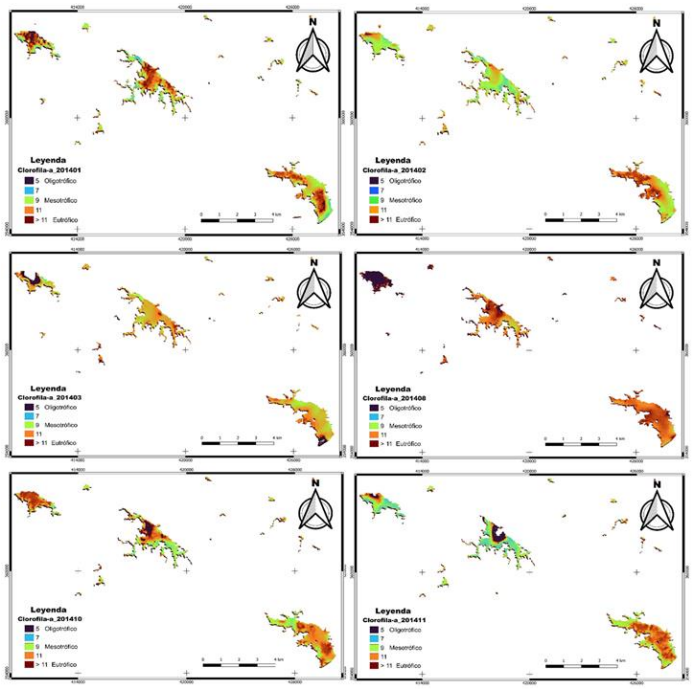


Figura 7. Contenido de Clorofila- a estimado por teledetección de los embalses Jibacoa, Canasí y Caunavaco en varios meses del año 2014.

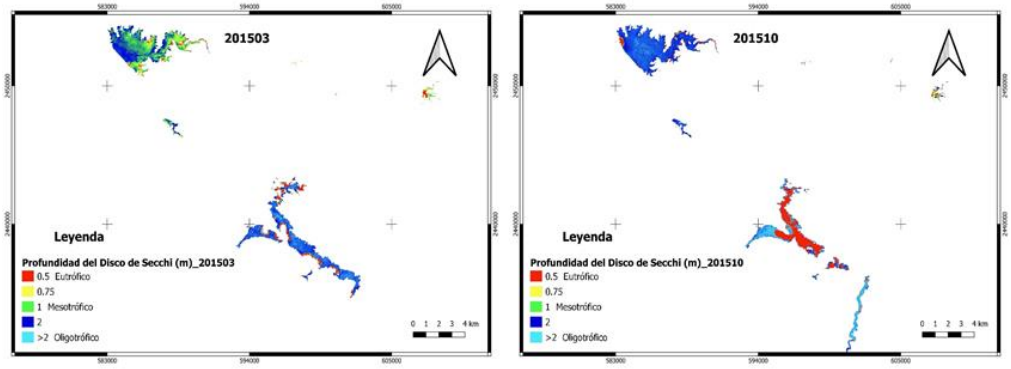



Figura 8. Profundidad del Disco de Secchi estimado por teledetección en los embalses Hanabanilla y Avilés mes de marzo y octubre del 2015.

## 4. CONCLUSIONES

1. Se propone una metodología que se basa en calcular dos parámetros de calidad del agua y un índice espectral que fue implementada en dos áreas pudiendo hacer el análisis temporal de la calidad del agua en el periodo 2013-2024.
2. Para el cálculo de la clorofila-a se utiliza la media de 5 modelos de regresión obtenidos por otros autores.
3. Para el cálculo de la Profundidad del Disco de Secchi se utilizan los modelos propuestos por Kloiber porque se adaptan muy bien a las condiciones de Cuba.
4. El análisis de los parámetros de calidad de las agua clorofila-a y Profundidad del Disco de Secchi, así como el índice WQI para el periodo seco y lluvioso, demuestran el carácter estacional de los mismo, observándose las peores condiciones de calidad en los meses del periodo lluvioso.

**RECONOCIMIENTOS**

Agradecemos al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) la posibilidad de realizar esta investigación, así como por los intercambios obtenidos con ellos. Agradecemos también a los colegas del departamento de Geociencias de la Cujae que participan en el proyecto PS113LH001-021 con el título "Aplicaciones de la teledetección al estudio de la variación espacio temporal de los ecosistemas relacionados con el agua en Cuba"

**REFERENCIAS**

1. INE. 2021. Indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [en línea]. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/ODS/es/index.htm [Consulta en: febrero de 2023].
2. ONU. 2023. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [en línea]. Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/ [Consulta en: marzo de 2023].
3. ONU. 2020. Metodología de seguimiento del indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
4. ADJOVU, G. E., H. STEPHEN, D. JAMES AND S. AHMAD Overview of the Application of Remote Sensing in Effective Monitoring of Water Quality Parameters. Remote Sensing, 2023, 15(1938), 35.
5. SAGAN, V., K. T. PETERSON, M. MAIMAITIJIANG, P. SIDIKE, et al. Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. In ELSEVIER. Version of Record: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825220302336. 2020.
6. AWFA, D., A. N. WICAKSON, PUTRA, RADEN AND P. SOEWONDO Remote sensing estimation of water transparency for Saguling Dam in the past decade (2013-2022) based on Landsat 8. E3S Web of Conferences, 2024, 485(03303).

7. ELLIS, E. A., G. H. ALLEN, R. M. RIGGS, H. GAO, et al. Bridging the divide between inland water quantity and quality with satellite remote sensing: An interdisciplinary review. WIREs Water / Early View, 2024, e1725, 91.
8. IVANDA, A., L. ŠERIĆ, D. ŽAGAR AND K. OŠTIR An application of 1D convolution and deep learning to remote sensing modelling of Secchi depth in the northern Adriatic Sea. Big Earth Data, 2024, 8(1), 82-114.
9. JASSAM, J. D., I. A. MAWLOOD AND K. N. SAYL Applying Remote Sensing and Artificial Neural Networks for Water Quality Index Modeling in the Euphrates River. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, Abril 2024, 19(2), 605-611.
10. STEINBACH, S., A. RIENOW, M. W. CHEGE, N. DEDRING, et al. Low-Cost Sensors and Multitemporal Remote Sensing for Operational Turbidity Monitoring in an East African Wetland Environment. IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, 2024, 17, 20
11. BETANCOURT, C., R. SUÁREZ AND L. TOLEDO Variabilidad iónica y características tróficas del embalse de Abreus, Cuba. Limnetica, 2010, 29(2), 341-352.
12. PERAZA, R. Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Universidad de la Habana, 2017.
13. CORCHO AMADO, J. A. AND A. VALLE POMBROL Empleo de técnicas de percepción remota para la estimación de clorofila-a en el embalse Abreus. Revista Cubana de Geomática, 2022, 2550, 16
14. GHOLIZADEH, M. H., A. M. MELESSE AND L. REDDI A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. Sensors, 2016, 16(1298), 43.
15. DIÉDHIOU, C., S. DIOP, G. FAYE, T. MOSHOD, et al. Study on the Applicability of Landsat-8 Images as a Tool for Monitoring the Trophic State of Lake Guiers (Senegal). Journal of Water Resource and Protection, 2019, 11, 434-447.
16. MENG, H., J. ZHANG AND Z. ZHENG Retrieving Inland Reservoir Water Quality Parameters Using Landsat 8-9 OLI and Sentinel-2 MSI Sensors with Empirical Multivariate Regression. International Journal of Environment Research and Public Health., 2022, 19(3), 7725.
17. WIJAYA, D. R. P., R. HARIBOWO AND J. E. Evaluation of Landsat 8 imagery capability to estimate chlorophyll-a concentrations using spatially and temporally different data. Civil and Environmental Science Journal (CIVENSE), 2023, 06(01), 015-023.
18. OMONDI, A. N., Y. OUMAA, J. R. KOSGEIA, V. KONGOB, et al. Estimation and mapping of water quality parameters using satellite images: a case study of Two Rivers Dam, Kenya. Water Practice & Technology, 2023, 18(2), 428.
19. MATUS-HERNÁNDEZ, M. A., N. Y. HERNÁNDEZ-SAAVEDRA AND R. O. MARTÍNEZ-RINCÓN Predictive performance of regression models to estimate Chlorophyll-a concentration based on Landsat imagery. PLoS ONE, 2018, 13(10).
20. OUMA, Y. O., K. NOOR AND K. HERBERT Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. Hindawi Journal of Sensors, 2020, 2020, 21.
21. MORILLO, G., G. J. ALDANA, Á. PINEDA AND G. A. ROYERO Estimación de clorofila a en el Lago de Maracaibo, Venezuela utilizando imágenes LANDSAT 8. REVISTA MAPPING, 2018, 27(188), 4-14.
22. CARLSON, R. AND J. SIMPSON. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. USA: 1996.
23. KLOIBER, S. M., P. L. BREZONIK AND M. E. BAUER Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity. Water Research, 2002, 36(2002), 4330–4340.
24. SULTANA, M. S. AND A. DEWAN A reflectance-based water quality index and its application to examine degradation of river water quality in a rapidly urbanising megacity. Environmental Advance, 2021, 5.

**sobre los autores**

**Dr. Héctor Manuel Fernández Núñez** Doctor en Ciencias Técnicas desde diciembre del 2006, Master en Ingeniería Geofísica desde 1998. Ingeniero geofísico desde 1994. Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana. Coordinador del programa de doctorado de Geofísica Aplicada, miembro del Claustro de la maestría de Geofísica Aplicada. Perteneciente al comité editorial de la revista Anuario de Geología de la Sociedad Cubana de Geología. Evaluador de la revista GEOCIENCIAS UO de la Universidad de Olmeca México.

**Ingeniera Isabela Díaz Pérez.** Graduada de ingeniera geofísica 2023. Profesora adiestrada del Departamento de Geociencias de la facultad de ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría

**Ingeniera Daily González Henríquez.** Graduada de ingeniera geofísica 2023. Profesora adiestrada del Departamento de Geociencias de la facultad de ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# USO DEL RADAR DE SUBSUELO PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL MUNICIPIO SAN ANTONIO DEL SUR, GUANTÁNAMO, CUBA

**Juan Inocencio Medina-Hechavarría [(1)], Joendris Manual Castellanos [(1)], Sandra Y. Rosabal Domínguez[(1)]**

[1]Empresa GEOCUBA Oriente Sur
chenchomedina1962@gmail.com, joendrismanualcastellano@gmail.com,
rosabaldominguezsandra@gmail.com

**RESUMEN**

Históricamente, en hidrogeología se han utilizado técnicas geofísicas para determinar la ubicación de los acuíferos, definir la litología, los contactos litológicos presentes en la zona y la caracterización del yacimiento de agua subterránea.
El objetivo de esta investigación es proponer áreas favorables para la prospección de aguas subterráneas en la parte baja de la cuenca hidrográfica de Sabanalamar. Se midieron cinco perfiles con el método de geo-radar que permitió caracterizar con alta precisión la sección geológica, brindando información sobre la secuencia estratigráfica, así como la profundidad del nivel freático y el manto rocoso.
La variación en la amplitud de la onda electromagnética y su velocidad puede estar relacionada con la variación en la constante dieléctrica, bajo la influencia de la humedad y porosidad del material presente en la zona, especialmente en la frontera entre la arena limosa y la grava de mayor tamaño.
La interpretación del método de geo-radar indica que el nivel freático de la zona se encuentra entre las profundidades de 3,0 y 4,0 m.

**Palabras clave**: acuíferos, litología, ambiente arenoso costero, geo-radar

# USE OF THE UNDERGROUND RADAR FOR GROUNDWATER PROSPECTING IN THE MUNICIPALITY OF SAN ANTONIO DEL SUR, GUANTÁNAMO, CUBA

**ABSTRACT**

Historically, in hydrogeology, geophysical techniques have been used to determine the location of aquifers, define the lithology, the lithological contacts present in the area and the characterization of the underground water reservoir.
The objective of this research is to propose favorable areas for groundwater prospecting in the lower part of the Sabanalamar hydrographic basin. Five profiles were measured with the geo-radar method that allowed the geological section to be characterized with high precision, providing information on the stratigraphic sequence, as well as the depth of the water table and the rock mantle.
The variation in the amplitude of the electromagnetic wave and its speed may be related to the variation in the dielectric constant, under the influence of the humidity and porosity of the material present in the area, especially on the border of silty sand with larger gravel size.
The interpretation of the geo-radar method indicates that the water table of the area is between the depths of 3.0 and 4.0 m.

Keywords: aquifers, lithology, coastal sandy environment, geo-radar

## 1. INTRODUCCIÓN

El Geo-radar, radar de subsuelo conocido como GPR es una técnica relativamente nueva para la investigación a poca profundidad del subsuelo. Este radia cortos impulsos de energía electromagnética (EM) de radio-frecuencia (entre 10 MHz y 2.5 GHz) al subsuelo mediante una antena transmisora. En este régimen de frecuencias la velocidad de propagación permanece prácticamente constante y la señal de radar no se dispersa en forma de velocidades dependientes de la frecuencia. Cuando la onda radiada encuentra heterogeneidades en las propiedades eléctricas de los materiales del terreno, parte de la energía se refleja nuevamente hacia la superficie y parte se transmite alcanzando mayor profundidad. La señal reflejada es captada a través de una antena receptora, amplificada, transformada al espectro de audio-frecuencia, registrada, procesada e impresa, de forma que el geo-radar produce perfiles continuos de alta resolución similares a los obtenidos en sísmica de reflexión con relativamente bajos costos.

Sus aplicaciones en ambientes arenosos costeros, incluyen información sobre la secuencia estratigráfica en el área, así como la detección y profundidad del nivel freático y el manto rocoso.

A nivel internacional diversos son los trabajos que han aplicado el método georradar para la búsqueda de agua subterránea y para el estudio de la zona no saturada del suelo en diferentes ambientes geológicos con resultados satisfactorios, así como para la mejora del rendimiento de la red hídrica [1-11].

En área objeto de estudio son escasas las investigaciones geofísicas desarrolladas. Se destacan las investigaciones de [12] en el desarrollo del proyecto Arena Sabanalamar.

El propósito de esta investigación es proponer las áreas potencialmente favorables para la prospección de las aguas subterráneas en la parte sur de la cuenca hidrográfica Sabanalamar.

***Características generales del sector de estudio.***

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica del sector de estudio en la cuenca hidrográfica del río Sabanalamar en la provincia de Guantánamo, Cuba oriental. Abarca un área de 3.22 km$^2$.

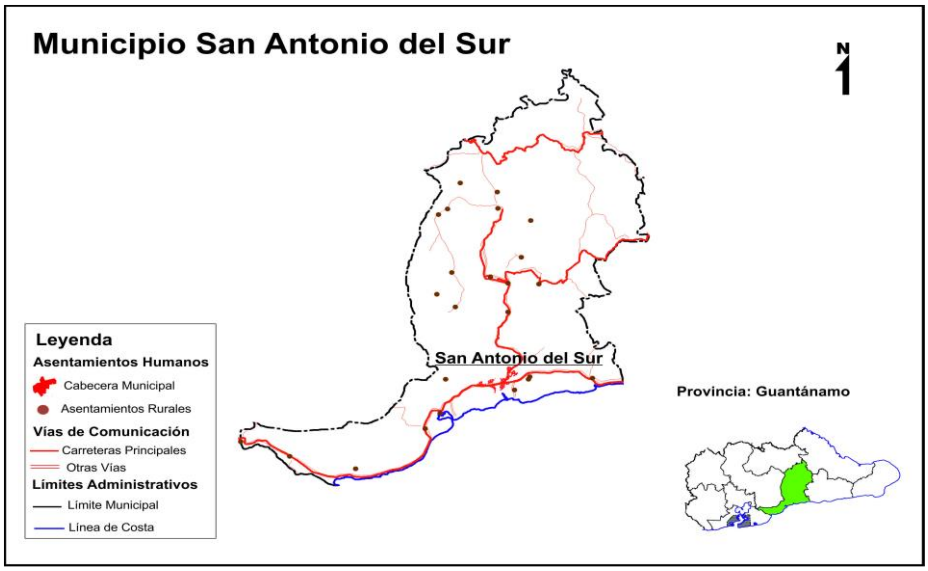



Figura No. 1. Ubicación geográfica del área de estudio en el municipio San Antonio del Sur

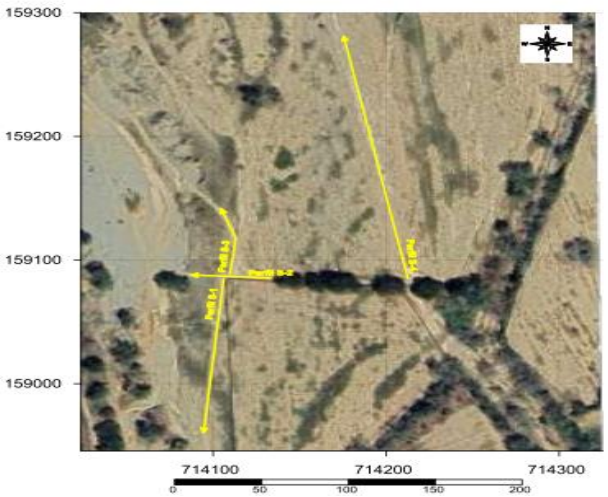



Figura No. 2. Ubicación de los perfiles de georradar.

La tabla 1 muestra las líneas levantadas con el geo-radar en el sector de estudio.

Tabla 1. Líneas levantadas con el geo-radar en el sector de estudio

| Línea Geo-radar | Longitud (m) | Rumbo | Antena Utilizada (MHZ) |
|---|---|---|---|
| PS-1 | 120 | N - SW | 100 |
| PS -2 | 42 | NW - SE | 100 |
| PS -3 | 52 | S - NW | 100 |
| PS -4 | 220 | S - NW | 100 |
| TOTAL | 434 | - | - |

***Características geológicas e hidrogeológicas del sector de estudio***

La caracterización geológica del sector fue realizada considerando el mapa geológico digital [13] y su descripción [14].

Formación Río Sabanalamar (rsb) compuesta por: guijarros, en ocasiones conglomerados débilmente cementados, con intercalaciones y lentes de arenas arcillosas, de color gris y gris amarillento. Edad: Pleistoceno Superior, parte baja. [14].

Formación Río Macío (río): Unidades del Holoceno innominadas. Se caracteriza por poseer litologías como depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Edad Cuaternario [14].

La red hidrográfica está bien desarrollada, destacándose el rio Sabanalamar que nace en la Sierra El Purial, descargando sus aguas en la bahía de Sabanalamar (Mar Caribe). En periodo seco (estiaje) el caudal del río se deprime hasta sus aguas corren subterráneamente por las terrazas aluviales.

Las características hidrogeológicas demuestran que el tipo de cuenca es abierta, que el acuífero es sin presión, su yacencia de las aguas subterráneas oscila de 3,0 -10,0 m, y la mineralización de las aguas es inferior a 1 g/l.

***Hidrogeología***

En el año 2021 la estación del Valle de Caujerí, la más cercana al área de estudio, reportó 527,2 mm de lluvia, siendo la menor cifra de las estaciones de la provincia, significando 476,9 mm por debajo de la media provincial y 601,5 menor que la media nacional. [15].

Las mediciones de profundidad del agua subterránea permitieron confeccionar el mapa de hidroisohipsas de la zona baja de la cuenca, ubicada en la parte norte de la Carretera Central que va hacia Imías y el este del vial que va hacia el valle de Caujerí (Figura 3).

El comportamiento de las hidroisohipsas corrobora la marcada influencia del relieve, los ríos y afluentes y depresiones del terreno existentes en la zona, disminución de la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas hacia el sur, que resulta ser la zona de descarga con dirección al río Sabanalamar.

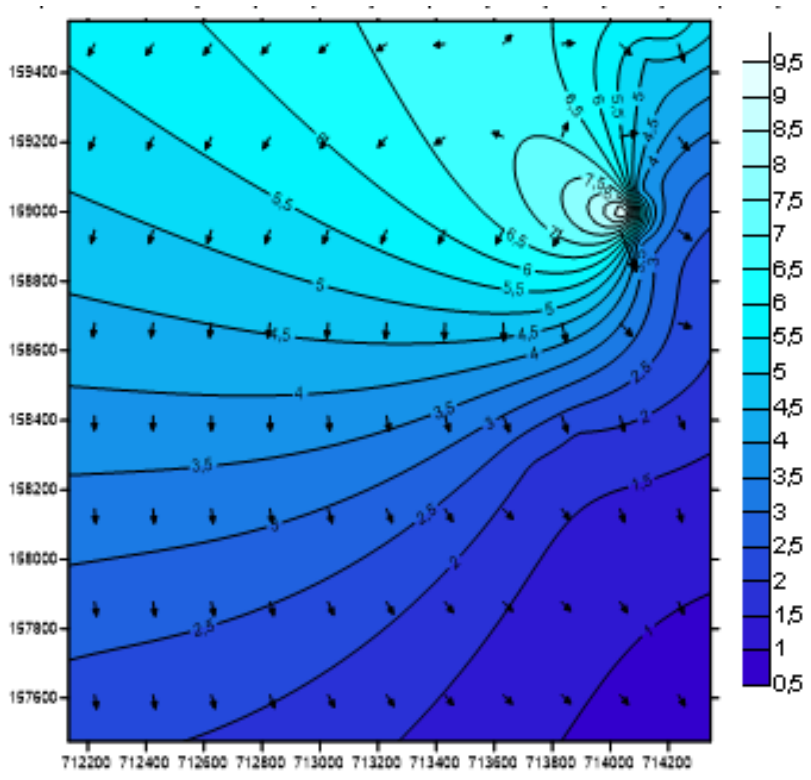



Figura No.3. Mapa de hidroisohipsas con el flujo del agua

El nivel freático en la zona investigada está entre los 3,0 y 4,0 m encontrándose los niveles más altos en la zona próxima a la carretera.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materiales se utilizaron los mapas y resultados derivados de las investigaciones precedentes.

La primera actividad para efectuar este trabajo fue recopilar la información disponible del área tal como, los resultados del levantamiento geológico por la brigada cubano – húngara de la región Oriental de Cuba y su mapa geológico a escala 1:100 000 del Instituto Cubano de Geología y Paleontología (IGP). Plano de ubicación del sector prospectado, registros de información geológica superficial, etc. Los trabajos de georradar se realizaron usando el equipo MALA GROUND EXPLORER (GX) de la compañía sueca ABEM (Figura No.8) compuesto por, cuatro antenas de alta frecuencia y definición (de 80,100, 160, 450 y 750 MHz), cada una hace función de emisora y receptora, un transportador todo terreno y bandeja de arrastre con un odómetro implantado en una de sus ruedas, un sistema de control de datos con GPS incluido y baterías de 12 v.

Luego, en campo, se efectuaron las 4 líneas de geo-radar-GPR sobre el terreno indicado que permitieron conocer las características del subsuelo hasta una profundidad de hasta 10 m y en algunos casos hasta 15 m. Finalmente, en gabinete, se procesaron los radargramas obtenidos en campo, generando información filtrada, que luego de analizarse permitieron determinar las características físicas del subsuelo, determinar las condiciones geoestructurales e inferir el comportamiento del subsuelo.

Fue consultado el informe de [12], desarrollado en la propia cuenca de la provincia Guantánamo, donde el complejo de métodos empleado (Geo-Radar y SEV), definió los estratos con propiedades físicas contrastantes, lo que permitió establecer las diferentes capas y la existencia probable de depósitos de arena.

Se utilizó la antena de 100 MHz de frecuencia del tipo RTA (*Rought Terrain Antenna)*, es una configuración *all on line*, donde transmisor y receptor se ubican en un mismo eje. Esta antena cumple con la profundidad de estudio (15 m) de modo que, cuando mayor es la frecuencia la profundidad de estudio es menor y precisión deseada, siempre que las características del perfil geológico sean favorables, con la posibilidad de detectar objetos de hasta 4 cm con esta antena.

Para realizar las mediciones con el método georradar se trazó una red poco uniforme dadas las condiciones topográficas del terreno, realizándose cuatro perfiles en diferentes direcciones. La captación del dato en todos los perfiles se realizó tomando una medición cada 0,50 m aproximadamente lo que permitió obtener una imagen continua del subsuelo con buena definición lateral y vertical del perfil geológico.

Una vez efectuado el procesamiento de los radargramas, se definieron los tipos de anomalías en estos. Las anomalías están representadas por: reflectores hiperbólicos (anomalías de tipo hiperbólico), que pueden constituir bloques de roca, cavidades, etc., reflectores lineales (horizontales, verticales, inclinados o curvos), que corresponden a las interfaces entre dos medios de diferentes propiedades electromagnéticas indicando la presencia de diferentes capas, nivel freático, fracturas y fallas. Así también si estos pueden indicar cavidades o removimientos del suelo y la secuencia estratigráfica.

**Parámetros y características importantes**

Capacidad de penetración.

Las ondas electromagnéticas pueden penetrar una distancia determinada antes de atenuarse. Dicha distancia es la profundidad nominal de penetración ($1/\alpha$) y para cinco veces este valor se considera que el campo se ha atenuado por completo, aunque a efectos prácticos, la señal deja de recibirse antes [16]. En la tabla 2 se tiene una recopilación de valores típicos de permitividad relativa, conductividad, velocidad y factor de atenuacion para una frecuencia de 100 MHz.

Tabla 2. Características de una onda para una frecuencia de 100 MHz (Milsom, 1996)

| **Material** | $\epsilon_r$ | **σ (mS/m)** | $v$ **(m/ns)** | $\alpha$ **(dB/m)** |
|---|---|---|---|---|
| Aire | 1 | 0 | 0,30 | 0 |
| Hielo | 3-4 | 0,01 | 0,16 | 0,01 |
| Agua dulce | 80 | 0,5 | 0,033 | 0,1 |
| Agua salada | 80 | 3000 | 0,01 | 1000 |
| Arena seca | 3-5 | 0,01 | 0,15 | 0,01 |
| Arena húmeda | 20-30 | 0,01-1 | 0,06 | 0,03-3 |
| Limo | 5-30 | 1-1000 | 0,7 | 1-100 |
| Caliza | 4-8 | 0,5-2,0 | 0,12 | 0,4-1 |
| Granito | 4-6 | 0,01-1 | 0,13 | 0,01-1 |




Figura No. 4. Georradar con sus cuatro antenas

Para el procesamiento e interpretación de la información obtenida con el método Geo-Radar se utilizaron los siguientes programas:

Ramac GroundVision, suministrado por la firma Mala Geoscience, Suecia, Reflexw2D, adquirido por Geominera Oriente a Sandmeier Software, Alemania y el Surfer v11.

## 3. RESULTADOS

En esta zona se realizaron 4 perfiles de georradar en aquellos sectores de fácil acceso como los caminos y terraplenes, con un total de 434 m de medición en los cuatro perfiles realizados. Algunos radargramas presentan discontinuidades o cambios abruptos en el patrón de reflexiones del radargrama. Los perfiles de georradar en este punto muestran discontinuidades verticales u oblicuas que pueden indicar desplazamientos en el material subyacente (Figura No. 5).

Los filtrados de análisis del espectro muestran las zonas más finas como las arcillas con bajos valores de amplitudes destacadas en color azul, los limos y las arenas se representan en valores elevados en colores rojo y magenta (Figura No. 6).

La interpretación de los radargramas reveló que la zona con mayor probabilidad de existencia de humedad en las arcillas es la zona Oeste, lo que no quiere decir que sea indicador de la existencia de acuíferos, específicamente a los 30 y 100 m de longitud del Perfil -1 y a los 6 m de longitud del Perfil -2, sobre los 4 m de profundidad. El nivel freático en esta zona se encuentra ente los 3,0 – 4,0 m de profundidad.

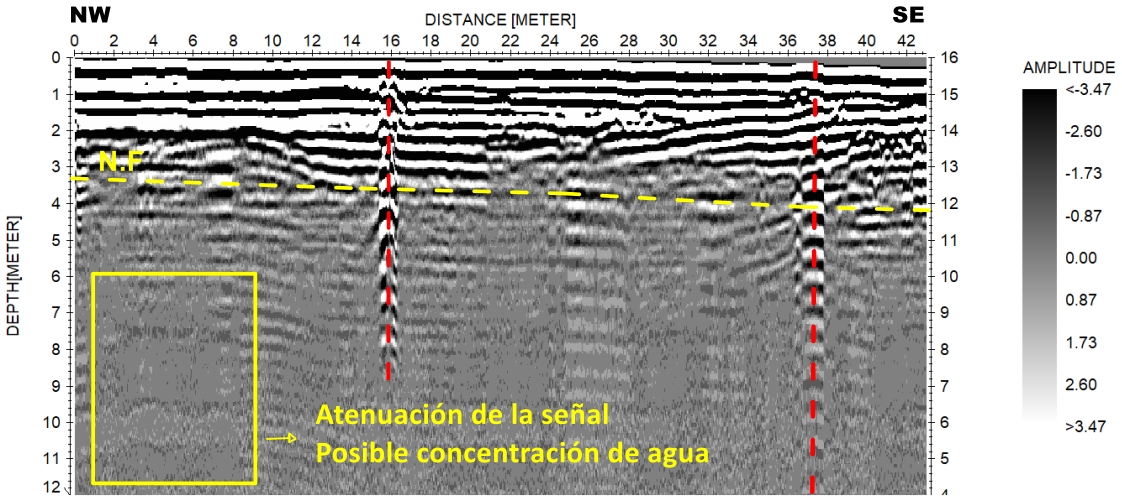



Figura No. 5. Radargrama del perfil 2

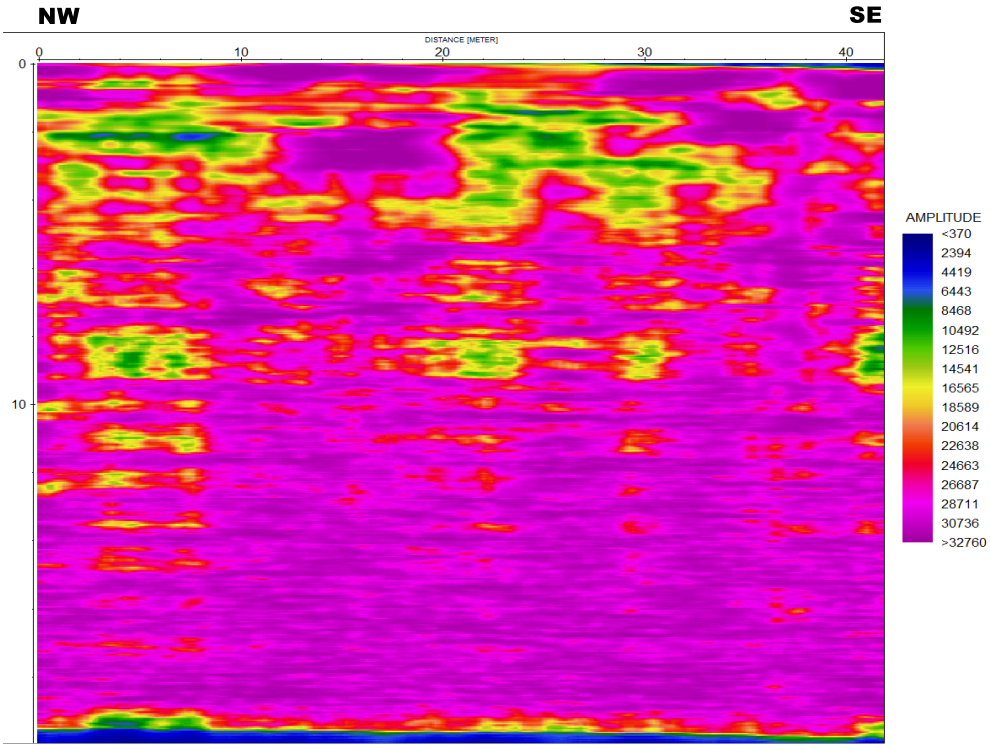



Figura No. 6. Filtrado de análisis de espectro

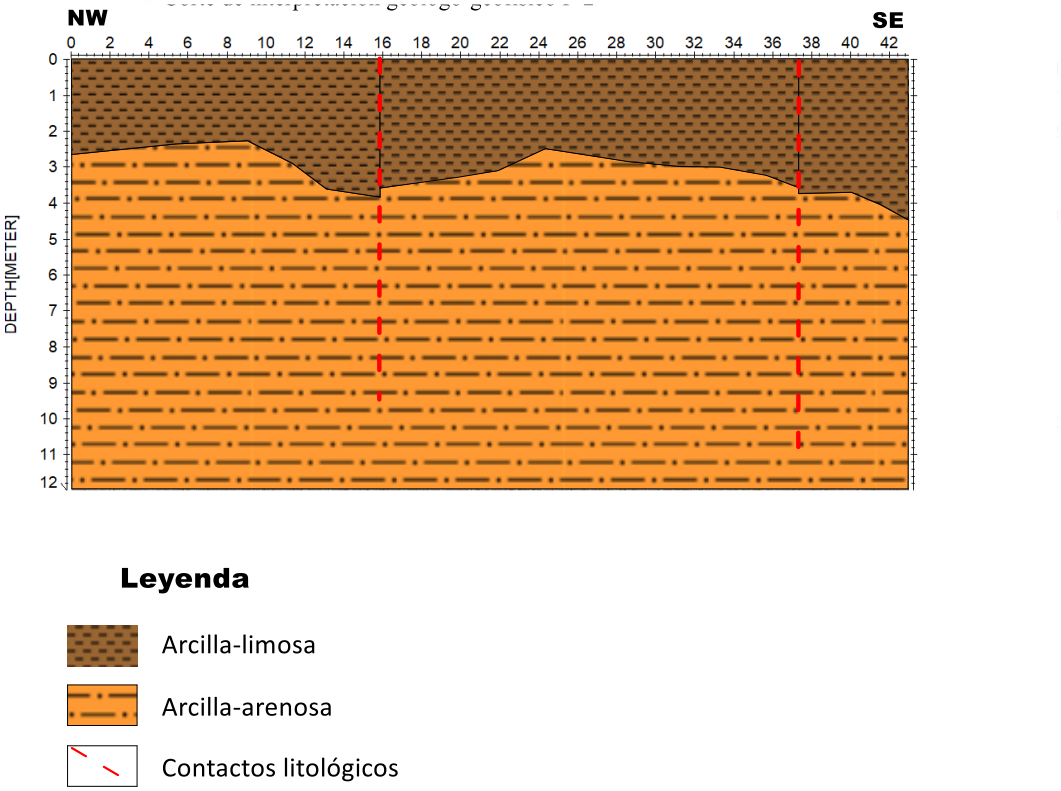



Figura No. 7 Corte de interpretación geólogo-geofísica del perfil 2

La presencia de agua en los radargramas se interpreta principalmente a través de sus efectos en la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas y en la respuesta de la señal. A continuación, se explican algunos puntos clave sobre cómo se interpretan éstos en los radargramas:

1. Velocidad de propagación: El agua tiene una permitividad eléctrica más alta que el aire y otros materiales como el suelo seco. Esto significa que las ondas electromagnéticas se propagan más lentamente en el agua. Por lo tanto, al analizar un radargrama se puede observar un cambio de velocidad de las ondas cuando atraviesan capas de agua. En el perfil-1 y perfil -3 son más notables estos casos.

2. Reflexión y atenuación: El agua puede causar una fuerte reflexión de las ondas del georradar, especialmente si hay una interfaz entre el agua y un material con permitividad diferente (como sedimentos o roca). Esta reflexión se verá como un aumento de la amplitud de la señal en el radargrama. Además, el agua puede atenuar señales, especialmente si hay sedimentos o impurezas presentes.

3. Identificación de capas: En un radargrama, las zonas donde se encuentra agua pueden aparecer como capas horizontales o zonas con características específicas, dependiendo de la geometría del acuífero o del cuerpo del agua. Las interfaces entre el agua y otros materiales pueden ser claramente visibles.

4. Interpretación contextual: Es importante considerar el contexto geológico y la historia del área de estudio. La presencia de agua puede estar asociada a acuíferos, cuerpos de agua superficiales o condiciones de saturación del suelo.

## 4. DISCUSIÓN

La utilización del método de geo-radar para resolver las tareas hidrogeológicas en el sector de estudio fue resuelta como se muestra en el presente trabajo, que incluye información sobre la secuencia estratigráfica, así como la detección y profundidad del nivel freático y el manto rocoso. Con la antena de 100 MHZ se

logró una mayor penetración para definir la interface arcilla-limosa con la arcilla-arenosa y determinar el espesor de cada capa. El nivel freático es visible en los radargramas, debido a la alta porosidad del volumen de la capa arcilla-arenosa. Comparando los resultados de los radargramas con las mediciones efectuadas para determinar el nivel freático de algunos pozos presente en el área se pudo determinar que la profundidad del nivel freático oscila en 3,0 m y 4,0m.

## 5. CONCLUSIONES

La variación de la onda electromagnética y su velocidad puede estar relacionada con la variación de la constante dieléctrica del área, estando influenciada por la humedad y la porosidad del material presente en la zona, sobre todo en la frontera arcilla-limosa y arcilla-arenosa con gravas de mayor granulometría, en esta última se observó un incremento de la velocidad de las ondas electromagnéticas.

La utilización del método geofísico de geo-radar para resolver las tareas hidrogeológicas en la zona de estudio fue exitosa al lograr la detección de la capa freática, por lo que se propone ubicar pozos en la zona más al noroeste del sector objeto de estudio. Mediante la comparación de los resultados de la interpretación de los radargrama con las mediciones del nivel freático de algunos pozos presente en el área se pudo determinar que la profundidad del nivel freático se encuentra entre 3,0 m y 4,0 m.

## 6. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a Geocuba Oriente Sur y Geocuba Oriente Norte, por el apoyo en la realización de este trabajo.

## 7. REFERENCIAS

1- GARCÍA, F; CANAS, J., CLAPES, J., OSORIO, R; PUJADES, L. "Aplicaciones de Geo-Radar para determinar oquedades en el futuro emplazamiento de las pilas de sostenimiento de un viaducto". Geogaceta, 1996.

*2-* ANNAN A. Piter. "*Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures & Applications. Sensors & Software Inc*", *Mississauga, 2003.*

*3-* Carcione, J. et al. "*Acoustic and electromagnetic properties of soils saturated with salt water and NAPL*". *Journal of Applied Geophysics, 2003, 52 (4): 177-191 pp.*

4- LAPAZARAN, Javier. 2004: "Técnicas de procesado de datos de georradar y su aplicación al estudio del régimen termodinámicos de los glaciales frio y politérmicos". Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias. Universidad politécnica de Madrid, España, 2004.

5- BISKUP, K; LORENZO H; ARIAS Pedro. "Aplicabilidad del radar de subsuelo para el estudio de la zona no saturada del suelo: ejemplos en ambientes arenosos costeros. Estudios de la Zona no Saturada del Suelo" F.J. Samper Calvete y A. Paz González, 2005.

6- TAVERA, Mario. "Aplicación del georradar para la mejora del rendimiento de una red hídrica". Título en opción al grado de máster en ingeniería hidráulica y medio ambiente. Universidad politécnica de Valencia, España, 2008.

7- HERNÁNDEZ, Álvaro. "Métodos Geofísicos para la Determinación de Características de Acuíferos para su Recarga Artificial mediante Lagunas de Infiltración". Tesis para obtener el título de Ingeniero Geofísico. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2017.

8- SCHWARCK, C; BAENA, G; ZAMBRANO, Oscar. "Estudio hidrogeofísico del sector Papelón, Zona Rural de El Hatillo, estado Miranda, Venezuela". Revista Latino-Americana de Hidrogeología,2020, Vol. 11, Núm. 2, p. 8-18.

9- SOLDI, Mariangeles. "Modelos de flujo de agua y de exceso de densidad de carga en medios porosos de saturación variable. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias". Universidad Nacional de la Plata, Argentina, 2020.

10- Ruffell, A et al. "Water Penetrating Radar". Journal of Hydrology, 2021. Volumen 597, 126300.

11- Zhang, M. et al. "Review of Ground Penetrating Radar Applications for Water Dynamics Studies in Unsaturated Zone. Journals Remote Sensing, 2022, volume 14 (23), 5993.

12- Dussac, O. Allen, J., Carmenaty, E. 2017: "Informe de los trabajos geofísicos realizados en el proyecto Arena Sabanalamar". Fondos de la Empresa Geominera Oriente, Santiago de Cuba, Cuba 2017.

13- (IGP). Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, 2003.

14- (IGP). Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de Energía y Minas, La Habana, 2013.

15- ONEI. "Panorama Ambiental. Cuba 2021". Oficina Nacional de Estadísticas e Información, La Habana, 2021.

16- CIMADEVILA, Henrique Lorenzo. "Prospección geofísica de alta resolución mediante geo-radar. Aplicación a obras civiles". Tesis. Universidad Complutense de Madrid, 1994.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS EN EL SISTEMA ACUÍFERO SALTO-ARAPEY EN SALTO, URUGUAY

**Julián Ramos[1,2], Gonzalo Blanco[3], Orlando Carraz[4], Fernando Corbo Camargo[5], Willy Rodríguez[4], Andrés Saracho[1], Armando Borrero[1], Lucas Bessone[1], Elena Alvareda[1], Pablo Gamazo[1]**

[1]Departamento del Agua, CENUR LN, Universidad de la República (Udelar), Salto, Uruguay.
[2]Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Argentina.
[3]PDU Geología y Recursos Minerales, CURE y Tecnólogo Minero, Udelar, Treinta y Tres, Uruguay.
[4]Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba.
[5]Centro de Geociencias (CGEO), UNAM, 76230, México.
e-mail:

**RESUMEN**

El Sistema Acuífero Salto-Arapey (SAAS) representa un marco hidrogeológico complejo compuesto por un acuífero detrítico que sobreyace a uno fisurado en la Cuenca Chaco-Paraná. En este trabajo se describen los primeros resultados del empleo del método de sondeo audiomagnetotelúrico para la caracterización geoeléctrica de un sector específico del SAAS. Aunque el método no permitió diferenciar las formaciones sedimentarias En este sentido, si bien se han realizado estudios de las diferencias entre formaciones sedimentarias, sí se permitió reconocer los basaltos alterados, lo que facilitaría la identificación de áreas con un potencial considerable para el desarrollo productivo de pozos. Esta investigación tiene una gran relevancia local, ya que presenta una metodología replicable para caracterizar el resto del sistema, o incluso acuíferos que comparten características similares.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema Acuífero Salto-Arapey, hidrogeofísica, método audiomagnetotelúrico.

# GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS IN THE SALTO-ARAPEY AQUIFER SYSTEM IN SALTO, URUGUAY

**ABSTRACT**

The Salto-Arapey Aquifer System (SAAS) represents a complex hydrogeological framework composed of a detrital aquifer that overlies a fissured one in the Chaco-Paraná Basin. This article describes the first results of the use of the audiomagnetotelluric survey method for the geoelectrical characterization of a specific sector of the SAAS. Although the method did not allow the differentiation of sedimentary formations. In this sense, although studies have been carried out on the differences between sedimentary formations, it did allow the recognition of altered basalts, which would facilitate the identification of areas with considerable potential for the productive development of water wells. This research has significant local relevance as it presents a replicable methodology to characterize the rest of the system, or even aquifers that share similar characteristics.

**KEY WORDS:** Salto-Arapey Aquifer System, hydrogeophysics, audiomagnetotelluric method.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ASFALTOS NATURALES PARA MEZCLAS FRÍAS DESTINADAS AL MANTENIMIENTO VIAL

**Rosa Herrera de la Rosa [1], Norbier Pérez Rubio[2]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana" José Antonio Echeverría", calle 114 y calle 180, Marianao, La Habana Cuba, [2]Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción, Calle Línea No 810 esq. Carretera de Casablanca, Regla, La Habana.
[1]rhlarosa2011@gmail.com
[2] tecnodest2@ronstacruz.co.cu

**RESUMEN**

El estudio realiza la caracterización de dos muestras de asfaltita procedentes de las zonas de Mariel, en Artemisa y Bejucal en Mayabeque y dos muestras de rocas asfálticas procedente de la zona Angelita - Peñón, en Matanzas, para ser utilizada en la elaboración de mezclas asfálticas frías destinadas a la pavimentación de vías secundarias. El diseño de las mezclas se realizó siguiendo el procedimiento SUPERPAVE en su nivel 1, con mediciones de la sensibilidad al agua y resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo en pista. Se probaron diferentes contenidos de asfaltita en la mezcla en sustitución del árido fino, utilizando como aglomerante el crudo 1400.
Los resultados de la caracterización indicaron que tanto las rocas asfálticas como las asfaltitas, presentan un contenido importante de asfalto que oscila entre el 17 al 70%, que se caracteriza por una gran dureza y baja susceptibilidad a la temperatura derivado del alto grado de oxidación que presenta. La experimentación en mezclas determinó un contenido óptimo del 40% de asfaltita en las mezclas frías, produciendo como efectos principales en la mezcla una reducción del óptimo de asfalto en el orden del 1%, un incremento en las propiedades de las mezclas frías relacionadas con la estabilidad y resistencia al daño por humedad y un aumento notable de su resistencia a las deformaciones plásticas en relación con las mezclas convencionales.

**PALABRAS CLAVES:** asfaltos naturales, asfaltitas, rocas asfálticas, mezclas asfálticas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UNA PINTURA DE PROTECCIÓN SECUNDARIA AL HORMIGÓN. ANÁLISIS DE SU EFECTIVIDAD.

**MSc. Ing. Delilah Díaz Fernández[1], Dra. Ing. Marietta Llanes Pérez[2], Dr. Lic. Yorexsi González Alfaro[3]**

[1]Profesora Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, Calle 114 No. 11901 entre 119 y 127 Marianao. La Habana, Cuba. Teléfono (53) 72663829 marietta@civil.cujae.edu.cu,
[2]Directora Nacional de la Vivienda, Ministerio de la Construcción de Cuba MICONS, Ave. Carlos Manuel de Céspedes y Calle 35 Plaza de la Revolución. La Habana, Cuba. Teléfono (53) 7879 delilah@micons.cu,
[3]Director de Investigaciones del Centro de estudios avanzados de Cuba (CEA), Autopista San Antonio de los Baños, entre 179 y 340, Valle Grande, La Lisa, La Habana, Cuba. La Habana, Teléfono (53) 7 2502103 yorexis.gonzalez@gmail.com

**RESUMEN**

Las estructuras de hormigón presentan porosidad capilar y en función de ello se determina el nivel de exposición ambiental. Los agentes agresivos del medio cuando aparecen en determinadas concentraciones provocan daños en estas estructuras al navegar hasta el acero de refuerzo y corroerlo. Procurar la impermeabilización de los elementos de hormigón se vuelve un factor importante para la durabilidad de los mismos.
En ese sentido se han realizado múltiples investigaciones de productos que actúan como protección secundaria al hormigón, que impiden la penetración de iones cloruros u otros agentes agresivos a su masa.
Para la realización de este trabajo, se diseña una pintura que actúa como protección secundaria al hormigón y para analizar su efectividad se verifica en especímenes de hormigón su influencia a través de los ensayos de porosidad efectiva y velocidad de absorción capilar, dos parámetros establecidos en la norma cubana NC 120:2021, para medir la durabilidad del hormigón.
La pintura diseñada es producida con materias primas cubanas y tecnologías de la nanociencia con que cuenta el país. Estas tecnologías además permitieron caracterizar las materias primas utilizadas.
A partir de ello se logra definir los componentes y proporciones de la formulación para dicha pintura y al aplicar en los especímenes de hormigón se verifica que para diferentes relaciones agua cemento, se alcanza mejorar los valores de absorción capilar y sorptividad.

**PALABRAS CLAVES:** pintura, protección secundaria, porosidad efectiva, sorptividad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# RELACIÓN ENTRE MÉTODOS ELÉCTRICOS PARA EVALUAR LA DURABILIDAD DE HORMIGONES SOMETIDOS AL AMBIENTE MARINO

**Karla Gabriela Quintana Quiñones[1], Alejandro Fernández[2]**

[1]Ingeniero civil, Universidad Tecnológica de la Habana ``José A. Echeverría´´, Facultad de Ingeniería Civil, Calle 114 #11901, e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao La Habana Cuba, karlota010314@gmail.com
[2]Ingeniero civil, Máster en ciencias técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana ``José A. Echeverría´´, Facultad de Ingeniería Civil, Calle 114 #11901, e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao La Habana Cuba, afernandezd@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La corrosión del acero de refuerzo causada por los iones cloruro es una de las principales preocupaciones en la durabilidad de las estructuras de hormigón. El empleo de cementos mezclados con puzolanas activas ha sido una alternativa utilizada para mejorar el desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón armado. Tal es el caso del llamado cemento de arcilla calcinada y piedra caliza (LC3). Esta investigación emplea los resultados de ensayos realizados a testigos de hormigón tomados de elementos construidos con cemento Portland y LC3, expuestos en la cayería norte de Ciego de Ávila durante 4 años. Específicamente se enfoca en el análisis de los ensayos eléctricos de migración de iones cloruro mediante el protocolo STADIUM y de resistividad por el método Wenner. Se evalúa la influencia del empleo de LC3 en los resultados de estos ensayos, así como la relaciones en el tiempo que existen entre ellos para ambos tipos de hormigones. Los resultados arrojan que los hormigones elaborados con LC3 presentan una excelente resistencia a la penetración de iones cloruros comparados con los de cemento Portland. Además, se manifiesta una correlación entre la resistividad y los parámetros medidos en el ensayo de migración del protocolo STADIUM. Esto se evidencia en un aumento de la resistividad eléctrica y una disminución en el paso de corriente eléctrica a través de la matriz porosa, debido a su estructura más refinada y mayor resistencia eléctrica de las muestras elaboradas con LC3.

**PALABRAS CLAVES:** migración de iones cloruro, resistividad, cemento de arcilla calcinada y piedra caliza (LC3)

# RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRICAL METHODS TO EVALUATE THE DURABILITY OF CONCRETES SUBJECTED TO THE MARINE ENVIRONMENT

**ABSTRACT**

Corrosion of reinforcing steel caused by chloride ions is one of the main concerns in the durability of concrete structures. This work focuses on the study of the influence of low carbon cement (LC3) in the production of concrete exposed to marine environments, based on a comparison with Portland cement concrete. Due to their advantages over other tests, electrical chloride ion migration tests were used using the STADUM protocol and the resistivity test, which provide greater speed in the evaluation of the samples. The results show that concretes made with LC3 have excellent resistance to the penetration of chloride ions compared to those made with Portland cement. This is evidenced by an increase in electrical resistivity and a decrease in the passage of electrical current through the porous matrix, due to its more refined structure and greater electrical resistance of the samples made with LC3.

**KEY WORDS:** migration, resistivity, limestone calcined clay cement (LC3)

## 1. INTRODUCCIÓN

La durabilidad de las estructuras de hormigón es un estado límite más en el diseño de las estructuras, junto con la resistencia a la aplicación de las cargas, a las deformaciones permisibles y a los tamaños máximos de fisuras permitidos. Constituye la capacidad de las estructuras para soportar, durante la vida útil para la

que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural [1].

Una de las mayores amenazas a la durabilidad en el hormigón armado, es la corrosión del acero de refuerzo provocada por los iones cloruro, siendo el principal mecanismo de deterioro de estructuras ubicadas en ambientes marinos. Los iones cloruro penetran (principalmente por difusión) a través del sistema de poros de la superficie del hormigón; cuando alcanzan la barra de acero en una concentración tal (concentración crítica $C_{crit}$) sobre el acero de refuerzo que provoca su despasivación, inicia el proceso de corrosión.

En la actualidad, una de las prácticas más comunes para mitigar este fenómeno ha sido el empleo en las mezclas de hormigón de materiales cementicios suplementarios (MCSs). Los MCSs son materiales finamente molidos con elevadas cantidades de sílice y/o aluminio , que en presencia de agua reaccionan con el hidróxido de calcio (HC) liberado durante la hidratación del cemento Portland (CP), generando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que contribuyen a densificar la masa del hormigón, disminuyendo la magnitud, dimensión e interconectividad de los poros de la matriz cementicia y aumentando por ende su capacidad de resistir la penetración de los iones cloruro [2].

La piedra caliza ha encontrado su posición en la industria del hormigón como MCS debido a su bajo precio, alta disponibilidad y bajo consumo energético durante su molienda [3]; caracterizándose por promover la hidratación del clínker, proporcionando una superficie adecuada para la nucleación de hidratos (efecto relleno) y contribuye a las reacciones de hidratación en presencia de aluminatos [4, 5]. Esto lleva al interés en cementos con una sustitución combinada de piedra caliza con arcilla calcinada, que se conocen como LC3 (cemento de arcilla calcinada y piedra caliza) [6-8].

La combinación de arcillas calcinadas (AC) y carbonato de calcio (CC), combinada con el CP crea una sinergia entre los tres componentes principales (clínker, arcilla calcinada y piedra caliza) [9]. La alúmina de la arcilla calcinada y el carbonato de la piedra caliza reaccionan entre sí, junto con la tradicional reacción puzolánica de la arcilla calcinada y el efecto de relleno de la piedra caliza[10]. Esto permite una mayor mezcla de los productos de hidratación, dando como resultado un refinamiento de los poros por la distribución más uniforme de los productos de hidratación en toda la microestructura [11].

La porosidad más fina también puede ser el resultado de la mayor fracción de volumen de fases cristalinas de baja densidad como etringita y carboaluminatos. Se ha demostrado que esta estructura de poros refinada da como resultado una menor permeabilidad y mayor tortuosidad y, por lo tanto, un hormigón más duradero en muchas condiciones de exposición [11]. La permeabilidad reducida también se ha caracterizado por una reducción en la absorción capilar, el ingreso de cloruro y un aumento en la resistividad del hormigón [12]. Se ha demostrado que la estructura de poros más fina en LC3 se desarrolla antes que en otros cementos [13].

Sobre este tema, se ha indicado que los cementos con mayor contenido de alúmina, como es el caso del LC3, tienden a unir más cloruros en diferentes hidratos, específicamente en las fases SCH con alúmina (CASH), dejando menos iones en condición libre para reaccionar con el refuerzo [14] y que la conversión de monocarboaluminato y estringita en sal de Friedel conduce a una unión química más alta que la física de los cloruros, que resultan en una barrera que bloquea y absorbe los cloruros e impide su propagación por el sistema de poros de la matriz cementicia [15-17].

De manera general, hormigones elaborados con relaciones AC/CC 2/1 en sustitución de un 50% de CP, conocidos como LC3-50, han demostrado propiedades mecánicas similares a las de hormigones elaborados solo con CP [18, 19], al mismo tiempo que un desempeño muy superior frente a la corrosión por cloruros.

En los últimos años se ha tratado de relacionar determinados métodos de ensayo al hormigón, los cuales miden sus propiedades de transporte y su relación con su durabilidad [20]. Son múltiples la cantidad de estudios que se desarrollan en el tema de los mecanismos de transporte de iones cloruros, fundamentalmente la difusión, a través del hormigón hidráulico [21]. La determinación de los parámetros que definen la difusión es un trabajo complicado, incluso en condiciones de laboratorio, siendo una labor que consume grandes periodos de tiempo, haciéndolo inconveniente para investigaciones in situ [22].

Se ha demostrado que utilizando un campo eléctrico se puede en gran medida acelerar el movimiento de iones a través del hormigón sin cambiar en lo fundamental el proceso de difusión; la migración de iones, puede usarse en la predicción del transporte de iones y de líquidos en un medio poroso. La ventaja frente a otros ensayos de estudio de la difusión es su rapidez y que permite evaluar la penetración de iones cloruro, tanto en investigaciones científicas, como en la evaluación de las propiedades del hormigón en obra [23]. Dentro de los ensayos de migración destaca el uso del Software para el Transporte y la Degradación de Materiales no Saturados, conocido como protocolo STADIUM. Este es un modelo numérico y una versión modificada de la ASTM C-1202, que puede usarse en la predicción del transporte de iones y de líquidos en un medio poroso, en el cual se aplica un potencial eléctrico menor que 30V para agilizar el proceso del transporte de iones cloruro a través del espécimen de hormigón, prediciendo así la respuesta que puede tener el hormigón sometido al entorno agresivo, como el ambiente marino [23].

Por otro lado, los estudios de resistividad como propiedad del hormigón endurecido, han permitido obtener el coeficiente de difusión de los iones cloruro en su interior a partir de la ley de Nernst-Einstein que relaciona conductividad y difusividad en condiciones de saturación del hormigón. El conocido método de las cuatro puntas o de Wenner ha sido ampliamente empleado para determinar la resistividad en el hormigón armado ya que ofrece la ventaja de no ser destructivo a la estructura, además constituye una medida rápida, fácil y económica aplicable in situ [24, 25].

En cualquier caso, no basta con evaluar los indicadores de durabilidad durante la etapa de diseño de las mezclas, sino que es imprescindible que se evalúen también a partir ensayos en condiciones reales de exposición, [26] sobre todo cuando se emplean MCSs como el LC2 [27]. Esta necesidad está dada por dos elementos fundamentales: (1) las diferencias entre las propiedades del hormigón de las probetas y el hormigón colocado en la estructura, asociadas a las prácticas tecnológicas como la compactación y el curado, y (2) las diferencias en las condiciones de exposición en laboratorio y las condiciones reales. Por tanto, el empleo conjunto del ensayo de migración por el protocolo STADIUM y la resistividad eléctrica sería conveniente para dichas evaluaciones en el tiempo. Mientras el protocolo STADIUM se pudiera emplear en el diseño de mezclas por durabilidad, la resistividad pudiera ser utilizada para evaluar dicho diseño en estructuras construidas.

El objetivo de esta investigación es determinar las relaciones en el tiempo que existen entre la resistividad eléctrica y el protocolo STADIUM en hormigones de CP y de LC3-50 sometidos a ambiente marino; asumiendo como hipótesis que existe una relación lineal en el tiempo.

## 2. METODOLOGÍA

A continuación, se describe el programa experimental empleado en la obtención de resultados con la finalidad de valorar la durabilidad de hormigones hidráulicos ante el transporte de iones cloruro. Para ello se explican las características del sitio de exposición, los materiales constituyentes y la metodología empleada en el ensayo de migración de iones cloruros mediante el protocolo STADIUM y en la prueba de resistividad eléctrica mediante el método de Wenner, así como los equipos e instrumentos empleados en los mismo.

### Sitio de exposición

Construido en 2014, el sitio de exposición de donde se obtuvieron las muestras de hormigón, se encuentra en Punta Matamoros, Cayo Santa María, en la cayería norte de la provincia Villa Clara (Fig. 1). Este sitio fue diseñado para evaluar hormigones con diferentes características durante un período mínimo de 10 años, sometidos al ambiente marino natural [28].



Figura 1: Sitio de exposición Punta Matamoros en cayo Santa María. Fuente: Equipo de trabajo de CIDEM.

**Materiales empleados y dosificaciones**

Los hormigones de los testigos evaluados en la presente investigación fueron elaborados con distintos cementos; Portland P-35 de la fábrica de cemento Carlos Marx, de Cienfuegos para el M32 y cemento de bajo carbono LC3 (SIG-B45) de la fábrica de cemento Siguaney, de Sancti-Spíritus para el M381. Se empleó aditivo superplastificante, Dynamon SX32, producido a base de polímeros acrílicos no sulfonados, completamente exento de formaldehido. Las dosificaciones empleadas se pueden observar en la Tabla 1 [29].

Tabla 1**:** Dosificaciones empleadas en elementos de la EPI Villa Clara**.** Fuente: [29]

| Ident. | Dosif. | Resist. | Cem. kg/m$^3$ | a/c | Árido fino | Árido grueso | Aditivo L/m3 | Fecha de fabricación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **M32** | D10-P35 | 25MPa | 300 (P35) | 0,40 | Palenque | Palenque | 2,8 | 10/2/2014 |
| **M381** | DA-LCC | 25MPa | 360 (LC3) | 0,47 | Palenque | Palenque | 4,04 | 2/11/2013 |

**Método experimental**

Testigos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura fueron extraídos durante tres años consecutivos (un testigo de cada dosificación en cada año), en fechas: abril de 2016, febrero de 2017 y febrero de 2018, a los 1,5; 2,3 y 3,3 años de exposición respectivamente; y analizados en el laboratorio del CIDEM. Para los ensayos de migración por el protocolo STADIUM se utilizaron dos especímenes (10x3cm) cortados de la zona central de los testigos luego de haberse realizado los ensayos de resistividad.

**Resistividad eléctrica**

La resistividad eléctrica se midió por el método Wenner en los testigos totalmente saturados siguiendo las recomendaciones de la UNE-83988-2 [30].

En el método se determinó la resistividad eléctrica del hormigón endurecido mediante el uso de cuatro electrodos en contacto con la superficie de hormigón (Fig. 2). La aplicación de la corriente se efectuó por los electrodos más externos y la medida de la variación de la caída de potencial, antes y después de aplicar la corriente, se realizó entre los dos electrodos más internos [31]. El valor de la resistividad eléctrica para cada uno de los elementos se obtuvo con el promedio de las mediciones realizadas.



Figura 2: Método de las cuatro puntas de Wenner. Fuente: [32]

**Protocolo STADIUM**

Para el ensayo de migración se siguieron las recomendaciones de la ASTM C-1202 [33] y la guía para el procedimiento del protocolo STADIUM [23].

Una vez obtenidos los especímenes, fueron depositados en un recipiente hermético donde se sumergieron en una solución de hidróxido de sodio con una concentración de 0,3 moles; se dejaron reposar durante siete días. Transcurridos estos, fue necesario cambiar la solución por una nueva del mismo producto, evitando la pérdida de propiedades de la sustancia, durante tres días más.

Luego de secadas superficialmente las muestras se montaron y sellaron encima de los dos anillos de conexión; y, posteriormente, encima de las dos celdas. La primera celda se rellenó con la solución de NaOH y la otra con la mezcla de la solución de NaCl y NaOH.

Una vez conectada la fuente de electricidad (Fig. 3), se ajustó la salida de potencial para obtener una diferencia de potencial de 16–20 V a través de todos los especímenes. Se midió la corriente que pasaba a través de cada espécimen y los potenciales (Ve: en el electrodo y Vc: la diferencia de potencial) durante tres días. El primer día se tomaron las medidas en la hora cero (comienzo de la prueba) y después cada una hora. Luego las mediciones se realizaron cada dos, cuatro y doce horas respectivamente.



Figura 3: Equipos para el ensayo de migración de iones cloruro usando el protocolo STADIUM. Fuente: [23]

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis de los resultados del ensayo de resistividad eléctrica por el método de Wenner**

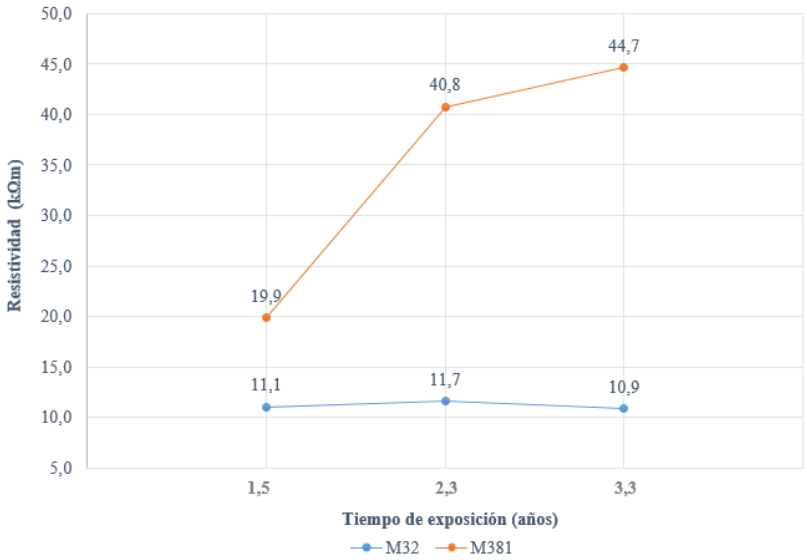



Figura 4: Valores de resistividad media medidos por tiempo de exposición. Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 4 muestra los resultados promedio obtenidos en la prueba de resistividad eléctrica realizada a los testigos M381 y M32. Los testigos del tipo M381 presentan valores de resistividad superiores a los del M32 durante todos los tiempos de exposición. Además, mientras que la resistividad aumenta en el tiempo para los testigos fabricados con LC3, se mantiene relativamente constante en los hormigones de CP.

La relación inversa que existe entre la resistividad eléctrica y la porosidad explica que a mayor resistividad existe un movimiento menor en los iones contenidos en los poros del hormigón [34]. Como se analizó para el ensayo de migración, los hormigones fabricados con LC3 presentan menor porosidad. La reducción en el tamaño de los poros indica que aumentó la desconexión de la porosidad y por tanto la tortuosidad, debido a las reacciones puzolánicas y la generación de sal de Friedel, explicadas en el epígrafe anterior, lo que explicaría aumentos en los valores de resistividad en el tiempo [35].

Por otro lado, las mezclas de CP muestran cambios mínimos en la resistividad con el paso del tiempo. Esto es de esperar ya que las fases del clínker experimentan su máxima reacción a edades tempranas (a los siete días) y hay una desaceleración en su contribución con el tiempo como se evidencia también en [35].

**Análisis de los resultados del ensayo de migración de iones cloruro por protocolo STADIUM**

En las Fig. 5, 6 y 7 se presentan los comportamientos de los valores promedio de la intensidad de la corriente en función del tiempo de duración del ensayo de migración en los especímenes de hormigón M32 y M381 de acuerdo a los distintos tiempos de exposición, señalando los valores de corriente mínima.

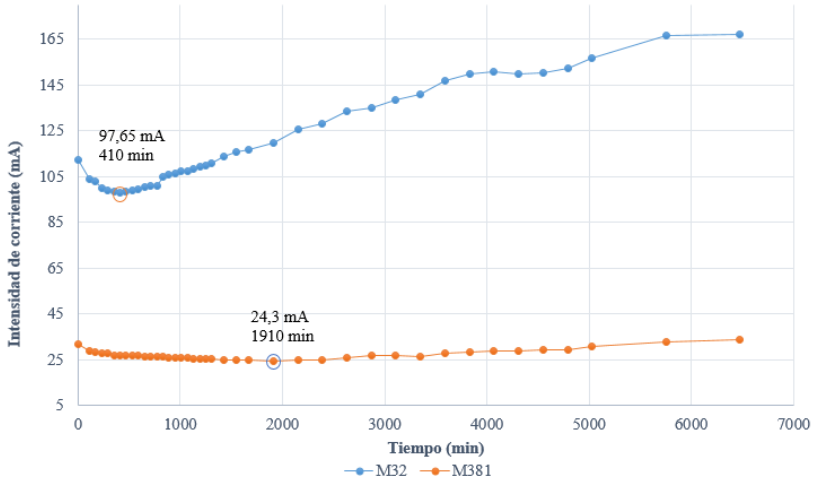



Figura 5: Muestras M32 y M381 con 1,5 años de exposición. Fuente: Elaboración propia.

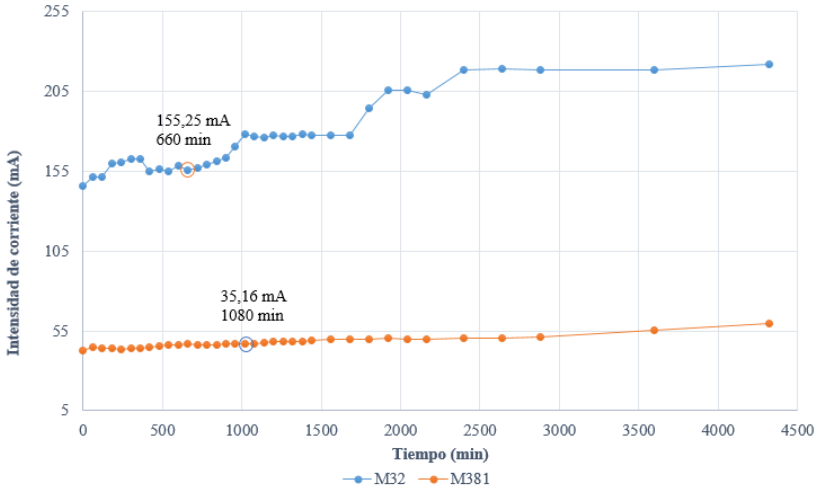



Figura 6: Muestras M32 y M381 con 2,3 años de exposición. Fuente: Elaboración propia.

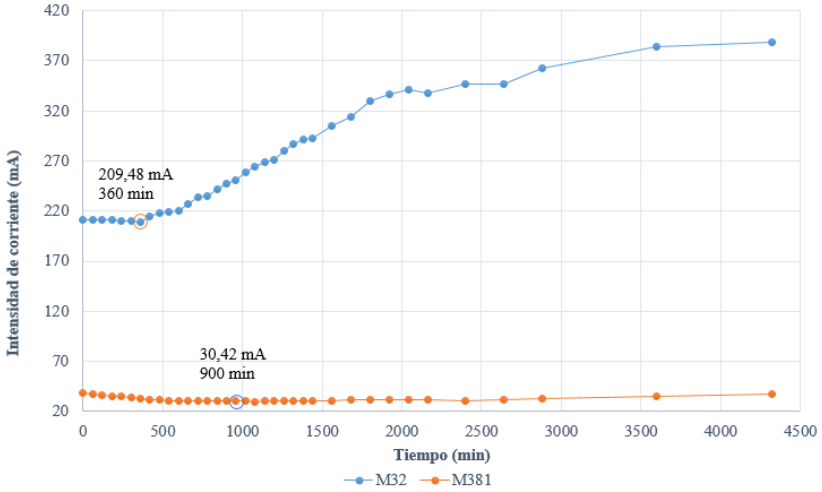



Figura 7: Muestras M32 y M381 con 3,3 años de exposición. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran valores de intensidad de la corriente pasada a través de los especímenes muy inferiores para las muestras de M381 respecto a las de M32, siendo esta última de 4 a 6 veces mayor. Este resultado es relevante si se tiene en cuenta que los especímenes de M32 presentan menor relación a/c (lo cual los haría menos porosos), sin embargo, se obtiene mucha mayor penetración de iones cloruro en estos. Por tanto, el flujo iónico a través de la matriz porosa de los especímenes M32 es más rápido que en los M381; las propiedades que le aportan la arcilla calcinada y la piedra caliza del cemento LC3, proporcionan un incremento del volumen de los sólidos en la matriz cementicia a través de la formación adicional de compuestos del tipo CASH. Además, ocurre la formación de otras fases estables como la etringita, que provoca la densificación de la matriz cementicia y el refinamiento de la porosidad capilar, reduciendo el diámetro de los poros, cualidad que interfiere en el ingreso de los flujos iónicos en la estructura.

A su vez, cabe destacar que la presencia de iones cloruro en el ambiente marino ubicado en el sitio Punta Matamoros combinado con las fases que contienen aluminio, presentes en la arcilla calcinada del LC3, favorecen la solidificación de sales o formación de las sales de Friedel.

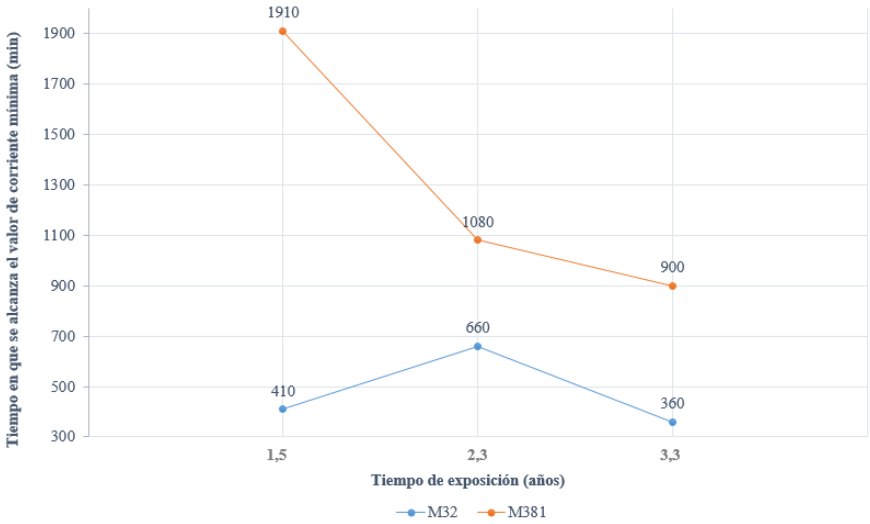



Figura 8: Relación entre el tiempo en que se alcanza el valor mínimo de corriente en función de los tiempos de exposición, especímenes M32 y M381. Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del valor de corriente mínima durante los años de exposición en los especímenes M32 y M381 se muestra en la Fig. 8. Se observa que para los especímenes de M381 disminuye el tiempo en el que se alcanza el valor de corriente mínima, lo que indica que la resistencia al cloruro del hormigón LC3 mejoró continuamente; una menor cantidad de iones cloruro penetrando la matriz porosa está ligado a la disminución en el volumen de poros. Estos resultados corresponden a los esperados según la bibliografía estudiada respecto a ensayos de durabilidad en hormigones de LC3 y CP [17, 35, 36]

Se observa en el comportamiento de los especímenes de M32 una diferencia para el valor del tiempo de exposición 2,3 años, esto puede deberse a errores en los ensayos de ese año en particular.

**Relaciones en el tiempo entre la resistividad eléctrica y el protocolo STADIUM**

En la Fig. 9 se muestra la relación entre el tiempo en que se alcanzan los valores de corriente mínima medidos por el protocolo STADIUM (eje izquierdo) y los valores de resistividad (eje derecho) para las muestras M32 y M381.

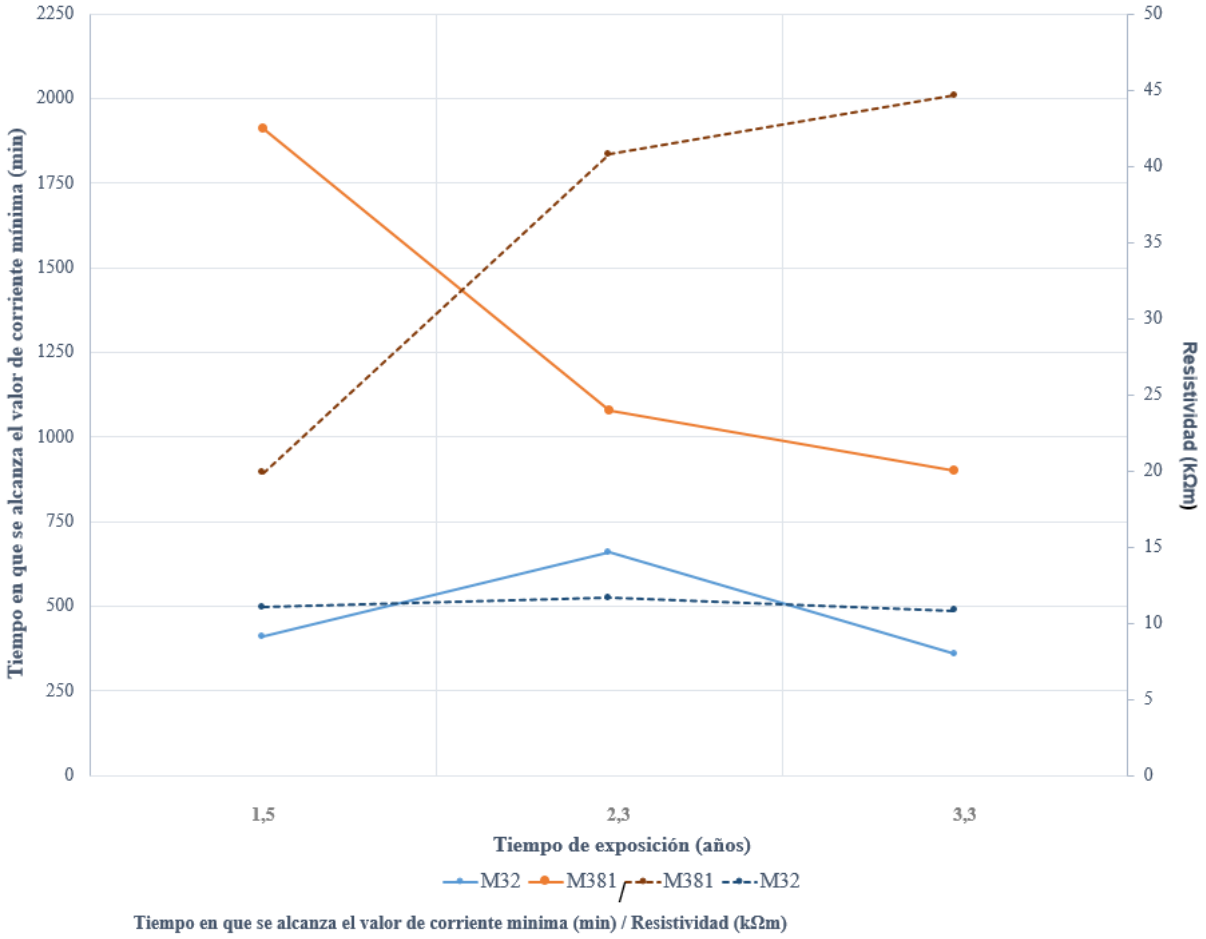



Figura 9: Valores de resistividad media medidos por años. Fuente: Elaboración propia

Se observa de la correlación de estas mediciones que el comportamiento de los resultados de las muestras de M381 presentan una relación de proporcionalidad inversa; mientras aumenta la resistividad en el tiempo, disminuye el tiempo en que se alcanza el valor de corriente mínima. Esto se debe al refinamiento de la matriz porosa, por las reacciones puzolánicas y la generación de sal de Friedel antes mencionadas. Estas características provocan que sean menos los cloruros que pasan por todo el espécimen y se obtenga en el ensayo de migración de cloruros el valor mínimo de corriente más rápidamente.

Mientras que para las muestras de M32, la tendencia es a mantenerse constantes, tanto los valores de resistividad como el tiempo en que demoran en alcanzar el valor de corriente mínima. En este caso, la matriz de poro se mantiene estable en el tiempo en este ambiente debido a que no tiene una alta capacidad de fijación que reduzca significativamente el diámetro de los poros.

Mediante el uso del asistente estadístico STATGRAPHICS, el análisis de los datos de la Fig. 9, arrojó los resultados mostrados en la Tabla 2 para las muestras de M381:

Tabla 2: Análisis de varianza de los datos de las muestras de M381.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modelo** | 580208 | 1 | 580208 | 2246,23 | 0.0134 |
| **Residuo** | 258,303 | 1 | 258,303 | | |
| **Total (Corr.)** | 580467 | 2 | | | |

De ajustar un modelo lineal para describir la relación entre la resistividad eléctrica de las muestras M381 y el tiempo que demora el flujo iónico en atravesar el espécimen se obtuvo la ecuación (1):

$$t = 2715.65 - 40.3885 * \rho \quad (1)$$

Donde:
t: tiempo (min)
ρ: resistividad (kΩm)

Puesto que el valor-P en la Tabla 1 es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre t y ρ con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99.9555% de la variabilidad en el tiempo. El coeficiente de correlación es igual a -0.999777, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

En el análisis de los datos de para las muestras de M32 se obtuvo la Tabla 3:

Tabla 3: Análisis de varianza de los datos de las muestras de M32.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modelo** | 51282,1 | 1 | 51282,1 | 133,33 | 0,0550 |
| **Residuo** | 384,615 | 1 | 384,615 | | |
| **Total (Corr.)** | 51666,7 | 2 | | | |

De ajustar un modelo lineal para describir la relación entre la resistividad eléctrica de las muestras M32 y el tiempo que demora el flujo iónico en atravesar el espécimen se obtuvo la ecuación (2):

$$t = -3843.85 + 384.615 * \rho \quad (2)$$

Puesto que el valor-P en la Tabla 2 es mayor o igual a 0.05, no se puede afirmar que existe una relación estadísticamente significativa entre t y ρ con un nivel de confianza del 95.0% ó más. Sin embargo, el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99.2556% de la variabilidad en el tiempo y el coeficiente de correlación es igual a 0.996271, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

## 4. CONCLUSIONES

La influencia del LC3 en la penetración de iones cloruro medida según el protocolo STADIUM y la resistividad eléctrica en hormigones expuestos a ambiente marino demostró las ventajas del uso del material sobre el CP, debido a que se evidenció un menor paso de la corriente en los especímenes M381 (fabricados con LC3) y una mayor resistividad, en todas las mediciones realizadas durante los tiempos de exposición. Esto enfatiza las características microestructurales del LC3, donde ocurre un refinamiento de poros dentro de la matriz cementicia a causa de las reacciones puzolánicas y la generación de sal de Friedel.

Se demostró la relación en el tiempo que existe entre la resistividad eléctrica y el protocolo STADIUM en hormigones de CP y de LC3-50 expuestos a ambiente marino. En el hormigón con LC3-50 se obtuvo una relación lineal de proporcionalidad inversa, gráfica y estadísticamente, entre la resistividad y el tiempo que demoran en pasar todos los iones cloruro a través del espécimen demostrando la rapidez del flujo iónico dentro de una matriz cementicia más refinada. En el caso de los hormigones de CP no ocurrió de igual forma, ya que presentaron valores estables durante los tiempos de exposición analizados, debido a la no ocurrencia de reacciones puzolánicas y la no formación de sal de Friedel que comprometan la microestructura.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] J. J. Howland, "Desempeño por Durabilidad de las Estructuras de Hormigón," U. T. d. L. H. J. A. Echevarría'', ed., 2012.

[2] M. S. Meddah, and A. Tagnit-Hamou, "Pore Structure of Concrete with Mineral Admixtures and Its Effect on Self-Desiccation Shrinkage," *ACI Materials Journal,* vol. 106, no. 3, pp. 241-250, 2009.

[3] K. Scrivener, F. Avet, H. Maraghechi, F. Zunino, J. Ston, W. Hanpongpun, and A. Favier, "Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3)," *Green Materials*, 2019.

[4] T. Matschei, B. Lothenbach, and F. P. Glasser, "The role of calcium carbonate in cement hydration," *Cement and Concrete Research,* vol. 37, no. 4, pp. 551-558, 2007.

[5] M. Zajac, A. Rossberg, G. L. Saout, and Barbara Lothenbach, "Influence of limestone and anhydrite on the hydration of Portland cements," *Cement and Concrete Composites,* vol. 46, pp. 99-108, 2014.

[6] K. Scrivener, and A. Favier, "Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 1st International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete," *RILEM Bookseries,* vol. 10, 2015.

[7] F. Martirena, A. Favier, and K. Scrivener, "Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 2nd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete," *Rilem Bookseries,* vol. 16, 2017.

[8] Y. Cao, Y. Wang, Z. Zhang, Y. Ma, and H. Wang, "Recent progress of utilization of activated kaolinitic clay in cementitious construction materials," *Composites Part B: Engineering,* vol. 211, 2021.

[9] J. F. Martirena-Hernandez, and K. Scrivener, "Hacia la sostenibilidad en la producción de cemento en América Latina: Cemento en base a aarcillas calcinadas y caliza.," *Cemento y concreto*, pp. 92-98, 2019.

[10] M. Antoni, J. Rossen, F. Martirena, and K. Scrivener, "Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone," *Cement and Concrete Research,* vol. 42, no. 12, pp. 1579-1589, 2012/12/01/, 2012.

[11] M. Sharma, S. Bishnoi, F. Martirena, and K. Scrivener, "Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review," *Cement and Concrete Research,* vol. 149, 2021.

[12] M. Santhanam, Y. Dhandapani, R. Gettu, and R. Pillai, "Perspectives on Durability of Blended Systems with Calcined Clay and Limestone," in Calcined Clays for Sustainable Concrete, 2020, pp. 581-591.

[13] Y. Dhandapani, and M. Santhanam, "Assessment of pore structure evolution in the limestone calcined clay cementitious system and its implications for performance," *Cement and concrete Composites,* vol. 84, pp. 36-47, 2017.

[14] H. Maraghechi, F. Avet, H. Wong, H. K. ., and K. Scrivener, "Performance of Limestone Calcined Clay Cement (LC3)with various kaolinite contents with respect to chloride transport," *Materials and Structures,* vol. 51, 2019.

[15] S. Sui, W. Wilson, F. Georget, H. Maraghechi, H. Kazemi-Kamyab, and K. S. Wei Sun, "Quantification methods for chloride binding in Portland cement and limestone systems," *Cement and Concrete Research,* vol. 125, 2019.

[16] S. Sui, Fabien Georget, H. Maraghechi, and K. S. Wei Sun, "Towards a generic approach to durability: Factors affecting chloride transport in binary and ternary cementitious materials," *Cement and Concrete Research,* vol. 124, 2019.

[17] Y. Dhandapani, and M. Santhanam, "Investigation on the microstructure-related characteristics to elucidate performance of composite cement with limestone-calcined clay combination," *Cement and Concrete Research,* vol. 129, pp. 105959, 2020/03/01/, 2020.

[18] K. Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi, and S. Maity, "Calcined clay limestone cements (LC3)," *Cement and Concrete Research,* vol. 114, pp. 49-56, 2018.

[19] F. Avet, L. Sofia, and K. Scrivener, "Concrete Performance of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Compared with Conventional Cements.," *Advances in Civil Engineering Materials*, pp. 13, 2019.

[20] C. Andrade, and R. D. Andrea, "La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad," *ALCONPAT,* vol. 1, pp. 93-101, 2011.

[21] A. M. G. SERSEN, "ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL HORMIGÓN Y SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE IONES CLORURO," Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2011.

[22] R. Polder, C. Andrade, B. Elsener, Ø. Vennesland, J. Gulikers, R. Weidert, and M. Raupach, "Test methods for on site measurement of resistivity of concrete," *Materials and Structures,* vol. 33, no. 10, pp. 603-611, 2000/12/01, 2000.

[23] S. T. Inc, *STADIUM. UNIFIED FACILITIES GUIDE SPECIFICATIONS*, Quebec, Canadá, 2011.

[24] R. d'Andréa, "Predicción de la durabilidad del hormigón armado a partir de indicadores de corrosión: aplicación de la resistividad eléctrica," DEPARTAMENTO DE MECANICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC 2010.

[25] J. Cuetara, and J. J. Howland, "Fabricación de hormigón a base de puzolanas naturales como material cementante suplementario. Uso de resistividad eléctrica para evaluar la porosidad y la tortuosidad.," 2020.

[26] M. G. Alexander, "Service life design and modelling of concrete structures-background, developments, and implementation," *Revista ALCONPAT,* vol. 8, no. 3, pp. 224-245, 2018.

[27] M. Alexander, and H. Beushausen, "Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique," *Cement and Concrete Research*, 2019.

[28] J. A. B. Pelegrin, "Preparación de la construcción y puesta en marcha del sitio de exposición en Cayo Santa María. Zona Marea.," Tesis de diploma, Facultad de Construcciones Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2014.

[29] E. P. Guerra, "Primera ronda de evaluación de durabilidad de los elementos colocados en el sitio de exposición de Cayo Santa María (cloruros y permeabilidad al aire)," Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2015.

[30] UNE-83988-2, "Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 2: Mátodo de las cuatro puntas o de Wenner," 2008.

[31] C. Andrade, and M. Á. Climent, "Recomendaciones sobre determinación de la resistividad eléctrica del hormigón in situ mediante el método de las cuatro puntas y del disco.," *ALCONPAT Internacional*, 2020.

[32] Proceq, "Manual de operación. Ensayos de durabilidad de hormigón," 2015, p. 28.

[33] ASTM-C1202, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," 2012.

[34] R. d'Andrea, and C. Andrade, "Predicción de la vida útil de las estructuras mediante el uso de la resistividad como Indicador de durabilidad," in Aplicaciones Prácticas de Seguridad y Durabilidad de Estructuras de Hormigón", Buenos Aires, 2009, pp. 31.

[35] L. Ebensperger, "Diseño por vida útil de infraestructura marítima en hormigón armado: enfoque holístico con experiencias de casos chilenos," *Obras y proyectos*, pp. 34-44, 2023.

[36] Y. Dhandapani, T. Sakthivel, M. Santhanam, R. Gettu, and R. G. Pillai, "Mechanical properties and durability performance of concretes with Limestone Calcined Clay Cement (LC3)," *Cement and Concrete Research,* vol. 107, pp. 136-151, 2018/05/01/, 2018.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO POLVO DE BOFEO PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSERVACIÓN VIAL EN CUBA

**Rosa Herrera de la Rosa[1], Anadelys Alonso Aenlle [2], Debora Acosta Alvarez[3], Geovany Alemán Carmenate[4], Ing. Zenén Arocha Viera[5]**

[1, 2, 3,4,5] Technological University of Havana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Havana, Cuba
[2]anadelys@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La reutilización de residuos industriales, tales como, el caucho procedente de los neumáticos fuera de uso (NFU), en soluciones técnicas y económicamente viables, es una práctica necesaria en la sociedad actual en su tránsito hacia un modelo de economía circular, donde los residuos se conviertan en materia prima de un nuevo proceso. El trabajo desarrolla la experimentación que permite valorizar el residuo del recapado de neumático, denominado polvo de bofeo, dentro de la industria de la conservación vial en Cuba. Se valoran tres porcentajes de adición del residuo polvo de bofeo por vía seca (0,5%; 1,0% y 1,5%,) y tres tiempos de maduración (0, 30 y 60 minutos) por cada adición. Las mezclas son diseñadas a partir de la metodología Marshall y evaluados su desempeño a partir de la medición de la sensibilidad al agua y la resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de rodadura. Los resultados indican una mejora importante de las propiedades ingenieriles de las mezclas con caucho en relación con la mezcla sin adición, con un ligero incremento en el contenido de asfalto óptimo requerido. La combinación óptima se considera para un 0,5% de adición, con un tiempo de maduración de 60 minutos, aunque los resultados de esta experimentación avalan el empleo de porcentajes de polvo de bofeo hasta el 1,5%.

**PALABRAS CLAVES:** caucho, NFU, polvo bofeo, mezclas asfálticas.

## ABSTRACT

Reusing industrial waste, such as crumb rubber from end-of-life tires, in technically and economically viable solutions, is a necessary practice in today's society as it transitions towards a circular economy model. In this model, waste becomes raw material for a new process. This study allows for the re-evaluation, through experimentation, of bofeo dust, a byproduct of tire recapping, for use in road maintenance in Cuba. Three percentages of residual bofeo powder are added using the dry method (0.5%, 1.0%, and 1.5%), and three maturation times (0, 30, and 60 minutes) are evaluated for each addition. The mixtures are designed based on the Marshall methodology and their performance is evaluated by measuring sensitivity to water and resistance to plastic deformation through rolling testing. The results show a significant improvement in the properties of mixes with rubber compared to the conventional mix (without addition), with a slight increase in the required optimal asphalt content. The optimal bofeo powder addition to be considered is 0.5%, with a maturation time of 60 minutes. However, the results of this experimentation support the use of bofeo powder percentages up to 1.5%.

**KEYWORDS:** Crumb rubber, bofeo powder, asphalt mixtures.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN LOS ESTUDIOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

**Eduardo Tejeda Piusseaut.** Docente Titular Principal Nivel 1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: eduardo.tejeda@utm.edu.ec

**Kelvin José Franco Mera.** Estudiante de Posgrado. Maestría Académica con trayectoria profesional en Ingeniería Civil, Mención Vialidad. Facultad de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: kfranco2884@utm.edu.ec

**Andrade Fernánde Einstein Enmanuel.** Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles. eandrade8763@utm.edu.ec

**Italo Humberto Navarrete Garcia.** Docente Titular Principal Nivel 1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: italo.navarrete@utm.edu.ec

**RESUMEN**

La cámara termográfica permite detectar la radiación emitida por un objeto, transformándola en una imagen visible que muestra las variaciones de temperatura a través de un patrón de colores, sin requerir contacto físico. Este estudio explora dos aplicaciones de la termografía en pavimentos flexibles: la evaluación de las temperaturas durante la pavimentación y la correlación entre la temperatura superficial del pavimento y la temperatura ambiente. Se utilizó una cámara termográfica para medir la temperatura de la mezcla asfáltica, capturando imágenes térmicas durante las fases de extensión y compactación de la mezcla asfáltica en caliente. Se propone un procedimiento para analizar las variaciones térmicas a partir de las imágenes obtenidas, permitiendo comparar las temperaturas registradas con los valores recomendados en cada etapa del proceso y detectar desviaciones que podrían afectar la calidad del pavimento. Además, se empleó la termografía infrarroja para medir la temperatura de pavimentos asfálticos en distintos puntos de la ciudad, registrando simultáneamente la temperatura ambiente y la humedad relativa. Mediante un análisis estadístico, se evaluaron modelos polinómico y lineal para correlacionar la temperatura superficial del pavimento con la temperatura ambiente, concluyendo que el modelo lineal, que explica el 66.6% de la variabilidad, es el más adecuado. Este modelo resulta útil para determinar la temperatura crítica de la capa asfáltica y ajustar su resistencia en el diseño de pavimentos, considerando las condiciones ambientales específicas de Portoviejo.

**Palabras clave:** Termografía, pavimento flexible, temperatura de pavimentación, emisividad

# APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY IN ASPHALT PAVEMENT STUDIES

**ABSTRACT**

The thermal imaging camera detects the radiation emitted by an object, transforming it into a visible image that shows the temperature variations through a color pattern, without requiring physical contact. This study explores two applications of thermography in flexible pavements: the evaluation of temperatures during paving and the correlation between the surface temperature of the pavement and the ambient temperature. A thermal imaging camera was used to measure the temperature of the asphalt mixture, capturing thermal images during the spreading and compaction phases of the hot asphalt mixture. A procedure is proposed to analyze the thermal variations from the images obtained, allowing the comparison of the recorded temperatures with the recommended values at each stage of the process and to detect deviations that could affect the quality of the pavement. In addition, infrared thermography was used to measure the temperature of asphalt pavements at different points in the city, simultaneously recording the ambient temperature and relative humidity. Using statistical analysis, polynomial and linear models were evaluated to correlate pavement surface temperature with ambient temperature, concluding that the linear model, which explains 66.6% of the variability, is the most suitable. This model is useful for determining the critical temperature

of the asphalt layer and adjusting its resistance in pavement design, considering the specific environmental conditions of Portoviejo.

**Keywords:** Infrared Thermography, Pavement Temperature, Linear Regression, Elastic Modulus, Flexible Pavement.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE UNA CARRETERA A PARTIR DE IMÁGENES OBTENIDAS MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA

**Ing. Elizabeth del Carmen Moreno Díaz [1], Dr.C. Ing. Dania Olga Abreu Hernández 2**

[1] Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae)
[2]Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae) (daniah@civil.cujae.edu.cu)

**RESUMEN**

La gestión adecuada de los sistemas de drenaje en carreteras es esencial para garantizar la seguridad vial, prolongar la vida útil de la infraestructura y minimizar el impacto ambiental. La acumulación de agua en las vías puede provocar deslizamientos, erosión y daños estructurales, lo que subraya la necesidad de un monitoreo efectivo y continuo. En este contexto, las técnicas de percepción remota emergen como herramientas innovadoras y eficientes para evaluar el estado de los sistemas de drenaje. El presente artículo explora cómo la integración de tecnologías como la teledetección, imágenes satelitales y drones puede facilitar la identificación de problemas en los sistemas de drenaje, permitiendo una evaluación más precisa y rápida en comparación con los métodos tradicionales. A través de estudios de caso y análisis de datos, se demostrará cómo estas técnicas no solo mejoran la detección de fallas, sino que también optimizan la planificación y ejecución de mantenimiento, contribuyendo así a una infraestructura vial más resiliente y sostenible.

**PALABRAS CLAVES:** técnicas de percepción remota, sistema de drenaje en carreteras

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANDARIEGO VIAL
# SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE LA RED NACIONAL DE VÍAS.

**Pavel Rodríguez Rodríguez[1], Luis Manuel González Medel[2]**

[1]Centro Provincial de Vialidad, Holguín
[2]Unidad Científico Técnica GEOCUBA Investigación y Consultoría, Holguín
[1]e-mail: direccion@cpvhol.transnet.cu, rodriguezpavel16@gmail.com

**RESUMEN**

Desde su creación, en los Centros Provinciales de Vialidad se ha acumulado una voluminosa información relativa a la red vial en todo el país, tanto la de interés nacional como la del resto de los administradores viales. Esa información mayormente se encuentra dispersa o en ocasiones es desconocida, resultando imprescindible su ordenamiento, gestión, y posibilidades de utilización por aquellos usuarios que la requieran para el desarrollo de su trabajo cotidiano.
Por esa razón se decidió elaborar un sistema automatizado, en entorno WEB, sobre una plataforma soberana, que aplica las tecnologías de Segmentación Dinámica y Referenciación Lineal, que permite unificar y extender a todo el país la gestión geográfica de datos de la totalidad de la red vial y su entorno, incluyendo todos los interés administrativos, facilitando, a los usuarios, modificar, agregar y acceder de forma interactiva y rápida a la información, tabulada, gráfica o literal, disponible de la red vial del país, permitiendo agrupar vías completas, tramos o subtramos de estos, municipios, provincias o país, generando los informes de salida y mapas temáticos correspondientes a cada nivel de dirección y facilitar el cumplimiento de las funciones que por Ley corresponden al Ministerio del Transporte en esta actividad.

**PALABRAS CLAVES:** Vía, SIG, Andariego, Gestión.

# ANDARIEGO VIAL
# GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF THE NATIONAL ROAD NETWORK.

**ABSTRACT**

Since their creation, the Provincial Highway Centers have accumulated a voluminous amount of information regarding the road network throughout the country, both that of national interest and that of the rest of the road administrators. This information is mostly dispersed or sometimes unknown, making it essential to order, manage, and use it by those users who require it for the development of their daily work.
For this reason, it was decided to develop an automated system, in a WEB environment, on a sovereign platform, which applies the technologies of Dynamic Segmentation and Linear Referencing, which allows unifying and extending to the entire country the geographical management of data of the entire road network and its environment, including all administrative interests, facilitating, to users, modify, add and access in an interactive and rapid way the information, tabulated, graphic or literal, available on the country's road network, allowing to group complete roads, sections or subsections of these, municipalities, provinces or country, generating the exit reports and thematic maps corresponding to each level of management and facilitate the fulfillment of the functions that by law correspond to the Ministry of Transport in this activity.

**KEY WORDS:** Route, GIS, Andariego, management.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE EL MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO AASHTO 2004

**Eduardo Tejeda Piusseaut[1], José Fernando Zambrano García [2], Emily Virginia Cedeño Vélez[3]**
[1,2,3] Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador
[1]e-mail: eduardo.tejeda@gmail.com

**RESUMEN**

Este trabajo evalúa estructuras de pavimentos flexibles diseñadas según la norma AASHTO 93, verificando su desempeño con los criterios empírico-mecanicistas de la Guía de Diseño AASHTO 2004. Considerando diferentes niveles de tráfico, condiciones climáticas, y las características de los materiales locales, se logra una interpretación sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles a lo largo de su vida útil. Se propone el módulo resiliente que debe ser considerado en el diseño para la mezcla asfáltica, basado en la temperatura crítica obtenida de datos climáticos específicos de Portoviejo, Ecuador. La reevaluación de los pavimentos según la Guía AASHTO 2004 muestra una reducción significativa de espesores respecto a la norma AASHTO 93, especialmente en la capa asfáltica. A pesar de las diferencias en espesores, ambos enfoques cumplen con los criterios de agrietamiento por fatiga y deformación permanente según los modelos de deterioro de la guía AASHTO 2004. Esta investigación aporta fundamentos para proponer modificaciones en los diseños de pavimentos actualmente utilizados en la provincia de Manabí.

**PALABRAS CLAVES:** pavimentos flexibles, métodos empíricos-mecanicistas, deformación permanente, agrietamiento por fatiga

# EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT DESIGNS USING THE MECHANISTIC-EMPIRICAL METHOD AASHTO 2004

**ABSTRACT**

This work evaluates flexible pavement structures designed according to the AASHTO 93 standard, verifying their performance with the empirical-mechanistic criteria of the AASHTO 2004 Design Guide. Considering different traffic levels, climatic conditions, and the characteristics of local materials, an interpretation of the behavior of flexible pavements throughout their useful life is achieved. The resilient modulus that must be considered in the design for the asphalt mixture is proposed, based on the critical temperature obtained from specific climatic data from Portoviejo, Ecuador. The reevaluation of the pavements according to the AASHTO 2004 Guide shows a significant reduction in thicknesses with respect to the AASHTO 93 standard, especially in the asphalt layer. Despite the differences in thicknesses, both approaches meet the criteria for fatigue cracking and permanent deformation according to the deterioration models of the AASHTO 2004 Guide. This research provides grounds for proposing modifications in the pavement designs currently used in the province of Manabí.

**KEY WORDS:** Flexible pavements, empirical-mechanistic methods, permanent deformation, fatigue cracking

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, los pavimentos más comunes son los pavimentos flexibles, también conocidos como pavimentos asfálticos. Estos están compuestos por una capa superficial delgada de mezcla asfáltica, que se coloca sobre una capa de base, la cual a su vez se apoya sobre una subbase. Las capas de base y subbase están formadas por materiales granulares, y toda la estructura se asienta sobre el suelo compactado, conocido como subrasante [1].

Fernández (2020) [2] destaca que la carpeta asfáltica en un pavimento flexible no solo funciona como superficie de rodamiento, sino que también impermeabiliza la estructura, resistiendo los esfuerzos inducidos por las cargas del tráfico. La capa base, por su parte, absorbe y distribuye estos esfuerzos hacia

las capas inferiores, mientras que la subbase, de calidad inferior, cumple un rol económico al permitir la sustitución parcial de la capa base con materiales de menor calidad.

En Ecuador, el diseño de pavimentos flexibles se rige por la Guía de Diseño Empírico AASHTO-93, que está incluida en la Norma Ecuatoriana Vial [3]. Este método, como es habitual en el diseño de pavimentos, considera múltiples factores, incluyendo el tráfico, las características de las capas estructurales, la resistencia de la subrasante y las condiciones ambientales. Este último factor es especialmente crítico debido a la influencia que las variaciones de temperatura tienen en la resistencia y el comportamiento de la mezcla asfáltica.

Amaya (2019) [4] explica que la metodología AASHTO 93 se basa en una estructura multicapa, en la que los espesores se determinan evaluando los números estructurales requeridos en función de varios parámetros. La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO más reciente, publicada en 2002, introduce un enfoque empírico-mecanicista que integra en el diseño factores como el clima, las cargas del tránsito y el comportamiento a largo plazo de los materiales bajo estas condiciones.

Este enfoque representa un avance significativo dentro de los métodos empírico-mecanicistas, incluyendo procedimientos para el análisis y diseño tanto de pavimentos asfálticos como de hormigón, como una herramienta práctica para el diseño de estructuras nuevas y rehabilitadas. Morales et al. (2020) [5] señalan que este procedimiento integral, que utiliza tecnologías empírico-mecanicistas junto con un software accesible, ha transformado radicalmente el proceso de diseño de pavimentos.

Para lograr un diseño racional de pavimentos flexibles, es fundamental establecer los valores admisibles que la estructura puede soportar en puntos críticos, como la fatiga de la capa asfáltica, la deformación vertical en la subrasante y las deformaciones tangenciales en capas aglomeradas. La deflexión vertical generada en la superficie bajo carga es un valor crítico, ya que está directamente relacionado con la capacidad resistente de la estructura en su conjunto.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar estructuras de pavimentos flexibles utilizando la norma de diseño vigente en Ecuador, AASHTO 93 [6], e incorporando los criterios de comportamiento a lo largo de la vida útil establecidos en la Guía de Diseño AASHTO 2004 [7]. Para ello, se emplearán datos de mezclas asfálticas del Laboratorio Central de Carreteras y Puentes de Francia (ALIZE). El propósito es determinar si las estructuras calculadas mediante AASHTO 93 ofrecen un buen desempeño durante su vida de diseño, utilizando las leyes de fallo del enfoque empírico-mecanicista de la nueva Guía, considerando factores como el tráfico, el clima, los materiales y las condiciones del suelo.

## 2. MÉTODO DE DISEÑO AASTHO 93

El método de diseño AASHTO fue desarrollado en los Estados Unidos durante la década de 1960, basado en un ensayo a escala real realizado durante dos años en el estado de Illinois, donde los suelos y climas son representativos de gran parte del país. Este experimento tuvo como objetivo desarrollar tablas, gráficos y modelos que representaran las relaciones entre el deterioro y las solicitaciones en las distintas secciones evaluadas. A partir de la versión de 1986, y especialmente en la actualización de 1993, el método AASHTO comenzó a incorporar conceptos mecanicistas para adaptar algunos parámetros a condiciones diferentes de las del lugar del ensayo original [8].

Las variables consideradas en este método incluyen: el tráfico de diseño (medido en número de ejes equivalentes de 18 kips), el Número Estructural (SN), el Módulo Resiliente de la subrasante (Mr), los Módulos Dinámicos de las capas de base y subbase, la Calidad de Drenaje (Cd), la Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI), el Período de Diseño, la Confiabilidad del Diseño y la Desviación Estándar de todas las variables ($S_0$). El Número Estructural (SN) es un valor adimensional que expresa la resistencia requerida por un pavimento construido sobre una subrasante con un módulo conocido, para soportar el tránsito de diseño. Para el diseño, el método se basa en un modelo empírico que se presenta en la siguiente ecuación.

$$log\ W_{18} = Z_R S_0 + 9{,}36\ log\ log\ (SN+1) - 0{,}20 + \frac{log\ log\ \frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32\ log\ log\ M_R - 8{,}07$$

Donde:

- $W_{18}$ = número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas
- $Z_R$ = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de Distribución Normal

- $S_0$ = desviación standard de todas las variables
- $\Delta PSI$ = pérdida de serviciabilidad
- $M_R$= módulo resiliente de subrasante

## 3. MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA AASHTO 2004.

Según Gómez (2005) [9], la "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide" (ME-PDG) combina componentes mecanicistas, que determinan la respuesta del pavimento a las cargas mediante modelos matemáticos, con componentes empíricos que relacionan estas respuestas con el desempeño del pavimento. Cada tipo de deterioro se asocia con una respuesta crítica específica del pavimento. Por lo tanto, este método, aplicable tanto a estructuras nuevas como a rehabilitadas, combina el análisis mecanicista con la verificación empírica del comportamiento, mediante la predicción de determinados tipos de deterioros.

En cuanto al tráfico, la Guía de Diseño AASHTO 2004 [7] introduce diferencias significativas respecto a la Guía de 1993. En lugar de calcular los ejes equivalentes para toda la vida de diseño, considera el efecto del espectro de cargas en la estructura para los ejes simples, tándem, trídem y cuádruple, mes a mes durante la vida útil de la estructura.

Además, la guía considera explícitamente las condiciones ambientales, que tienen un impacto significativo en el comportamiento de los pavimentos flexibles. La interacción entre los factores climáticos, los materiales del pavimento y las cargas que soporta es compleja. Factores como la precipitación, la temperatura, los ciclos de hielo-deshielo (aunque no aplicables en Ecuador) y la profundidad del nivel freático afectan directamente la capacidad de las capas del pavimento para soportar cargas y su comportamiento general [9].

El procedimiento ME-PDG, en términos generales, consiste en definir inicialmente una serie de parámetros estructurales para el pavimento, incluyendo el número y tipo de capas, los indicadores de resistencia para cada capa, y las características de la explanada. Además, se establecen las condiciones de tránsito y clima que se anticipa que el pavimento enfrentará a lo largo de su período de diseño [10].

A diferencia de otros métodos que emplean ecuaciones de regresión para el diseño, la metodología ME-PDG recomienda la aplicación de la teoría elástica y modela el pavimento como un medio compuesto por capas horizontales, homogéneas y con comportamiento elástico en la subrasante y las bases granulares, mientras que los materiales asfálticos se modelan con un comportamiento visco-elástico. Este procedimiento permite calcular la respuesta del pavimento en términos de deformaciones y tensiones inducidas por las cargas de tráfico y las condiciones climáticas, acumulando el daño a lo largo del período de diseño.

- **Criterios de comportamiento del pavimento flexible según la guía de diseño empírico-mecanicista AASHTO 2004.**

La evaluación empírica del comportamiento del pavimento en el diseño se basa en varios indicadores, como las grietas por fatiga, que pueden originarse tanto desde la superficie hacia abajo como desde el fondo hacia arriba en la capa asfáltica; las grietas inducidas por variaciones de temperatura en la mezcla asfáltica; las grietas por fatiga en capas estabilizadas químicamente; la deformación permanente que afecta todas las capas del pavimento; y el Índice de Regularidad Internacional (IRI). El diseñador debe seleccionar uno o varios de estos indicadores y establecer criterios específicos para evaluar el diseño, realizando modificaciones si es necesario. Los criterios de desempeño para cada tipo de falla estructural dependerán de la tolerancia establecida en el diseño de la carretera (AASHTO 2004 [7]).

Las grietas por fatiga, que aparecen desde el fondo hacia arriba en la capa asfáltica, se manifiestan como fallas tipo "piel de cocodrilo" en la carretera. Estas grietas ocurren cuando el agua se infiltra en las capas inferiores, lo que puede causar fallas estructurales. Según la Guía de Diseño estas grietas típicamente afectan entre el 25% y el 50% del área total del carril.

La deformación permanente, o ahuellamiento, se muestra como surcos en las rutas de las llantas. Esta deformación es la suma de las deformaciones en la capa asfáltica y en las capas no ligadas del pavimento. El ahuellamiento afecta la regularidad del pavimento y puede causar problemas como acumulación de agua y dificultades al cambiar de carril. El criterio de deformación permanente se define por la profundidad

máxima de los surcos en la ruta de las ruedas, que suele estar entre 0,76 y 1,27 cm (0,3 - 0,5 pulgadas), dependiendo de la política de cada institución encargada del diseño.

El criterio de regularidad del pavimento se mide con el Índice de Regularidad Internacional (IRI) al final de la vida útil del pavimento. El valor del IRI se establece según el diseño y no debe exceder el nivel de confiabilidad seleccionado. Típicamente, el IRI final está entre 2,5 y 4,0 m/km (150 a 250 pulgadas/milla), dependiendo de la categoría de la carretera y los criterios de diseño de la institución.

## 4. CONDICIONES DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS

La investigación se centra en evaluar la capacidad de resistencia de pavimentos flexibles para distintos niveles de tráfico, bajo las condiciones climáticas y de materiales típicos de la provincia de Manabí, Ecuador. Primero, se diseñaron las estructuras de pavimento utilizando la Norma AASHTO 93 [6], teniendo en cuenta los módulos de resiliencia de los materiales y factores como el tráfico, las capas estructurales, la resistencia de la subrasante y las condiciones ambientales. Luego, los espesores calculados se revisaron con la Guía de Diseño AASHTO 2004 [7] para analizar su comportamiento durante el período de diseño, utilizando modelos empíricos que incluyen el IRI, las deformaciones permanentes y el agrietamiento.

- **Temperatura del pavimento y módulo resiliente de la carpeta asfáltica**

El módulo resiliente de la capa asfáltica en el diseño de pavimentos está influenciado por la temperatura del pavimento, la cual varía con las condiciones climáticas. Debido a la sensibilidad del asfalto a las fluctuaciones de temperatura, el módulo de la capa asfáltica puede presentar diferentes valores a lo largo del año. Para determinar este módulo, se utilizaron datos de temperatura ambiente máxima y mínima de la ciudad de Portoviejo correspondientes a los años 2021 y 2022, considerando como representativo el año 2022. A partir de los registros de temperatura del año 2022, se estableció que la temperatura ambiente característica de Portoviejo, con una probabilidad del 75%, es de 26,7 °C.

El gráfico en la Figura 2 muestra las frecuencias de temperatura ambiente a lo largo del año, obtenidas utilizando el software Minitab 18 para funciones estadísticas básicas y avanzadas. Con esta información, se determinó la temperatura de cálculo del pavimento en las condiciones ambientales de la región.

Para calcular la temperatura de la mezcla asfáltica, se promedió la temperatura máxima y mínima estimadas durante el año en la región, usando la temperatura ambiente característica de 26,7°C. Las ecuaciones desarrolladas por el SRHP (Strategic Highway Research Program), según Aenlle et al. (2020) [11], permiten estimar las temperaturas máxima y mínima del pavimento a una profundidad de 20 mm, considerando la temperatura ambiente ($T_{aire}$), la latitud ($Lat$), la desviación estándar ($\sigma$), el coeficiente de desviación normal estándar ($Z$), y la profundidad en la mezcla ($H$). Las ecuaciones son las siguientes:

Temperatura máxima: $T_{20mm} = (T_{aire} - 0{,}00618\,Lat^2 + 0{,}22890\,Lat + 42{,}2)(0{,}9545) - 17{,}78 + Z\sigma$

Temperatura mínima: $T_{pav} = T_{aire} + 0{,}051\,H - 0{,}000063H^2 - Z\sigma$

Los cálculos resultaron en una temperatura máxima del pavimento de 47,8 °C y una mínima de 26,7 °C a lo largo del año, con una temperatura promedio a considerar de 36,9 °C. De acuerdo con el repositorio de datos sobre mezclas asfálticas del Laboratorio Central de Carreteras y Puentes de Francia (ALIZE), y en función de la temperatura promedio del pavimento, se estima un módulo resiliente para la mezcla asfáltica en las condiciones climáticas del lugar, de 1150 MPa (equivalente a 163231 psi).

- **Materiales para base y subbase del pavimento**

Según la normativa del Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador, los materiales para bases y subbases granulares deben estar libres de vegetación, basura, arcilla o sustancias que puedan dañar el pavimento. Las subbases deben tener una capacidad de soporte (CBR) mínima del 30%, y las bases deben superar el 80%. Ambos tipos de capas deben cumplir con los mismos límites de consistencia: el Índice de Plasticidad debe ser igual o menor al 6%, y el Límite Líquido debe ser menor o igual al 25%. La dureza, medida por el Coeficiente de Desgaste de los Ángeles, debe ser menor al 50% para las subbases y al 40% para las bases. Además, la densidad mínima de ambos materiales debe ser al menos el 100% de la densidad máxima modificada.

En la Guía de Diseño AASHTO 93, el módulo resiliente para una base granular con un CBR del 80% es de 28000 psi (197 MPa), mientras que para una subbase con un CBR mínimo del 30%, el módulo es de 15000 psi (106 MPa). El módulo de la subrasante es del 5%, equivalente a 7,500 psi (53 MPa).

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS MEDIANTE LA GUÍA AASTHO 93 Y REVISIÓN MEDIANTE LA GUÍA DE DISEÑO EMPÍRICO-MECANICISTA AASHTO 2004

Una vez establecidas las propiedades resistentes de los materiales, se definieron las siguientes condiciones de diseño para las estructuras de pavimento flexible calculadas mediante la norma AASHTO 93: un período de diseño de 15 años, un nivel de confiabilidad del 95% (valor estándar de 1,645), y un índice de serviciabilidad presente (PSI) de 4,2 al inicio y 2,5 al final, resultando en una pérdida de serviciabilidad de 1,7. La estructura estará expuesta el 25% del tiempo a niveles de humedad cercanos a la saturación, con buen drenaje, por lo que el coeficiente de drenaje para la base y la subbase se ha considerado igual a 1.

Para considerar el espectro de cargas del tráfico característico en la región de Portoviejo, se plantearon tres escenarios de tráfico, definidos en términos de ejes equivalentes a 18 kips (82 kN) acumulados durante el período de diseño (ESALs).

Las estructuras diseñadas de acuerdo con la AASHTO 93 fueron reevaluadas utilizando la guía de diseño empírico-mecanicista de 2004, lo que resultó en nuevos espesores para cada tipo de tráfico. En la Tabla 1 se muestran los espesores resultantes de ambos procedimientos de diseño para cada escenario de tráfico considerado.

*Tabla 1. Espesores de pavimento calculados (en cm) según los métodos AASHTO-93 y la Guía de diseño Empírico Mecanicista 2004.*

| Capas del pavimento | Módulo (psi) | Tráfico de diseño (ESALs) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $5 \times 10^5$ | | $1 \times 10^6$ | | $2{,}5 \times 10^6$ | |
| | | AASHTO 1993 | AASHTO 2004 | AASHTO 1993 | AASHTO 2004 | AASHTO 1993 | AASHTO 2004 |
| **Superficie** | 163231 | 18 | 10 | 20 | 13 | 23 | 15 |
| **Base** | 28000 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| **Subbase** | 15000 | 13 | 13 | 15 | 15 | 20 | 20 |

- **Revisión del comportamiento de las estructuras por la Guía de Diseño AASHTO 2004.**

El comportamiento de las estructuras calculadas por ambos procedimientos se evaluó utilizando el software MEPDG, basado en la guía de diseño empírico-mecanicista AASHTO 2004, con el objetivo de comparar la evolución de los deterioros durante la vida útil de las estructuras en cada escenario de tráfico considerado.

Las fallas observadas durante el periodo de vida útil, que fueron comparadas con los límites mínimos de diseño establecidos por la guía AASHTO 2004 para pavimentos flexibles, incluyen: agrietamiento de abajo hacia arriba (falla tipo piel de cocodrilo) y deformación permanente.

- **Análisis del agrietamiento de abajo hacia arriba (falla piel de cocodrilo).**

Para el agrietamiento, se estableció en los diseños un límite máximo del 25%. Los resultados mostraron que el agrietamiento máximo en cada uno de los escenarios de tráfico es inferior al límite establecido en los diseños, tanto en el procedimiento AASHTO 93 como en el AASHTO 2004, para un 90% de confiabilidad. Por lo tanto, se pueden aceptar los diseños de todas las estructuras. Sin embargo, las estructuras calculadas utilizando el procedimiento AASHTO 2004 presentan espesores menores, especialmente en la capa asfáltica, donde se registró una reducción considerable.

La Figura 1 muestra la evolución del agrietamiento máximo de abajo hacia arriba (piel de cocodrilo) durante el período de diseño para las estructuras calculadas con el mayor nivel de tráfico, de $2{,}5 \times 10^6$ ejes equivalentes. En el gráfico se presentan los resultados del agrietamiento para un 50% y 90% de confiabilidad en el diseño.

Se puede observar una diferencia significativa entre el comportamiento del agrietamiento, para la estructura calculada según AASHTO 93 y la calculada según AASHTO 2004. Esta diferencia se debe a que la estructura diseñada según AASHTO 93 tiene un espesor de capa asfáltica de 23 cm, mientras que el cálculo con el programa MEPDG permitió reducir el espesor hasta 15 cm.

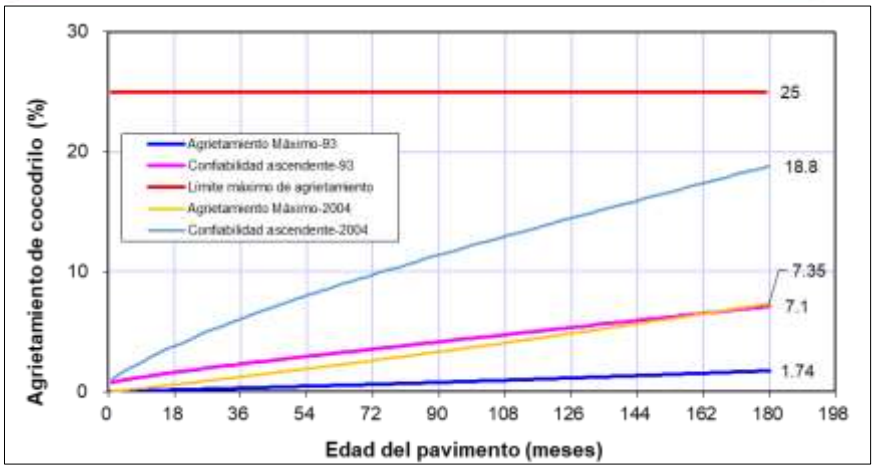



***Figura 1.*** *Falla piel de cocodrilo entre AASHTO-93 y AASHTO 2004 para tráfico 2,5 x10$^6$ ESALs*

- **Análisis de la deformación permanente.**

La deformación permanente es el principal factor que contribuye a la pérdida de regularidad en el pavimento flexible. Para este tipo de deterioro, se estableció un límite total de deformación de 1,9 cm. Los resultados mostraron que la deformación máxima en cada uno de los escenarios de tráfico es inferior al límite establecido en los diseños, tanto en el procedimiento AASHTO 93 como en el AASHTO 2004, para un 90% de confiabilidad. Se pueden aceptar los diseños de todas las estructuras, sin embargo, las estructuras calculadas utilizando el procedimiento AASHTO 2004 han requerido menores espesores, especialmente en la capa asfáltica, donde se registró una reducción considerable.

Las Figuras 2 y 3 muestran los resultados de la deformación permanente para el mayor tráfico en cada una de las capas de la estructura, de acuerdo con los diseños AASHTO 93 y AASHTO 2004, respectivamente. En la Figura 2, calculada según la norma AASHTO 93, se observa una deformación total de 0,88 cm para un 50% de confiabilidad y de 1,19 cm para un 90%. La deformación esperada es de 0,20 cm en la superficie, 0,13 cm en la base y 0,55 cm en la subbase. En la Figura 3, calculada según la norma AASHTO 2004, la deformación total es de 1,09 cm para un 50% de confiabilidad y de 1,43 cm para un 90%. La deformación esperada es de 0,31 cm en la superficie, 0,43 cm en la base y 0,64 cm en la subbase.

Por lo tanto, se observan valores superiores en la estructura calculada según AASHTO 2004 en comparación con AASHTO 93, aunque ambas estructuras cumplen con el límite de 1,90 cm establecido en los diseños. Esta diferencia se debe en parte a la reducción del espesor de la capa asfáltica.

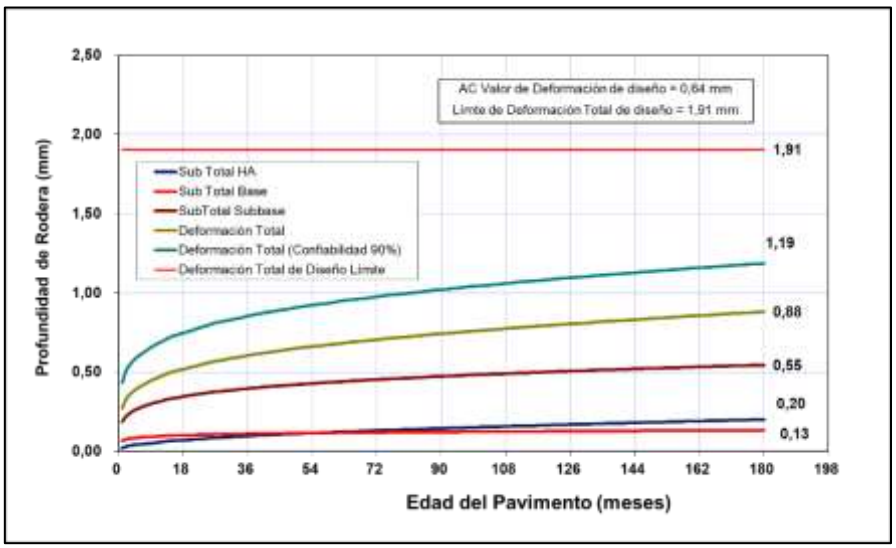
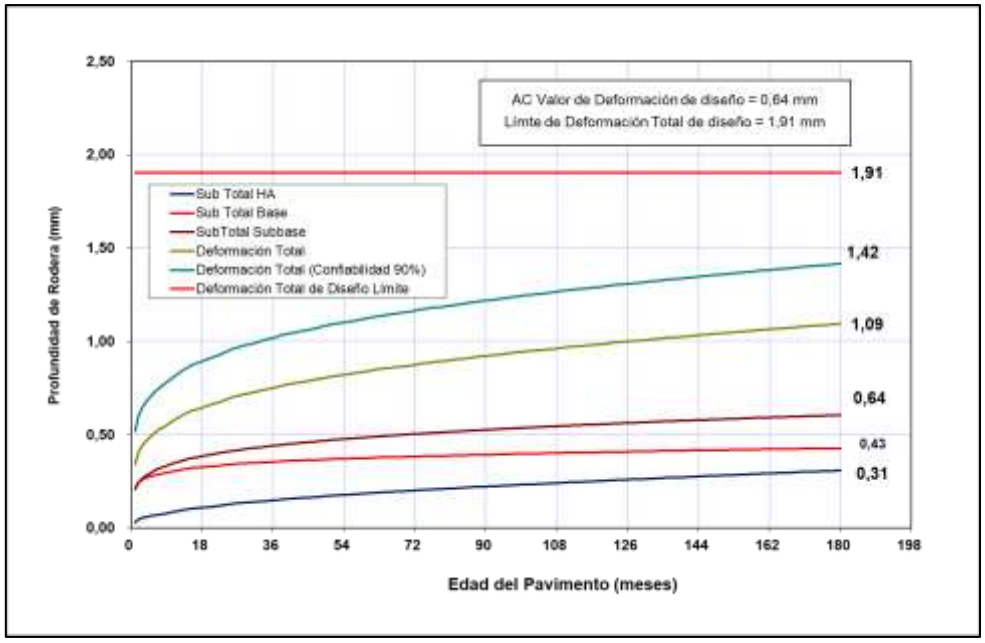



*Figura 2. Deformación permanente en el periodo de diseño de la estructura para el tráfico 2,5x10$^6$ ESALs. Método AASHTO-93.*




1,9

***Figura 3.*** *Deformación permanente en el periodo de diseño de la estructura para el tráfico 2,5x10$^6$ ESALs. Guía de diseño Empírico Mecanicista 2004.*

## 6. CONCLUSIONES

La temperatura ambiente característica de la ciudad de Portoviejo, con una probabilidad del 75%, es de 26,7 grados centígrados, según los registros de temperatura del año 2022. En consecuencia, la temperatura de cálculo del pavimento en las condiciones ambientales de esta región muestra una temperatura máxima de 47,8°C y una mínima de 26,7°C a lo largo del año, lo que da como resultado una temperatura promedio del pavimento de 36,9°C. Para esta temperatura, se ha considerado un módulo resiliente de 1150 MPa para la mezcla asfáltica, basándose en los modelos del Laboratorio Central de Carreteras y Puentes de Francia (ALIZE).

Se comprobó que existen diferencias significativas en el comportamiento de las estructuras calculadas por la AASHTO 93 y por la guía de 2004, tanto en el fallo por deformación permanente como en el agrietamiento por fatiga. No obstante, las estructuras calculadas para los diferentes tráficos de diseño cumplen con los valores límites establecidos. Estas diferencias se deben a que las estructuras diseñadas con la AASHTO 93 resultan en mayores espesores de capa asfáltica que los calculados por el programa MEPDG, donde se ha podido considerar espesores significativamente menores para todos los tráficos, cumpliendo con los límites de fallos establecidos.

La guía de diseño empírico-mecanicista MEPDG integra en el diseño el comportamiento de los materiales, el clima, y las cargas del tránsito, lo que permite estimar los deterioros en cada capa de la estructura a lo largo del período de diseño. El uso de los modelos de comportamiento de la guía de 2004 permite verificar las estructuras calculadas por la AASHTO 93, lo que a su vez resulta en estructuras con menores espesores, favoreciendo la economía del proyecto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Plúas Morán, M. J., & Vargas Vargas, E. M. (2018). Análisis y diseño de la vía de ingreso al proyecto de vivienda fiscal de la armada del ecuador ubicada en el km 22 de la vía a Chongón, presentando dos alternativas estructurales con pavimento flexible y rígido (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2018.).

2. Fernández Ruiz, M. A. (2020). Determinación del comportamiento estructural del pavimento

flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico.

3. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP. Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
4. Amaya Alfonso, O. F. (2019). Diseño de la estructura de un Pavimento Flexible Aplicando el Método AASHTO-93, para el corredor Vial comprendido entre la Diagonal 65–Cai Boston–Cruce vía Yuma en Barrancabermeja, Santander.
5. Morales, M. C. S., Marrero, D. M. P., & Piusseaut, E. T. (2020). Propuesta de espesores mínimos de superficie y coeficientes de equivalencia de espesores para el diseño de pavimentos flexibles. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 14(1), 1-10.
6. Transportation Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 (Vol. 1). AASHTO.
7. AASHTO (2004) Una política sobre diseño geométrico de carreteras y calles. Quinta edición, Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, Washington DC.
8. Salamanca-Niño, M. A., & Zuluaga-Bautista, S. A. (2014). Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía La Ye-Santa Lucía Barranca Lebrija entre las abscisas K19+ 250 A K25+ 750 ubicada en el departamento del Cesar.
9. Gómez, J. A. F. (2005). Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002.
10. Transportation Officials. (2008). Mechanistic empirical pavement design guide: A manual of practice. AASHTO.
11. Alonso Aenlle, A., Morales Fournier, J., Garrido Acosta, C., Abreu Hernández, D. O., & Martínez Rojo, T. E. (2020). Determinación y zonificación del grado de desempeño de los asfaltos para Cuba según la metodología Superpave. Ingeniería y Desarrollo, 38(2), 400-419.
12. Prado Canchari, D. (2022). Comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y método mecanicista, Andahuaylas 2021.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INSTRUMENTACION EN PAVIMENTO DE HORMIGÓN SIMPLE PARA ESTUDIOS DE TENSIONES DE COMBADO ORIGINADOS POR GRADIENTES DE TEMPERATURA

**Dr. Ing. Edwin Alexander Rodríguez[1], Dr. Ing. Félix Michael Hernández López[2], Dr. Ing. Eduardo Tejeda Piusseaut[3]**

[1]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. e-mail: edwin.rodriguez@utm.edu.ec
[2]Departamento de Viales. Facultad de Civil., Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae). e-mail: michaelhl@civil.cujae.edu.cu
[3]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. e-mail: eduardo.tejeda@utm.edu.ec

## RESUMEN

Se describe la instrumentación de un tramo experimental de pavimento de hormigón simple, construido en la Universidad Técnica de Manabí, en un proyecto de colaboración con la Universidad Tecnológica de La Habana, para estudiar su comportamiento en las condiciones ambientales de Portoviejo, en Ecuador. La temperatura ambiente durante el día genera gradientes de temperatura entre la parte superior e inferior de las losas, provocando tensiones de combado, que son causantes de ciertos deterioros. Se registró el mayor gradiente de temperatura (11ºC) entre la una y dos de la tarde, cuando la superficie se encontraba en los 39,5 °C y en el fondo en 28,5 °C; mientras que, el gradiente de temperatura nulo se registró entre las 10 y 11 de la mañana. La modelación de la estructura formada por la losa, base y subrasante, mediante el software EverFE, permitió determinar los valores de tensiones originadas por el gradiente máximo de temperatura.

**PALABRAS CLAVES:** pavimentos de hormigón simple, tensiones de combado, gradiente de temperatura

## INSTRUMENTATION IN PAVEMENT OF SIMPLE CONCRETE FOR STUDIES OF TENSIONS OF WARPED ORIGINATED FOR GRADIENTS OF TEMPERATURE

## ABSTRACT

The instrumentation of an experimental stretch of pavement of simple concrete, constructed at the Technical University of Manabí, is described in a collaborative project with the Technological University of Havana, to study its behavior in the environmental conditions of Portoviejo, in Ecuador. The ambient temperature during the day generates temperature gradients between the top and bottom of the slabs, causing warping tensions, which are causing some deterioration. The highest temperature gradient (11oC) was recorded between one and two o'clock in the afternoon, when the surface was at 39.5oC and at the bottom at 28.5oC; while, the zero-temperature gradient was recorded between 10 and 11 in the morning. The modeling of the structure formed by the slab, base and subgrade, using the EverFE software, allowed to determine the values of voltages originated by the maximum temperature gradient.

**Keywords:** simple pavement concrete, warping tensions, gradient of temperature

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de hormigón, conocidos también como pavimentos rígidos, por su elevada rigidez, están formados por una losa de hormigón de cemento Portland, reforzado o no, apoyada sobre el suelo natural de subrasante, o sobre un material granular, que pudiera estar tratado con algún aglomerante o conglomerante.

La instrumentación de pavimentos se ha convertido en una importante herramienta de monitoreo del desempeño del material in situ y una forma de cuantificar la respuesta de estos ante las solicitaciones de carga y de clima a que es expuesto. Dentro de los parámetros que requieren mediciones de campo se encuentran: la deformación unitaria, los esfuerzos de tensión y compresión, la humedad y la temperatura. Las mediciones in situ de estos parámetros permiten el desarrollo de modelos de desempeño precisos y la calibración de las técnicas de diseño de pavimentos desde un enfoque mecanisístico [1].

En este trabajo se expone el procedimiento utilizado y algunos de sus resultados, para determinar los valores de temperatura que se alcanzan en el pavimento de hormigón en las condiciones climáticas de Portoviejo, en Ecuador. Los valores de temperatura han sido obtenidos de un tramo experimental, formado por dos losas de hormigón simple, instrumentado, entre otros propósitos, para evaluar la influencia de la temperatura en las tensiones producidas en la losa de hormigón, bajo las condiciones ambientales del lugar.

Los registros de temperatura permiten conocer cuáles son los gradientes máximos en las losas durante el día, causantes de las llamadas tensiones de combado. Por otra parte, también se persigue establecer en qué momento del día se produce la misma temperatura en la parte inferior y superior de la losa, que es el período de tiempo en que solo influyen las cargas de tráfico en su estado tenso-deformacional, lo que facilita continuar con otros estudios de tensiones y deformaciones bajo la influencia de las solicitaciones de cargas. La respuesta en tensiones, deformaciones y desplazamientos, se utiliza, junto a los criterios de falla, para predecir los deterioros de acuerdo a la confiabilidad establecida para el diseño.

Las variables de diseño en pavimentos de hormigón son: cargas de tráfico, condiciones ambientales, características del hormigón y de los materiales del cimiento. El cimiento puede ser la propia subrasante, en estado natural o compactado; o también, un conjunto formado por una capa de base o subbase, apoyada sobre la subrasante. Para caracterizar el aporte del cimiento, en los diseños, puede utilizarse el módulo de reacción de la subrasante (k) o el módulo resiliente (Mr).

Los materiales que conforman el sistema del pavimento de hormigón simple son varios: el hormigón que conforma la losa; el material de soporte o cimiento, que puede estar conformado por varias capas, aglomeradas o no; las barras de amarre longitudinal de las losas y los pasadores, para la transferencia de cargas en las juntas transversales.

El tramo experimental construido está compuesto por dos losas de hormigón de 3,5m de ancho por 5m de largo, y se encuentran apoyadas, una sobre el terreno del lugar, previamente compactado, y la otra sobre una capa de subbase, de manera que pueda evaluarse la influencia del apoyo. En uno de sus extremos laterales se ha construido paseo de hormigón, con el objetivo de analizar la aportación del paseo rígido sobre la reducción de tensiones en la losa.

Estos pavimentos de hormigón llevan juntas transversales de contracción entre losas contiguas, y juntas longitudinales de alabeo, entre carriles, para evitar la aparición de fisuras debido a la retracción del hormigón. La losa de pavimento, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, lo que produce una buena distribución de las cargas, llegando muy bajas tensiones al cimiento [2].

Los efectos producidos por el tránsito sobre la infraestructura de una carretera resultan complejos, debido no sólo a la variabilidad de los distintos vehículos que circulan, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito, definidas en otros trabajos de investigación [3,4]. En el proyecto se continuarán los estudios para evidenciar también la influencia de las cargas.

Fue necesario la caracterización de los materiales componentes del sistema, tanto de la losa como el material de subbase y el suelo natural del lugar, que conforma la subrasante. En los pavimentos de hormigón, sometidos a flexo-tracción, se utiliza como parámetro resistente la resistencia a la flexión,

determinada mediante el ensayo de carga en vigas de dimensiones de 15x15x55 cm [5], cuyo valor de resistencia se conoce como módulo de rotura (MR), requiriéndose este parámetro después de 28 días de curado.

El uso de subbase o base, colocado entre la subrasante y la losa, formado por materiales granulares tratados o no, puede mejorar el apoyo de la losa, y evitar el fenómeno de bombeo de materiales, cuando la subrasante natural tiene elevado contenido de finos y baja resistencia a los esfuerzos. La capa de base o subbase provee un soporte a la losa de hormigón uniforme, estable y permanente durante su construcción y vida útil; asimismo, incrementa el aporte en carga del terreno de cimentación al aumentar la rigidez de la estructura [6,7,8]. El comportamiento de la losa se evaluará en los dos diferentes apoyos, sobre el terreno natural de subrasante y sobre la subbase.

## 2. MECANISMOS DE FALLAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE

Los deterioros en los pavimentos de hormigón simple son producidos por las tensiones, deformaciones y desplazamientos, que se generan en la losa debido a la influencia del tráfico, temperatura y la humedad en la cimentación. La manera en que los métodos de diseño restringen los deterioros durante el período de diseño es considerando, en los análisis, dos mecanismos de fallo: a) la pérdida de soporte por erosión, relacionado con el escalonamiento en las juntas y b) el fallo por fatiga, relacionado con los fallos por el agrietamiento transversal en las losas.

El movimiento del agua a través de las juntas, unido a suelos finos utilizados como cimiento de las losas, produce el fenómeno conocido como bombeo, que es un problema difícil de caracterizar de manera analítica, requiriendo un volumen experimental extremadamente elevado; como lo demuestran los resultados derivados de los tramos de pruebas de la ASHTO Road Test, empleados para el análisis de erosión, en normativas como la [9,10] y recientemente en la [11].

El efecto de la pérdida de soporte por erosión, se puede reducir mediante la aplicación de medidas de diseño o constructivas: aumentando la eficiencia de transferencia de carga entre losas, manteniendo el material sellante impermeable en las juntas, y utilizando capas de bases granulares o tratadas, cuando el suelo de subrasante contenga alto contenido de finos.

Los deterioros en las losas por agrietamiento transversal, están asociados al fenómeno de fatiga en el hormigón, causados fundamentalmente por los esfuerzos repetitivos aplicados en el borde y mitad de la losa. El criterio de fallo en el dimensionamiento de la losa se evalúa mediante la relación entre el número de repeticiones esperadas de cada carga del espectro y el número de repeticiones que admite la losa antes del fallo por fatiga.

## 3. EFECTOS DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN LA LOSA POR LA RADIACIÓN SOLAR

Los pavimentos rígidos están sometidos a diversos esfuerzos, causados además de la acción de las cargas de los vehículos, por los cambios de temperatura en la losa. Los cambios de temperatura pueden provocar tensiones de combado o de fricción entre la losa y el soporte.

Las variaciones en la temperatura del pavimento provocado por los cambios de temperatura ambiente que se producen durante el día, genera tensiones en las losas de hormigón y son causantes de ciertos deterioros. Las losas de hormigón se expanden o contraen en su longitud, por una variación uniforme de temperatura por lo cual surgen tensiones de fricción entre la losa y el cimiento. Cuando se originan gradientes de temperatura durante el día, a través de su espesor, pueden también producirse las llamadas tensiones de combado, ya sea por calentamiento de la parte superior de la losa durante el día o por su enfriamiento en la noche.

Cuando se eleva la temperatura ambiente, la parte superior de la losa de hormigón se calienta más que la parte inferior (diferencia de temperatura positiva a través de la losa) y como resultado, se produce un alargamiento de la parte superior respecto a la parte inferior (curvatura convexa), como se muestra en la figura 1a, lo que crea un vacío debajo y en el medio de la losa. Como el peso propio de la losa se opone a la curvatura; la curvatura real no puede desarrollarse, por lo que se restringe el movimiento libre de la losa, causando tensión de tracción en su parte inferior. Bajo las cargas del tráfico, cualquier pérdida real de apoyo debido a las diferencias de temperatura aumenta aún más los esfuerzos de tracción críticos en la parte inferior de la losa [11].

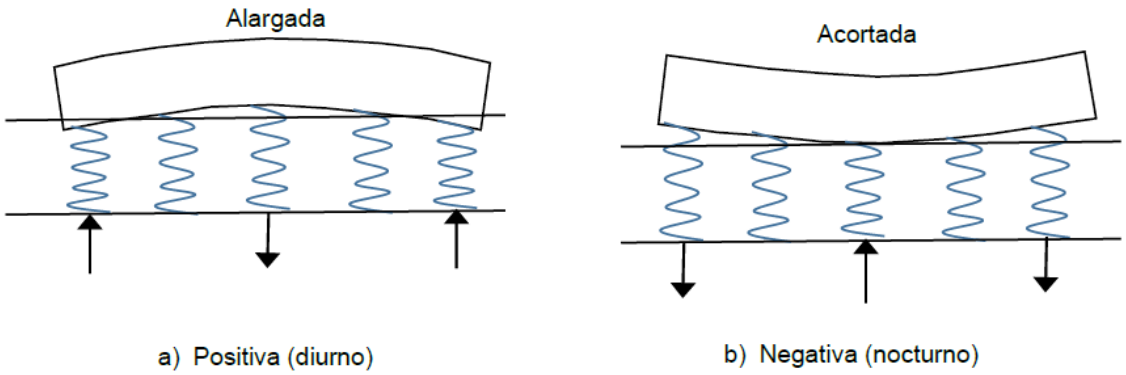



Figura 1. Curvatura de la losa de hormigón por las diferencias de temperatura [11]

Durante la noche, la parte superior de la losa es comúnmente más fría que la parte inferior (diferencia de temperatura negativa a través de la losa). El resultado es una curvatura cóncava de la losa, como se muestra en la figura 1b, lo que crea huecos por debajo de los bordes de la losa, que, combinados con la carga de tráfico, aumenta la tensión de tracción en la parte superior, y puede conducir a la iniciación de grietas de fatiga, de arriba hacia abajo [11].

Las precipitaciones por su acción sobre los suelos de subrasante y capas no aglomeradas de base o subbase pueden ocasionar modificaciones en el comportamiento de estos materiales, provocado por el incremento de la humedad, sobre todo cuando las condiciones de drenaje son desfavorables, y también puede influir sobre la reducción de temperatura de la parte inferior de la losa.

Por la sensibilidad de las tensiones críticas de los pavimentos de hormigón a los gradientes de temperatura, es necesario considerar la variación horaria de la temperatura, ya que durante el día pueden producirse gradientes de magnitud tal que ocasionen grandes tensiones debido al combado. Las dimensiones de la losa (espesor, largo y ancho), las propiedades de los materiales, la temperatura ambiente y la humedad del cimiento, son variables que influyen en el gradiente de temperatura entre la parte superior e inferior de la losa, y, por tanto, en las tensiones producidas debido al combado.

## 4. INSTRUMENTACION Y MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LOSAS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE

Para evaluar el comportamiento de pavimentos, las respuestas que se miden con mayor frecuencia, son: las deformaciones, los esfuerzos y las deflexiones. Las deformaciones se utilizan para controlar el daño por fatiga de los materiales y el ahuellamiento de bases granulares. El estado de esfuerzos de la estructura del pavimento permite identificar la influencia de la aplicación de las cargas sobre las capas de la estructura y las deflexiones se utilizan en retro cálculos para cuantificar las propiedades de las materiales in situ [13].

En la instrumentación de pavimentos, con el objetivo de determinar el comportamiento ante cargas y clima de estas estructuras, es necesario, además de los sensores para obtener la señal de deformaciones y temperatura dentro del pavimento, la utilización de un sistema de adquisición de datos, que constituye la interfaz entre la señal captada por los sensores de medición y una computadora. El software y los dispositivos desarrollados para la adquisición de datos, permiten la recolección de una gran cantidad de datos, con gran precisión, en un proceso que incluye su almacenamiento para su posterior análisis.

### 4.1. Instrumentación en tramo de pavimento de hormigón para cuantificar la temperatura en la estructura

Los proyectos de instrumentación incluyen regularmente la medición de la temperatura y la humedad en el interior del pavimento. La temperatura es útil para explicar los fenómenos de combado en las losas de pavimentos rígidos, y la humedad permite cuantificar la capacidad de drenaje de la estructura, además de que está muy relacionada con la resistencia de los materiales no aglomerados y la subrasante.

Antes de la instalación de los sensores de medición, el sistema de adquisición de datos debe comprobarse y estar listo para ejecutar las mediciones. Durante el planeamiento se deben considerar los siguientes

factores: funcionabilidad de los instrumentos, propiedades de los materiales a instalar, ubicación (proximidad entre sensores, bordes de la carretera), reemplazo de materiales alterados y conservación de las condiciones generales del sitio (sección transversal, apariencia superficial, etc.). El registro de las mediciones de los diferentes sensores, se realiza a través de un software diseñado en lenguaje de programación como LabView, lenguaje gráfico diseñado para el desarrollo de programas de control, en el procesamiento de adquisición de datos [1]. Los sensores utilizados para estas pruebas son extremadamente delicados y deben ser manejados con mucho cuidado.

Los sensores se instalan para medir respuestas que están relacionadas con deterioros típicos o con el comportamiento del pavimento, por eso su ubicación y distribución depende del propósito del experimento y de las características del objeto de prueba. Los sensores de temperatura están compuestos por dos alambres de distinto material (Nickel/Cromo), unidos en un extremo, de manera que al aumentar temperatura se genera en la unión de los metales un pequeño voltaje.

Estos sensores fueron instalados, embebidos dentro del hormigón, a varias profundidades dentro de la losa de 20 cm de espesor, de manera que el primero quedó ubicado a 2 cm, el segundo a 6 cm, el tercero a 10 cm, el cuarto a 14 cm y el quinto a 18 cm, para tener información de las temperaturas a través de todo el espesor. También se consideró un sensor para captar la temperatura ambiente que existe en cada instante de medición.

### 4.2. Resultados de las mediciones de temperatura en la losa de hormigón simple

En la figura 2 se muestran las temperaturas medidas en la losa durante el día, a las diferentes profundidades (puntos del 1 al 5), además de la temperatura ambiente, lo que representa el patrón de temperatura para esta región y época invierno.

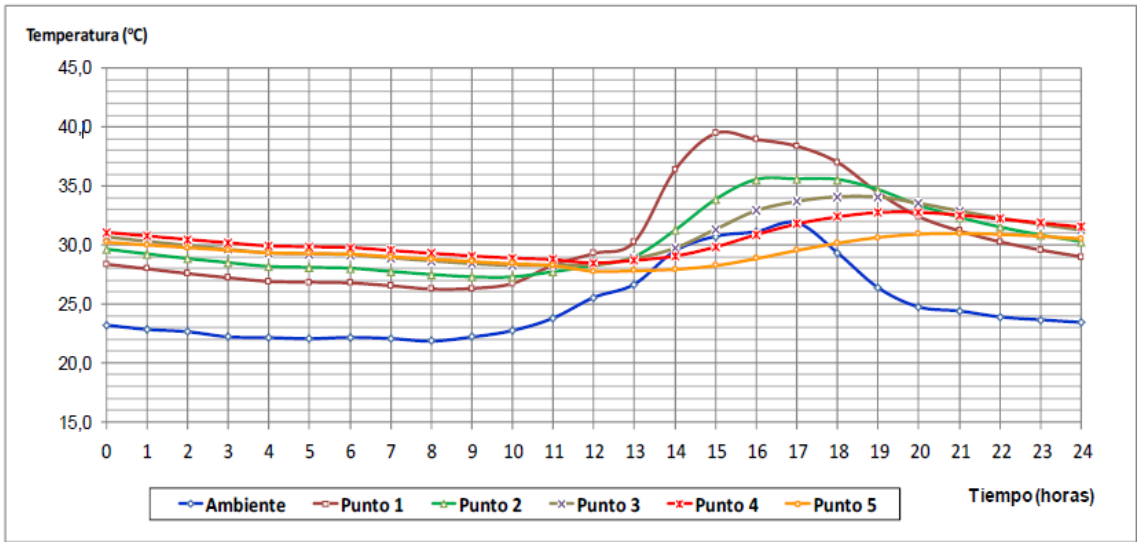



Figura 2. Temperatura de la losa de hormigón durante las horas del día, a diferentes profundidades.

Desde las doce de la noche hasta las ocho de la mañana no se registran diferencias apreciables, pero cercano a las dos de la tarde, la temperatura ya se ha incrementado significativamente (>30 °C), volviendo a descender a 24,7 °C cercano a las siete de la noche, hasta 23,4 °C después de las diez de la noche, para alcanzar de nuevo la temperatura de la madrugada. Este patrón de temperatura se repite aproximadamente en los meses de invierno, con valores máximos por encima de 30 °C entre la una y dos de la tarde, y valores mínimos en la madrugada.

Es evidente que existe una relación directa entre la temperatura ambiente y la del punto 1, que se encuentra a dos centímetros de la superficie; en el resto de los puntos las temperaturas se van modificando dependiendo también de la influencia de la humedad en la base y de la velocidad de transferencia de temperatura a través del espesor.

La figura 3 se ha elaborado para representar los gradientes de temperatura en cada momento del día, entre la superficie y la parte inferior de la losa, restando ambas temperaturas. Se puede apreciar que entre las 10

y 11 de la mañana ambas temperaturas se igualan, donde no hay posibilidad de que se creen las tensiones de combado, porque el gradiente es igual o cercano a cero. Se precisa conocer este momento, ya que se puede evaluar la influencia de una carga impuesta sobre la estructura, despreciando la influencia del gradiente de temperatura.

El mayor gradiente de temperatura (11 °C) se obtuvo entre la una y dos de la tarde, cuando la temperatura en la superficie se encontraba en los 39,5 °C y en el fondo en 28,5 °C. En este momento se deben registrar las mayores tensiones por combado de la losa, es decir, con una curvatura de la losa de hormigón por diferencias de temperatura positiva. Por el contrario, las tensiones de combado por curvatura de la losa de hormigón debido a la diferencia de temperatura negativa (nocturno), son muy bajas, ya que cuando la temperatura de la losa en el fondo es mayor (30,9 °C), la diferencia entre el fondo y la superficie es de solo 1,5 °C.

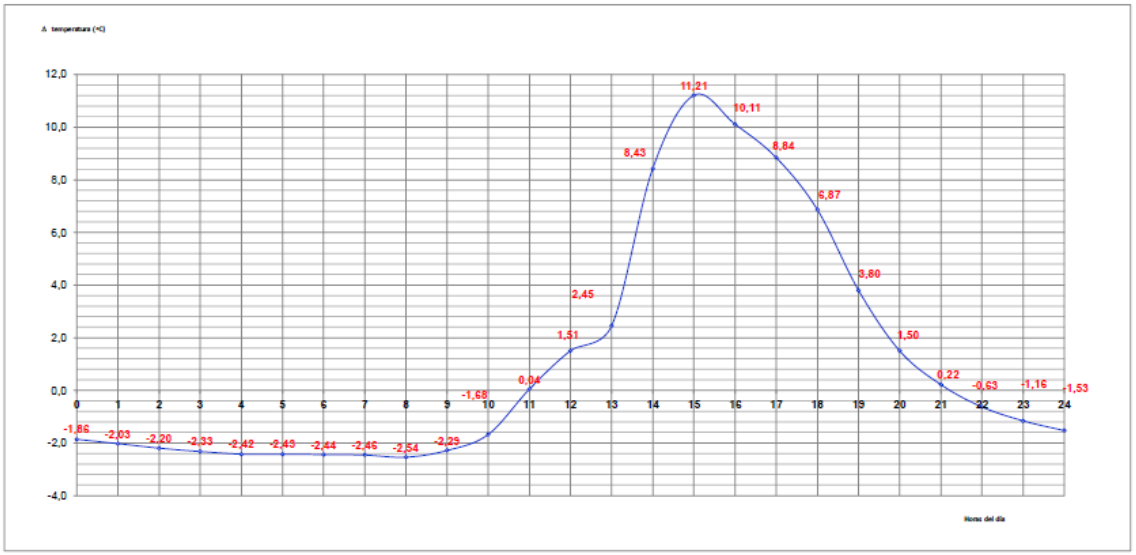



Figura 3. Temperatura de la losa de hormigón durante las horas del día, a diferentes profundidades.

La figura 4 contiene los registros de temperatura en la losa, tomadas a diferentes profundidades en la losa durante el día. La temperatura en la superficie se puede considerar como la obtenida a los dos centímetros, dada la imposibilidad de colocar los sensores a menor profundidad en la losa, y es donde se observa la mayor influencia de la temperatura ambiente. Cuando la temperatura ambiente es de 30,7 °C (figura 1) en la superficie de la losa se registró 39,5 °C. Como es evidente, durante todo el día, en la medida en que se incrementa o desciende la temperatura ambiente, ocurre lo mismo con la temperatura en la superficie de la losa.

Sin embargo, la temperatura de la losa también es influenciada por la base y por su espesor, de manera que se van produciendo variaciones durante el día a través de todo el espesor. La temperatura en el fondo de la losa, medida a los 18 centímetros, no tiene grandes cambios, manteniéndose durante el día entre 28,2 °C y 30,9 °C (2,7 °C de diferencia), lo que evidencia la influencia de las condiciones de humedad del material del cimiento.

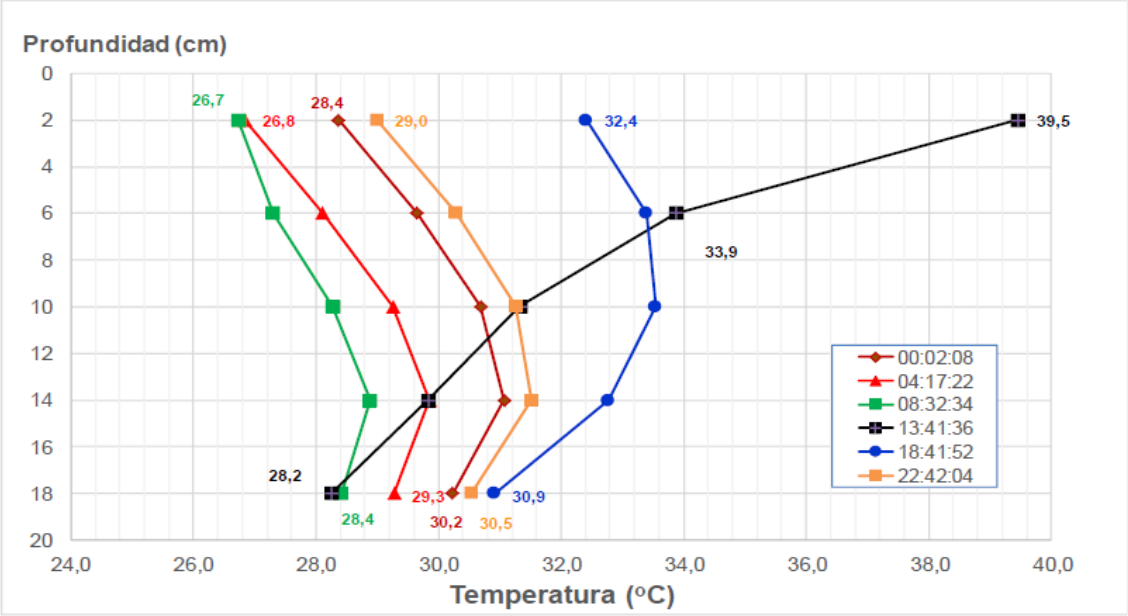



Figura 4. Temperatura de la losa de hormigón durante las horas del día, y a diferentes profundidades, medidas desde la superficie.

## 5. DETERMINACIÓN EL ESTADO TENSIONAL DEBIDO AL GRADIANTE MÁXIMO DE TEMPERATURA

Las universidades de Maine y Washington desarrollaron conjuntamente el software EverFE con fondos de los Departamentos de Transporte del Estado de Washington y California. Es una herramienta de análisis 3D de elementos finitos, para simular la respuesta a las cargas axiales y los efectos ambientales de los sistemas de pavimento de hormigón simples con juntas (JPCP) y puede ser utilizado tanto para la investigación como para el diseño [13].

El software tiene una interfaz gráfica de usuario intuitiva, que simplifica enormemente la generación del modelo y la interpretación de los resultados. Dispone de una nueva técnica para modelar la transferencia de cargas en las juntas con trabazón de agregados, incorporando racionalmente la no linealidad, así como un nuevo método para modelar la transferencia de cargas de la junta con pasadores [13].

En la figura 5 se muestran en los datos del tramo experimental que han sido introducidos para su modelación en el software. Aparece el modelo geométrico, con las dos losas contiguas, de 3,5x5 m, con pasadores como sistema de transferencia de cargas. También es necesario introducir otros datos al modelo, como los diferentes espesores del sistema, 20 cm para la losa y 20 cm para la subbase, así como un espesor suficiente de subrasante natural, en el que se ha considerado dos metros.

En el modelo de materiales se colocaron las resistencias de cada uno de los materiales componentes. La losa de hormigón con una resistencia a compresión de 30 MPa a los 28 días de curado; subbase de 400 MPa, compuesta de un material seleccionado de cantera, y la subrasante natural, después de compactada al 95% del Proctor modificado, con un módulo de 100 MPa, estimado a partir del CBR de laboratorio.

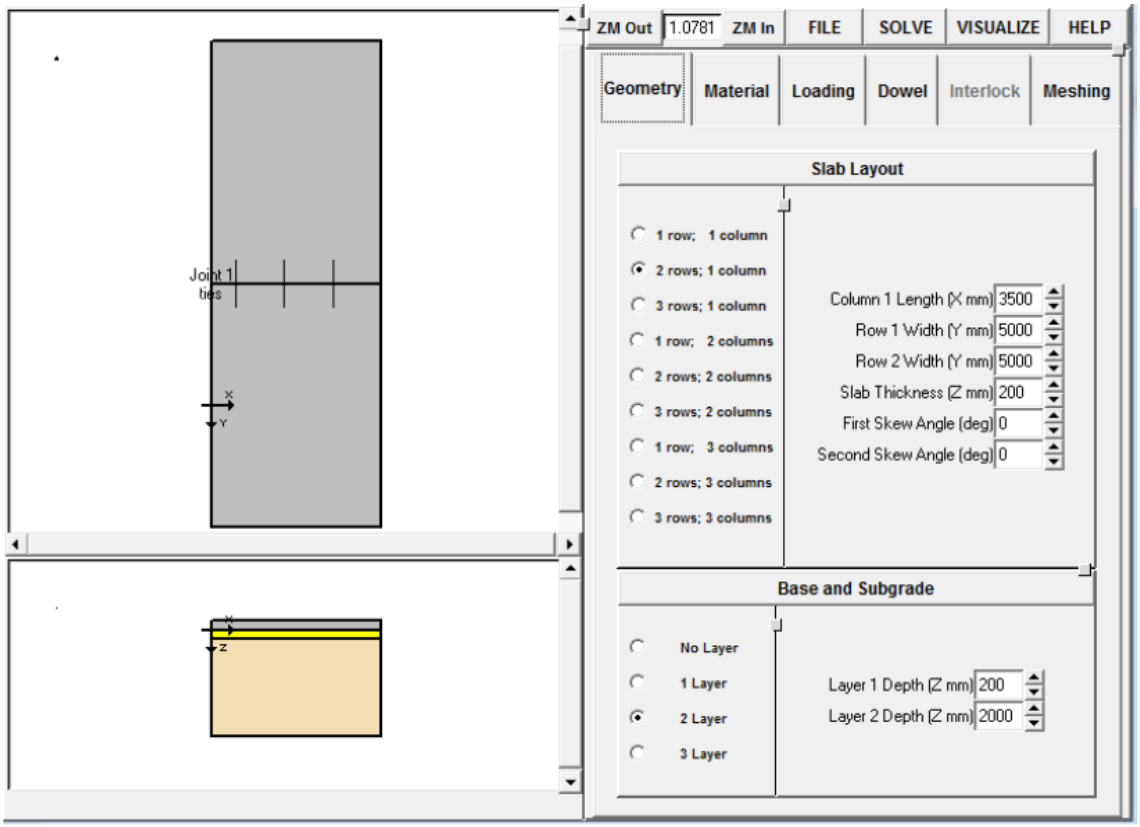



Figura 5. Ventana para la introducción de las condiciones en el modelo geométrico. Dimensiones de las losas y espesores de losa, subrasante natural y subbase.

Solo se determinó el estado tensional provocado por el gradiente de temperatura en las losas, por tanto, no se introdujeron cargas en el modelo. En una próxima etapa de trabajo, se colocarán cargas en la estructura, controlando las variaciones térmicas para evaluar el efecto combinado de temperatura y cargas. Las tensiones fueron obtenidas en el modelo computacional asumiendo una temperatura de 39,5 °C en la superficie y 28,5 °C en la parte inferior de la losa, valores que fueron obtenidos en el estudio y que determinan el gradiente máximo positivo de 11,5 °C.

La figura 6 muestra las diferentes tensiones que se crean debido al gradiente. Obsérvese que en la parte superior se crean tensiones de tracción en el interior de la losa, que se van reduciendo en los bordes y esquina, convirtiéndose en tensiones de compresión. En la parte inferior de la losa, se invierten las tensiones, y en el centro ocurren tensiones de compresión.

Se puede entender mejor el efecto del gradiente en la figura 7, donde se muestra la tendencia en la curvatura de la losa, con los bordes hacia abajo, por la influencia del gradiente positivo de temperatura, causante de las tensiones al ser neutralizado por el peso propio de la losa. Este es el momento crítico de trabajo en la losa, cuando existe la posibilidad de enfrentarse a un estado tensional producido por las cargas del tráfico, donde la parte inferior de la losa también se encuentre en tracción.

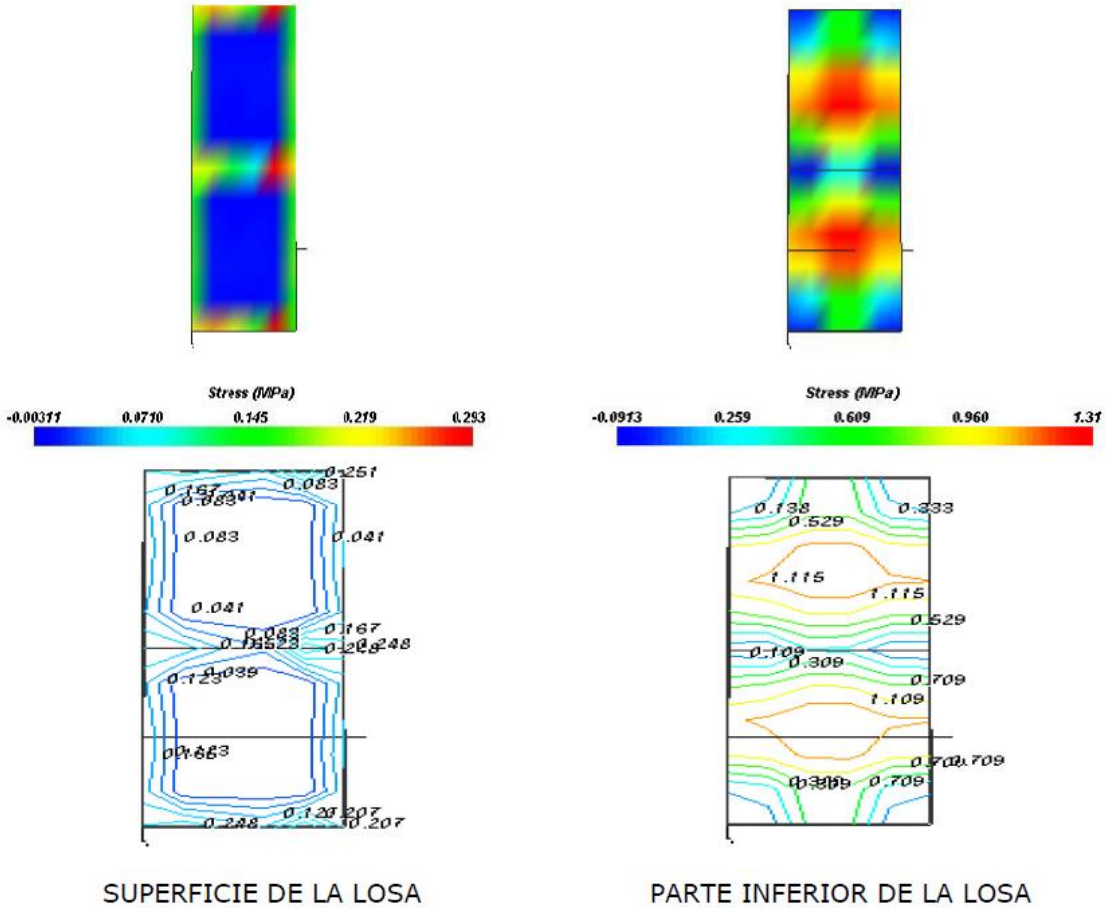



Figura 6. Estado tensional en la superficie y parte inferior de las losas de hormigón, debido al gradiente de temperatura, de 11 ºC. Software EverFE2.25

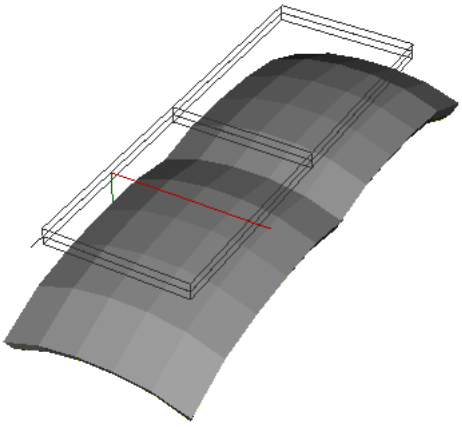


Figura 7. Imagen donde se muestra el efecto del gradiente positivo de temperatura, que provoca una curvatura de la losa de hormigón con bordes hacia abajo. Software EverFE2.25.

## 6. CONCLUSIONES

La instrumentación de pavimentos constituye una importante herramienta para estudiar el desempeño in situ de los materiales y determinar la respuesta de la estructura ante las solicitaciones de carga y del clima. Disponer de un tramo experimental para el estudio de pavimentos rígidos brinda la posibilidad de obtener un modelo físico de su comportamiento en tensiones y deformaciones, cuestión básica para poder

calibrar y validar los modelos numéricos que permitan generalizar la influencia de las variables o factores involucrados en los diseños.

Se ha logrado cuantificar en las condiciones de Portoviejo el gradiente máximo de temperatura, para la época de invierno, cuyo valor es de 11,3° C, cuando la temperatura en la parte superior de la losa se halla en 39,5 °C y en la parte inferior en 28,2 °C. Permitirá cuantificar también las tensiones máximas de combado producidas en la losa. Se pudo conocer que el gradiente de temperatura se hace mínimo o nulo en las horas comprendidas entre las 10 y 11 de la mañana, cuya información es necesaria para realizar las medidas de deformación de la losa debido a las cargas en este período de tiempo, de modo que puedan despreciarse las deformaciones debido a los gradientes térmicos.

Se comprobaron que las tensiones debido al gradiente máximo, calculadas con el software, se corresponden con los valores que arrojan los cálculos analíticos, y no sobrepasan las tensiones admisibles de flexión de la losa de hormigón.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. UNIDAD DE MATERIALES Y PAVIMENTOS DEL PITRA- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). *Instrumentación y resultados del primer ensayo acelerado a escala natural en Costa Rica*. San José, Costa Rica Junio, 2014

2. CALO, D.H., *Diseño de pavimento rígido*. Universidad Tecnológica Nacional-Regional Rosario. Argentina. Instituto del Cemento Portland Argentino, 2013. Jornada de actualización técnica, Diseño y construcción de pavimentos urbanos de hormigón.

3. HERNÁNDEZ LÓPEZ, Félix Michael. *Procedimiento para el diseño por fatiga de pavimentos de hormigón simple para carreteras en Cuba*. Tesis doctoral. La Habana, Cuba. 2016.

4. MINAYA, S. and A. Ordóñez. *Diseño moderno de pavimento. Capítulo 6. Estudio de tránsito para diseño de pavimento*. https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/capitulo-6-estudio-de-transito.pdf, 2014.

5. IRAM, Norma IRAM 1547. Ensayo de tracción por flexión de probetas de hormigón. (Método de la viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz), 1992. Edición 1. Vigente. Instituto Argentino de Normalización y Certificación: p. 7.

6. MATA, M.M.T., Guía Básica para la conformación de bases y sub bases para carreteras en el Salvador. Universidad del Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil, 2010.

7. N-CMT-4-02-001/11, 02. Materiales para subbases y bases. Norma técnica. Parte 4. Materiales para pavimentos. México, 2011.

8. INVIAS, Capítulo 3. Afirmados subbases y bases. Normas y especificaciones. Sub base granular. Artículo 320-13, 2012.

9. PCA, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, in Thickness Concrete Pavement Design. 1984, Portland Cement Association.

10.AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures. 1993, American Associations of State of Highway and Transportation Official: Washington D.C.

11.AASHTO, Guide for Mechanistic-Empirical Design in Rigid Pavement Structures 2008, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) & Transportation Research Board (TRB). Illinois, USA.

12.SERRANO, MASIEL; TEJEDA PIUSSEAUT, EDUARDO; HERNÁNDEZ LÓPEZ; MICHAEL. La norma AASHTO 2004 para el diseño de pavimentos de hormigón simple en el análisis del agrietamiento descendente. Monografía. La Habana, Cuba, julio 2013. 11

13.EverFE2.25. 3D finite-element analysis tool for simulating the response of jointed plain concrete pavement systems to axle loads and environmental effects.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# VALORACIÓN DEL SISTEMA SERMAP DESDE LA PERSPECTIVA DE SEGURIDAD Y SALUD

**Dra. Ing. Marietta Llanes Pérez[1], Ing. Gabriel Martínez Licea [1], Dr. Ing. Sergio Alfredo Marrero Osorio[1], Dr. Ing. Hugo Rafael Wainshtok Rivas[1] Ing. Lorena Rodríguez García[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, Calle 114 No. 11901 entre 119 y 127 Marianao, La Habana, Cuba.

**RESUMEN**

El trabajo en la construcción de obras civiles es considerado uno de los oficios de mayor peligrosidad entre todas las industrias, por lo que la seguridad y salud de los trabajadores en este sector debe asegurarse mediante el empleo de tecnologías adecuadas y sostenibles, que permita además, cumplir con los requerimientos de calidad de los elementos producidos. El objetivo de este trabajo es valorar la salud y seguridad de los trabajadores en las etapas de producción y montaje del sistema SERMAP, sistema prefabricado compuesto por paneles laminares de mortero armado de sección transversal canal, así como, evaluar la calidad de los materiales y elementos conformados en el proceso. Para ello se inicia un proyecto piloto de construcción de una vivienda multifamiliar con una cuadrilla de obreros sin experiencia previa en el uso de esta tecnología, donde por medio de inspecciones visuales, entrevistas y ensayos de laboratorios, se cumplen los objetivos planteados. Como resultado relevante se obtiene que ningún obrero sufrió algún tipo de accidente, ni afectaciones a la salud por condiciones de trabajo, los elementos se conformaron con la calidad requerida por proyecto, y se generan criterios que argumentan la sostenibilidad laboral del sistema SERMAP.

**PALABRAS CLAVES:** Control de calidad, mortero armado, seguridad y salud, sistema prefabricado.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESCORIAS NEGRAS DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO COMO ÁRIDOS GRUESOS EN EL HORMIGÓN

**Iatny de la Roz Martínez[1], René Antonio Puig Martínez[2], Joaquín de la Torre Ramírez[3]**

[1] Profesora, M.Sc., Escuela Interarmas de las FAR "General Antonio Maceo", Artemisa-Cuba. [2] Profesor, Dr. C., Universidad Tecnológica de La Habana (José Antonio Echeverría", La Habana-Cuba. [3] Profesor, Dr. C. Dirección de Ingeniería, MINFAR", La Habana-Cuba.
[1]e-mail: delarozmartineziatny@gmail.com, [2]e-mail:rpuig@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Una forma de reducir el negativo impacto ambiental que presenta la extracción de áridos naturales es el aprovechamiento de los residuos industriales como materiales de construcción. Un ejemplo de ello son las escorias negras del horno de arco eléctrico (ENHAE), las cuales se obtienen durante la fusión, con corriente eléctrica, de chatarras férricas junto a otras materias primas. En Cuba existen dos industrias que producen acero a través del horno de arco eléctrico. Ellas son: la empresa de aceros inoxidables ACINOX de la provincia de Las Tunas y en La Habana la empresa siderúrgica "José Martí". En esta última se encuentran elevadas cantidades de ENHAE en sus patios, sin darle valor de uso a este material con probadas aplicaciones en la rama de la construcción. De ahí partió la decisión de esta investigación, donde se caracterizó la influencia que tienen las ENHAE, en reemplazo de áridos gruesos convencionales, en las propiedades del hormigón de cemento portland. Para ello se diseñaron cuatro hormigones con diferentes porcentajes de sustitución de ENHAE (25%, 50%, 75% y 100%) para compararlos con un hormigón patrón (0%). Como resultado se obtuvo que las propiedades de estos hormigones fueran similares e incluso superiores, que el hormigón patrón, lo que demostró la viabilidad y factibilidad de su empleo.

**PALABRAS CLAVES:** áridos siderúrgicos, escorias negras del horno de arco eléctrico, hormigón de cemento portland

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARACTERIZACIÓN DE LA VINAZA PARA SU EMPLEO COMO COMPONENTE ACTIVO DE ADITIVOS PARA HORMIGONES

**Yasser León Benavides[1], René Antonio Puig Martínez[2], María Aurora Mesa Pérez[3], Abel Castañeda Valdés[4]**

[1] Investigador, MSc., Centro de Investigaciones y Tecnologías de la Construcción, La Habana-Cuba.
[2] Profesor Titular, Dr., Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana-Cuba.
[3] Profesora Titular, Dra. Universidad Agraria de La Habana, La Habana-Cuba.
[4] Profesor Titular, Dr., Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana-Cuba
[1]e-mail: yasserlb@gmail.com, [2]e-mail: rpuig200453@gmail.com, [3]e-mail: mesaperezmaraaurora@gmail.com, [4]email: abel.castaneda@cnic.cu

## RESUMEN

Las vinazas son el subproducto que se obtiene tras separar el alcohol del jugo de caña fermentado, con volumen entre 8 y 18 litros por litro de alcohol. Poseen entre 6% y 11% en peso de lignosulfonatos, sustancias bases para desarrollar aditivos reductores de agua. El objetivo de este artículo es caracterizar la vinaza de la fábrica de ron Santa Cruz, Mayabeque, Cuba, para su empleo como aditivo plastificante. La caracterización se efectuó según los requerimientos de la norma cubana NC 228-1 y la literatura internacional, empleando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, determinando densidad relativa, sólidos totales, pH, contenido de cenizas y caracterización microbiológica. Los resultados arrojaron la presencia de lignosulfonatos sustancia con efecto plastificante, pH bajo que debe ser neutralizado, así como moderado contenido de sólidos, bajo de cenizas y buen contenido de materia orgánica, excelente para el trabajo plastificante. Ante la presencia de algunos agentes fúngicos filamentosos, será necesario el empleo de biocidas. Se concluye que la vinaza puede ser empleada, con algunas modificaciones, para la elaboración de aditivos plastificantes.

**PALABRAS CLAVES:** Vinazas, lignosulfonatos, aditivo plastificante

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (MAT) USANDO UN ASFALTO MODIFICADO CON SILICATO

**Hugo Alexander Rondón-Quintana[1], Wilmar Darío Fernández-Gómez[2] y Edgar Humberto Sánchez-Cotte[3]**

[1, 2, 3] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. (Colombia),
[1]e-mail: harondonq@udistrital.edu.co, [2]e-mail: wfernandez@udistrital.edu.co, [3]e-mail: esanchez@udistrital.edu.co

**RESUMEN**

Generalmente, las capas asfálticas en pavimentos flexibles se construyen con mezclas de concreto asfáltico (MDC), las cuales deben ser fabricadas y compactadas a alta temperatura, afectando el medio ambiente. Una solución a esta problemática son las mezclas asfálticas tibias (MAT). Las MAT usan diferentes aditivos para modificar las propiedades del cemento asfáltico (CA) y disminuir la temperatura de fabricación. En este estudio se utilizó un silicato como modificador de un CA 60-70 (adiciones de 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0% con respecto a la masa del CA). Sobre los CA modificados y sin modificar se midió la penetración, el punto de ablandamiento y la viscosidad (135°C), logrando el mejor desempeño con 1.0%. Usando este porcentaje de adición se midió el ángulo de fase (δ) y el módulo complejo de corte (G*) a temperaturas intermedias y altas de servicio en un reómetro dinámico de corte. Usando el CA modificado, se evaluó su influencia en el ensayo Marshall, fabricando y compactando una MDC, 10, 20, 30 y 40°C menos con respecto a la mezcla de Control (fabricada con CA 60-70 sin modificar). El desempeño de la mezcla modificada fue similar al de la mezcla de Control disminuyendo 30°C la temperatura de fabricación. A la mezcla modificada y fabricada 30°C menos se le denominó MAT-25. Sobre la mezcla de Control y la MAT-25 fueron realizados ensayos de tensión indirecta, módulo resiliente y deformación permanente. También se evaluó la resistencia al daño por humedad usando la relación de resistencia a la tensión indirecta (RRTI). El silicato es un aditivo económico, amigable con el medio ambiente, que ayuda a disminuir la temperatura de fabricación y compactación 30°C.

**PALABRAS CLAVES:** Mezcla asfáltica tibia, MAT, silicato, desempeño mecánico.

**ABSTRACT**

Generally, the asphalt layers in flexible pavements are constructed with hot-mix asphalts (HMA), which need to be produced and compacted at high temperatures, negatively impacting the environment. A solution to this issue is warm mix asphalt (WMA). WMA uses various additives to modify the properties of asphalt cement (AC) and reduce the production temperature. In this study, a silicate was used as a modifier for an AC 60-70 (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0% by mass of the AC). The penetration, softening point, and viscosity (135°C) of the modified and unmodified AC were measured, achieving the best performance with a 1.0% additive. With this percentage of addition, the shear modulus (G*) and phase angle (δ) were evaluated at intermediate and high service temperatures using a dynamic shear rheometer (DSR). The influence of the modified AC was assessed in the Marshall test by producing and compacting an HMA at 10, 20, 30, and 40°C below the Control mixture (produced with unmodified 60-70 AC). The performance of the modified mixture was similar to that of the Control mixture, reducing the production temperature by 30°C. The modified mixture, produced at 30°C lower, was designated as WMA-25. Indirect tension, resilient modulus and permanent deformation tests were conducted on both the Control and WMA-25 mixtures. Additionally, moisture damage resistance was evaluated using the indirect tensile strength ratio (TSR). Silicate is an economical and environmentally friendly additive that helps reduce the production and compaction temperature by 30°C.

**KEY WORDS:** Warm-mix asphalt, WMA, silicate, mechanical performance.

## 1. INTRODUCCIÓN

En proyectos viales, la mayor parte de las mezclas usadas para conformar capas asfálticas en estructuras de pavimentos flexibles son las de concreto asfáltico (MDC o mezclas densas en caliente). Estas mezclas deben ser fabricadas, extendidas y compactadas a altas temperaturas (generalmente superiores a 140°C [1]). Lo anterior impacta negativamente el medio ambiente, ya que emplean altos consumos de energía y combustibles, los cuales generan emisiones contaminantes. Por otro lado, el ligante de este tipo de mezclas (cemento asfáltico – CA) oxida, generando envejecimiento prematuro. Una técnica usada para disminuir las temperaturas de mezcla y compactación son las mezclas asfálticas tibias (MAT). Las MATs usan diferentes procesos (p.e., aditivos orgánicos, químicos y diversos procesos industriales) para lograr disminuir estas temperaturas (atenuando impactos ambientales), buscando siempre mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad de la mezcla asfáltica resultante [1-11]. Algunas ventajas reportadas de este tipo de mezclas son: i) reducen el consumo de combustible y emisiones, [2, 12-13]; ii) disminuyen la oxidación o envejecimiento del ligante, generando menor fragilización y un aumento en la resistencia al "stripping", al agrietamiento a bajas temperaturas y del tipo "Top-Down" (TDC) [12, 14-19]; iii) construcción en ambientes más fríos [8, 17, 20]; iv) técnica con potencial de uso en la construcción de vías de emergencia en zonas con desastres naturales [21]; v) reducen el deterioro de las plantas asfálticas [7, 22]; vii) ofrecen ventajas económicas en países con alto costo energético [23-24]; viii) disminuyen emisiones contaminantes y generan ahorros energéticos [20].

Para fabricar MATs se emplean generalmente tres técnicas: modificar el asfalto con aditivos químicos (p.e., Qualitherm®, Rediset WMX®, RTEvotherm®, HyperTherm®, Cecabase®, SonneWarmix®) u orgánicos (p.e., TLA-X®, Sasobit®, Thiopave®, Asphaltan-B, REVIXTM, Licomont BS 100), y espumar el asfalto [1-2]. Esta última técnica disminuye por lo general la viscosidad del asfalto para facilitar el recubrimiento con los agregados y mejorar la trabajabilidad y compactibilidad de la mezcla. Para espumar el asfalto se emplean diversos tipos de aditivos patentados (p.e., Aspha-Min®, Advera®). También existen técnicas de espumado como Low-Energy Asphalt® - LEA [5, 25] y WAM-Foam® [2], entre otras. En el presente estudio se utilizó un aditivo químico (silicato) de bajo costo comercial y una técnica de modificación distinta a las ampliamente usadas en el mundo. Este silicato es un material inorgánico que no inflama. Tampoco se considera material contaminante, peligroso (United Nations Economic Commissions for Europe - UNECE [26] o cancerígeno. En términos generales, los silicatos son materiales de alta estabilidad y baja toxicidad [27], y presentan propiedades interesantes para ser usados como modificadores de asfaltos.

El objetivo principal del estudio fue evaluar las propiedades de una MAT fabricada con un asfalto modificado con el silicato mencionado. En el presente artículo se muestran inicialmente los resultados experimentales (caracterización física y desempeño reológico a temperaturas altas e intermedias) de modificar por vía húmeda un CA 60-70 con diferentes proporciones de silicato. Luego este CA modificado se mezcló con los agregados, fabricando mezclas a diferentes temperaturas por debajo de la tradicional. Teniendo en cuenta los resultados de esta fase experimental, las mezclas fueron fabricadas 30°C menos con respecto a la temperatura convencional (MAT). Se muestran los resultados experimentales de evaluar el desempeño que experimentó la MAT en ensayos Marshall, módulo resiliente y resistencia a la deformación permanente para evaluar la resistencia al ahuellamiento en clima de alta temperatura. También se muestran los resultados de ensayos de resistencia a la tensión indirecta (muestras secas y condicionadas) para evaluar la resistencia al daño por humedad, calculando la relación de resistencia a la tensión indirecta (RRTI). Estos ensayos fueron realizados debido a que Colombia es un país tropical, en el cual prevalecen las altas temperaturas y épocas de lluvias intensas, generando múltiples mecanismos de daño en las capas asfálticas asociados a esta condición climática.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Como mezcla de Control (fabricada con CA sin modificar) se utilizó una MDC-25 de acuerdo a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías [28]. La gradación de esta mezcla se muestra en la Tabla 1.

Este tipo de mezcla es la más utilizada en Colombia para conformar bases asfálticas e intermedias. Para fabricar la mezcla se usó CA 60-70 (clasificación por penetración en dmm) y agregados pétreos cuyas propiedades se presentan en las Tablas 2 y 3, respectivamente. Por otro lado, el silicato utilizado presenta una densidad de 1.32 g/cm$^3$ y pH variando entre 10 y 12 (alcalino).

Tabla 1: Gradación MDC-25.

| Tamiz | | Pasa (%) | Retenido (%) |
|---|---|---|---|
| Normal (mm) | Alterno | | |
| 25.0 | 1” | 100 | 0.0 |
| 19.0 | 3/4” | 87.5 | 12.5 |
| 12.5 | 1/2” | 76.0 | 11.5 |
| 9.5 | 3/8” | 68.5 | 7.5 |
| 4.75 | No. 4 | 51.0 | 17.5 |
| 2.00 | No. 10 | 37.0 | 14.0 |
| 0.425 | No. 40 | 19.5 | 17.5 |
| 0.180 | No. 80 | 12.5 | 7.0 |
| 0.075 | No. 200 | 6.0 | 6.5 |
| Fondo | - | - | 6.0 |

Tabla 2: Propiedades del ligante asfáltico.

| Ensayo | Unidad | Especificación | Resultado | Requerimiento [28] | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Mínimo | Máximo |
| Punto de ablandamiento | ° C | INV. E-712 | 52.5 | 48 | 54 |
| Penetración | 0.1 mm | INV. E-706 | 62.5 | 60 | 70 |
| Índice de penetración | - | NLT 181 | -0.7 | -1.2 | +0.6 |
| Gravedad específica | - | INV. E-707 | 1.012 | - | - |
| Ductilidad | cm | INV. E-702 | >105 | 100 | - |
| Viscosidad a 60°C | Poises | ASTM D-4402 | 1750 | 1500 | - |
| Viscosidad a 135° C | Pa-s | INV. E-717 | 0.712 | - | - |
| CA sometido a envejecimiento en horno de película delgada - RTFOT | | | | | |
| Pérdida de masa | % | INV. E-720 | 0.47 | - | 0.8 |
| Aumento del punto de ablandamiento | ° C | INV. E-712 | 5 | - | 9 |
| Penetración al residuo, en porcentaje de la penetración original | % | INV. E-706 | 72 | 50 | - |

Tabla 3: Propiedades del agregado pétreo.

| Ensayo | Unidad | Especificación | Requerimiento [28] | Resultado |
|---|---|---|---|---|
| Gravedad específica - Grueso | - | INV. E-128 | - | 2.50 |
| Gravedad específica - Fino | - | | - | 2.57 |
| Adsorción fracción gruesa | % | | - | 1.80 |
| Adsorción fracción fina | % | | - | 1.91 |
| Caras fracturadas (una cara) | % | INV. E-227 | 75% mínimo | 87.1 |
| Equivalente de arena | % | INV. E-133 | 50% mínimo | 76.4 |
| Límite líquido y plástico | % | INV. E-125, 126 | 0% | 0.0 |
| Índice de aplanamiento | % | INV. E-240 | 10% máximo | 9.5 |
| Índice de alargamiento | % | | 10% máximo | 9.5 |
| Micro-Deval | % | INV. E-238 | 25% máximo | 22.3 |
| Solidez (sulfato de magnesio) | % | INV. E-220 | 18% máximo | 12.9 |
| Desgaste (máquina de Los Ángeles) | % | INV. E-218, 219 | 35% máximo | 24.6 |
| Resistencia seca - 10% de finos | kN | INV. E-224 | 90 kN mínimo | 115.2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Relación húmedo/seco - 10% de finos | % | | 75% mínimo | 83.3 |

**2.2 Modificación del CA**

La modificación del CA 60-70 con el silicato (S) se realizó por vía húmeda. S fue adicionado, con respecto a la masa del CA, en las siguientes proporciones: S/CA=0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0%. La temperatura y tiempo de mezcla fue de 80°C y un minuto, respectivamente (Figura 1). Lo anterior, debido a que S espuma el CA a 80°C. Sobre los asfaltos modificados fueron realizados ensayos de penetración (INV. E-706), punto de ablandamiento (INV. E-712) y viscosidad (INV. E-717; 135°C). El mejor desempeño en estos ensayos se obtuvo con S/CA=1.0% tal como se mostrará en la sección 3.1. Ensayos de reología (AASHTO T-315), empleando un reómetro dinámico de corte, fueron realizados sobre el CA 60-70 sin modificar (S/CA=0%) y modificado (S/CA=1.0%). El ángulo de fase (δ) y el módulo complejo de corte (G*) fueron medidos para evaluar el desempeño reológico a altas e intermedias temperaturas de servicio. Con estos parámetros se calculó la relación G*/sen (δ) para evaluar la resistencia al ahuellamiento en climas de alta temperatura. Adicionalmente, el producto G* sen (δ) fue calculado para evaluar la resistencia al agrietamiento (debido principalmente al envejecimiento) bajo temperatura intermedia. Es decir, se obtuvo el grado de desempeño PG a altas e intermedias temperaturas. Los criterios para escoger el PG a alta temperatura de servicio fueron: G*/sinδ > 1 kPa y 2.2 kPa para un asfalto sin y con envejecimiento a corto plazo en el ensayo de película delgada (RTFOT), respectivamente. A temperatura intermedia, el criterio escogido fue G*sinδ < 5000 kPa cuando el ligante se somete a envejecimiento a largo plazo (RTFOT + PAV; PAV: Pressure aging vessel).



Figura 1: Asfalto modificado S/CA=1.0%.

**2.3 Diseño de mezcla asfáltica de Control**

El contenido óptimo de asfalto (COA) de la mezcla de Control MDC-25 se obtuvo por el método Marshall (AASHTO T-245), siguiendo los criterios definidos por INVIAS [28]. Fueron fabricadas tres muestras para cada porcentaje de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%. Cada muestra fue compactadas a 75 golpes por cara. La temperatura de compactación (140±3°C) y de mezcla (150±5°C) fue obtenida con base en el criterio de equiviscosidad (viscosidad para temperaturas de mezcla y compactación: 170±20 cP y 280±30 cP, respectivamente). Los parámetros de resistencia del ensayo Marshall (Estabilidad – E, Flujo – F y E/F) fueron medidos en una prensa Marshall, aplicando la carga monotónica a una tasa de 50 mm/minuto sobre muestras previamente acondicionadas a 60°C.

**2.4 Influencia de la temperatura de mezcla sobre la mezcla de Control y las modificadas**

Usando el COA obtenido de la fase anterior, se fabricaron MDC-25 modificadas (S/CA=1.0%) y no modificadas (Control, S/CA=0%), bajo temperaturas de mezcla (TF) de 150 (temperatura de Control), 140, 130, 120 y 110° C. Por cada TF y relación S/CA se fabricaron tres muestras Marshall (compactadas a 75 golpes por cara). En esta fase se evaluó la influencia de TF, la relación S/CA, y la evolución de los volúmenes de vacíos con aire (Va) y los parámetros de resistencia bajo carga monotónica (E, F, E/F). Las TF fueron definidas con base en la literatura de referencia. Según Bonaquist [29] y Silva et al. [9-10] la disminución de la temperatura de mezcla debe variar entre 28°C y 40°C respectivamente para

denominarse MAT. Gandhi y Amirkhanian [30], Hearon y Diefenderfer [31], concluyen que las temperaturas de mezcla y compactación deben encontrarse entre 90 y 130°C y 100 y 135°C, respectivamente. Goh y You [32], Yan et al. [33] mencionan que TF debe disminuir en un rango entre 17 a 56°C y 30 a 50°C respectivamente, con respecto a MDCs. Tal como se muestra más adelante en la sección 3.3, de esta fase experimental se encontró que usando TF=120°C (disminución de 30°C) y S/CA=1.0%, la mezcla resultante experimenta composición volumétrica y resistencia similar a la mezcla de Control. Por lo anterior, en las futuras fases experimentales se evaluó esta mezcla (TF=120°C, S/CA=1.0%) y se denominó MAT-25.

### 2.5 Ensayos de resistencia

Sobre la MDC-25 de Control (TF=150°C, S/CA=0%) y la MAT-25 (TF=120°C, S/CA=1.0%) se realizaron ensayos de tensión indirecta (AASHTO T 283). También fueron realizados ensayos de módulo resiliente (ASTM D 4123) y deformación permanente (UNE-EN 12697-22) en un equipo NAT (Nottingham Asphalt Tester).

Para el ensayo de tensión indirecta, tres muestras de cada tipo de mezcla fueron ensayadas bajo condición seca (TIS) y las otras tres condicionadas (TIC; sumergidas en agua durante un día a temperatura de 60°C). Para evaluar la resistencia al daño por humedad se calculó el parámetro RRTI=TIC/TIS en porcentaje. Cada ensayo se realizó sobre seis muestras por tipo de mezcla (tres para TIS y tres para TIC), con porcentajes de vacíos variando entre 7±1%. La aplicación de la carga a una tasa de 50.8 mm/min se realizó en la prensa Marshall, sobre las muestras previamente acondicionadas a 25°C en un baño de María.

El módulo resiliente se obtuvo a 5, 15 y 40°C bajo tres frecuencias de carga (2.5, 5.0 y 10.0 Hz). 9 muestras (3 por cada temperatura) por cada tipo de mezcla fueron utilizadas para realizar este ensayo. Para medir la resistencia a la deformación permanente se usó temperatura de 40°C, esfuerzos cíclicos de 100 kPa y aplicación de 3600 ciclos de carga.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Propiedades del CA modificado

La Tabla 4 muestra los resultados de los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad (135°C) del CA sin modificar (S/CA=0%) y modificado con el silicato (S/CA=0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0%). El silicato tiende a aumenta la rigidez del ligante (disminuye la penetración y aumenta el punto de ablandamiento) cuando se emplea S/CA=0.25, 0.5, 0.75, 1.0%. La mayor rigidez se obtiene usando S/CA=1%. Por otro lado, la viscosidad medida a 135°C tiende a disminuir al aumentar el contenido de silicato. Lo anterior es debido principalmente al efecto de espumado que produce el aditivo a partir de 80°C.

Tabla 4: Propiedades del CA modificado.

| S/CA (%) | Punto de ablandamiento (°C) | Penetración (dmm) | Viscosidad a 135°C (Pa-s) |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 52.5 | 62.5 | 0.713 |
| 0.25 | 51.7 | 54.0 | 0.652 |
| 0.50 | 53.3 | 48.8 | 0.612 |
| 0.75 | 53.9 | 45.5 | 0.603 |
| 1.00 | 54.5 | 41.3 | 0.575 |
| 1.25 | 53.5 | 41.7 | 0.500 |
| 1.50 | 52.7 | 42.2 | 0.489 |
| 2.00 | 51.1 | 42.8 | 0.461 |

De los ensayos de reología se obtuvo el PG del CA sin modificar (S/CA=0%) y modificado (S/CA=1%), bajo temperaturas altas e intermedias. A altas temperaturas, el PG del CA 60-70 sin modificar fue 58°C,

mientras que el modificado aumentó a 70°C. Lo anterior indica que el silicato aumentó la resistencia del ligante a la deformación permanente en clima de alta temperatura (ahuellamiento). A temperaturas intermedias de servicio, el PG del CA 60-70 sin modificar fue 22°C y el del asfalto modificado 19°C. Lo anterior es un posible indicador de aumento en la resistencia al envejecimiento y agrietamiento del ligante producto de la adición del silicato.

### 3.2 Diseño mezcla de Control

La Figura 2 muestra los resultados del ensayo Marshall realizado a la mezcla de Control MDC-25. El COA es de 5.5% y fue obtenido con base en los criterios establecidos por [28] (principalmente el Va).

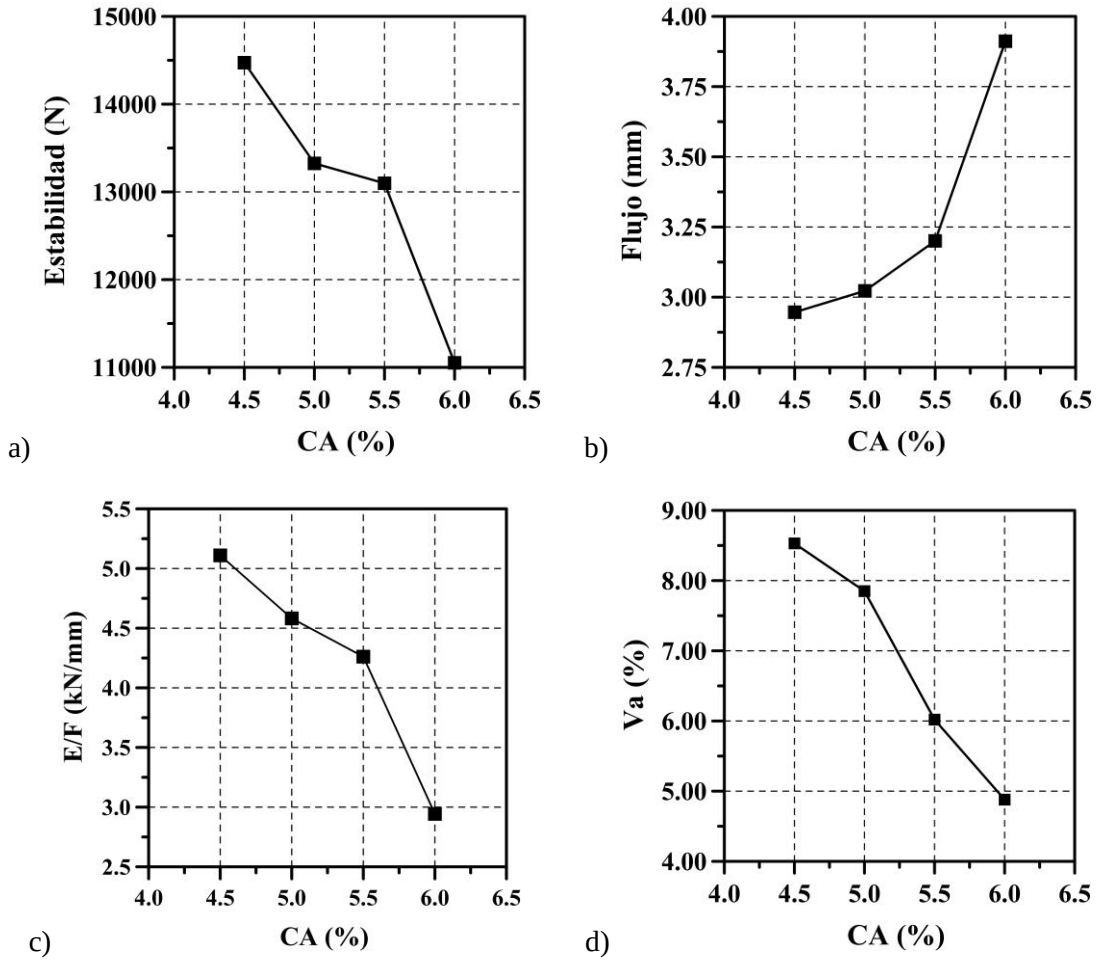



Figura 2: Ensayo Marshall – MDC-25 (Control). a) Estabilidad; b) Flujo; c) relación E/F; d) Va.

### 3.3 Influencia de TF en los resultados del ensayo Marshall

La Figura 3 muestras los resultados del ensayo Marshall realizado a la mezcla de Control MDC-25 (S/CA=0%) y la modificada (S/CA=1%), cuando se fabrican a diferentes TF. La Figura 3c muestra el incremento típico de Va al disminuir TF debido a la pérdida de trabajabilidad y dificultad de compactación, cuando el asfalto aumenta la viscosidad debido a la disminución de la temperatura. La mezcla modificada experimenta menores Va. Lo anterior es debido a que el silicato espuma el asfalto, mejorando la trabajabilidad y compactibilidad de la mezcla al facilitar el recubrimiento de los agregados. También se observa la disminución típica de E y E/F (Figuras 3a y b, respectivamente) cuando disminuye TF, ya que la porosidad de las mezclas aumenta y disminuye la cohesión entre los agregados. La mezcla modificada experimentó mayor resistencia y rigidez bajo carga monotónica para cualquier TF, debido

principalmente a que disminuye la porosidad y al aumento en rigidez del asfalto modificado. La magnitud de E de la mezcla modificada es similar al de la mezcla de Control cuando las primeras se fabrican 30°C menos aproximadamente con respecto a la TF de control (150°C). Con respecto a la relación E/F, la disminución de la temperatura en la cual se logra alcanzar una magnitud similar e incluso superior al de la mezcla de Control es de aproximadamente 22°C. El Va es similar en ambas mezclas cuando se disminuye la TF 40°C de la mezcla modificada. Por lo anterior, 30°C y S/CA=1.0% fueron escogidos para fabricar la MAT-25.

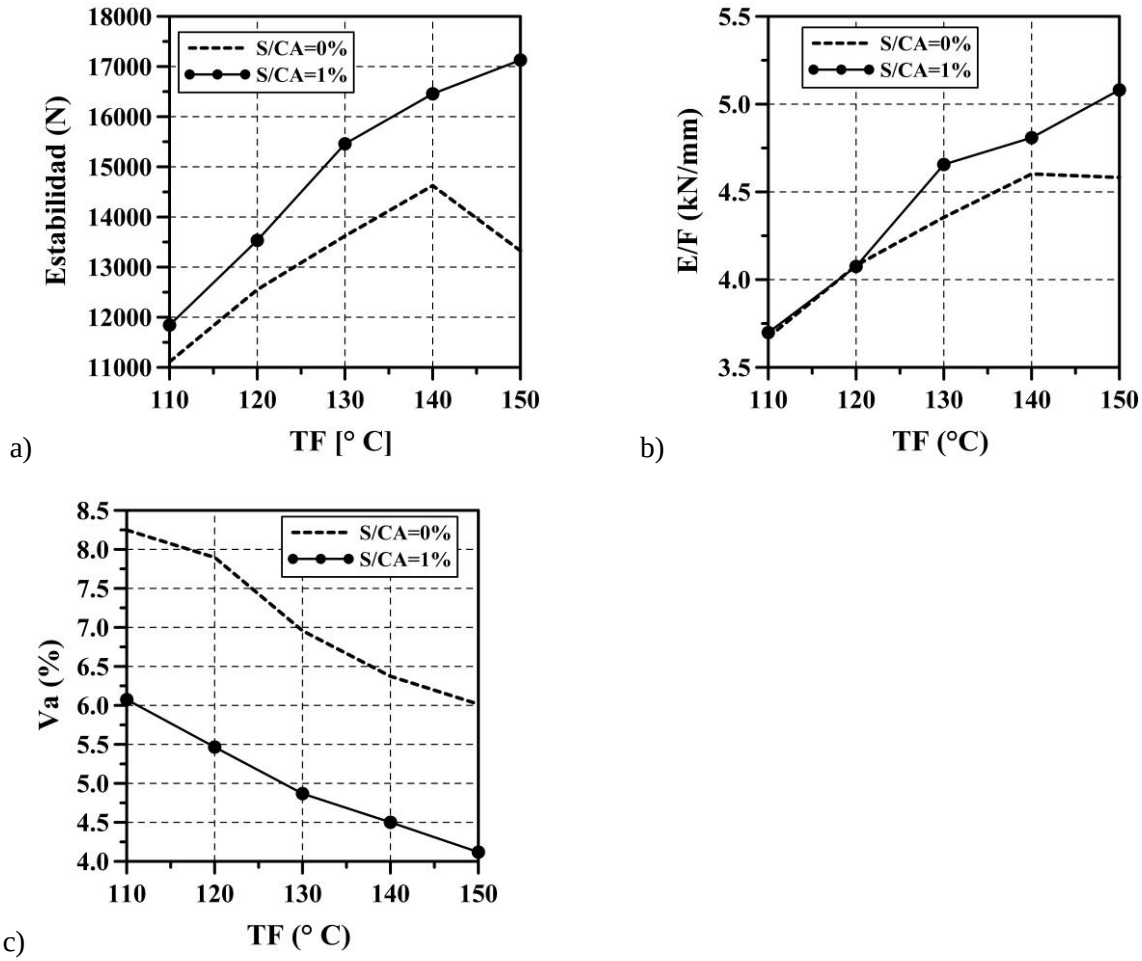



Figura 3: Ensayo Marshall - Influencia de la temperatura (TF). a) Estabilidad, b) relación E/F y c) Va.

### 3.4 Ensayos de tensión indirecta

Los parámetros TIS y TIC obtenidos del ensayo de tensión indirecta se muestran en la Tabla 5. La MAT-25 experimenta mayor resistencia en condiciones seca y húmeda con respecto a la mezcla de Control MDC-25. Asimismo, experimenta mayor RRTI (mayor resistencia al daño por humedad), es decir, el silicato podría estar actuando como un aditivo mejorador de adherencia o anti-stripping. La mayor adherencia ligante-agregado podría ser debida a la alcalinidad del silicato.

Tabla 5: Resultados ensayo de resistencia a la tensión indirecta.

| Mezcla | Tipo de acondicionamiento | | RRTI (%) | Vacíos en la mezcla (%) |
|---|---|---|---|---|
| | TIS (kPa) | TIC (kPa) | | |
| MAT-25 | 1325.3±60.1 | 1166.7±45.0 | 88.0% | 6.8 |
| MDC-25 | 1165.2±35.2 | 981.4±52.7 | 84.2% | 6.6 |

### 3.5 Módulo resiliente y deformación permanente

La Figura 4 muestra la evolución del módulo resiliente. La MAT-25 experimenta mayor módulo resiliente (mayor rigidez bajo carga cíclica) que la mezcla de Control MDC-25 para cualquier temperatura de ensayo y frecuencia de carga. Estos incrementos varían entre 15 a 32%, 17 a 30% y 72 a 156% cuando las temperaturas de ensayo son de 5, 15 y 40°C, respectivamente.

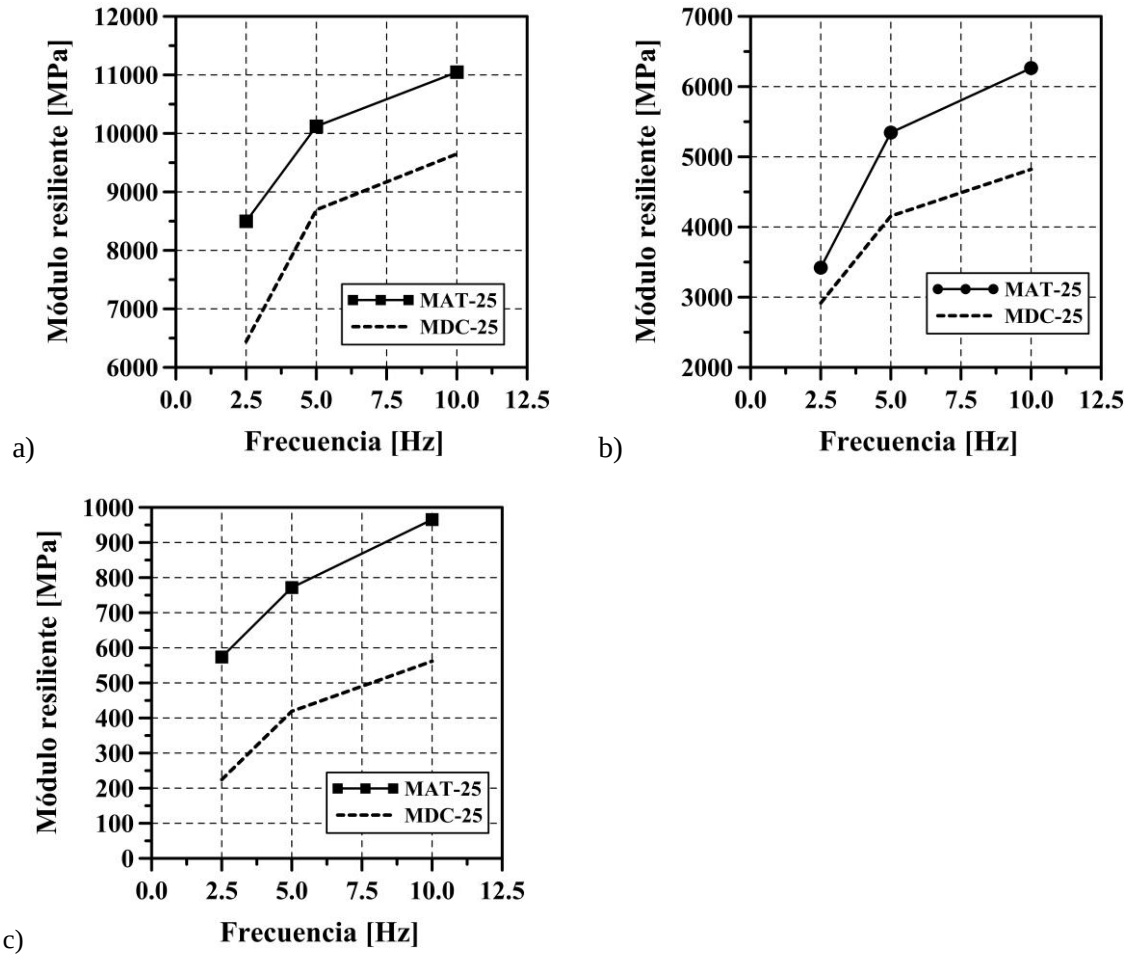



Figura 4: Módulo resiliente. a) 5°C, b) 15°C, c) 40°C.

Los resultados de deformación permanente se muestran en la Figura 5. Estos resultados son coherentes con la evolución del módulo resiliente y la relación E/F obtenida en el ensayo Marshall. La mayor resistencia a la deformación permanente la experimenta la MAT-25, ya que desarrolla mayor módulo resiliente o rigidez bajo carga cíclica. La MAT-25 experimentó 3 mm menos de desplazamiento bajo carga cíclica en el intervalo de 120 minutos (3600 ciclos de carga) en comparación con la MDC-25. Esta mayor rigidez y resistencia a la deformación permanente lo desarrolla la MAT-25 debido principalmente al incremento en rigidez que el CA 60-70 experimenta cuando se modifica con el silicato.

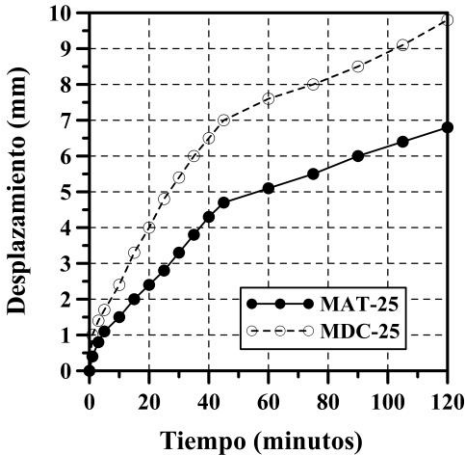



Figura 5: Deformación permanente.

## 4. CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó las propiedades mecánicas de una MAT fabricada con un asfalto modificado con silicato. Teniendo en cuenta los resultados, se concluye:

i) El contenido óptimo de silicato para modificar el CA 60-70 fue de 1%.
ii) En este porcentaje de adición, el silicato aumentó la rigidez y mejoró el PG del CA 60-70 a altas e intermedias temperaturas de servicio.
iii) El silicato permite reducir la temperatura de la mezcla 20°C, generando una mezcla más amigable con el medio ambiente.
iv) El silicato ayuda a disminuir el contenido de vacíos (porosidad) de la mezcla.
v) La MAT-25 experimenta mayor resistencia en el ensayo Marshall (mayor E, E/F) con respecto a la MDC-25.
vi) La MAT-25 mostró mejor desempeño en el ensayo de tensión indirecta con respecto a la MDC-25. Asimismo, mostró mayor resistencia al daño por humedad.
vii) La MAT-25 experimentó mayor rigidez (módulo resiliente) bajo carga cíclica y resistencia a la deformación permanente comparada con la mezcla MDC-25. Es decir, la MAT-25 podría, en clima de alta temperatura, experimentar mayor resistencia al ahuellamiento.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el apoyo recibido en la Convocatoria 01 de 2023 de la Oficina de Investigaciones (Código del proyecto: 3-33-671-23).

## REFERENCIAS

[1] Rondón-Quintana, H. A. y Reyes-Lizcano, F. A. (2022). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño*. Editorial: ECOE (segunda edición).
[2] Rondón, H. A., Noguera, J. A. and Reyes, F. A. (2015). A review of warm mix asphalt technology: technical, economical and environmental aspects. *Ingeniería e Investigación*, 35(3), 5-18. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v35n3.50463.
[3] Sukhija, M. and Saboo, N. (2021). A comprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field. *Construction and Building Materials*, 274, 121781. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121781.
[4] Cheraghian, G., Falchetto, A.C., You, Z., Chen, S., Kim, Y. S., Westerhoff, J., Moon, K. H. and Wistuba, M. P. (2020). Warm mix asphalt technology: An up to date review. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122128. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122128.

[5] Romier, A., Audeon, M., David, J., Martineau, Y. and Olard, F. (2006). Low-energy asphalt with performance of hot-mix asphalt. *Transportation Research Record*, 1962, 101-112. https://doi.org/10.1177/0361198106196200112.
[6] Kristjansdottir, O., Muench, S., Michael, L. and Burke, G. (2007). Assessing potential for warm-mix asphalt technology adoption. *Transportation Research Record*, 2040, 91-99. https://doi.org/10.3141/2040-10.
[7] Biro, S., Gandhi, T. and Amirkhanian, S. (2009). Midrange temperature rheological properties of warm asphalt binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(7), 316-323. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:7(316).
[8] Tao, Z., Huang, W., Du, Q. and Yan, J. (2009). Warm mix asphalt technology applied at low air temperature in China. *Road Materials and Pavement Design*, 10(S1), 337-347. https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690250.
[9] Silva, H., Oliveira, J., Ferreira, C. and Pereira, P. (2010). Assessment of the performance of warm mix asphalts in road pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 3(3), 119-127. https://doi.org/10.6135/IJPRT.ORG.TW/2010.3(3).119.
[10] Silva, H. M., Oliveira, R. M., Peralta, J. and Zoorob, S. E. (2010). Optimization of warm mix asphalts using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1621-1631. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.030.
[11] Sargand, S., Nazzal, M. D., Al-Rawashdeh and A, Powers, D. (2012). Field evaluation of warm-mix asphalt technologies. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(11), 1343-1349. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000434.
[12] Robjent, L. and Dosh W. (2009). Warm-mix asphalt for rural county roads. *Cold Regions Engineering 2009: Cold Regions Impacts on Research, Design, and Construction*, 438-454. https://doi.org/10.1061/41072(359)43.
[13] Hassan, M. (2010). Evaluation of the environmental and economic impacts of warm-mix asphalt using life-cycle assessment. *International Journal of Construction Education and Research*, 6(3), 238-250. https://doi.org/10.1080/15578771.2010.507619.
[14] Gandhi, T., Rogers, W. and Amirkhanian, S. (2010). Laboratory evaluation of warm mix asphalt ageing characteristics. *International Journal of Pavement Engineering*, 11(2), 133-142. https://doi.org/10.1080/10298430903033339.
[15] Zhao, W., Xiao, F., Amirkhanian, S. N. and Putman, B. J. (2012). Characterization of rutting performance of warm additive modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 31, 265-272. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.101.
[16] Goh, S. W., Hasan, M. R. and You, Z. (2013). Performances evaluation of Cecabase® RT in warm mix asphalt technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2782-2790. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.311.
[17] Goh, S. W. and You, Z. (2012). Mechanical properties of porous asphalt pavement materials with warm mix asphalt and RAP. *Journal of Transportation Engineering*, 138(1), 90-97. https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000307.
[18] Hossain, Z. and Zaman, M. (2013). Behavior of selected warm mix asphalt additive modified binders and prediction of dynamic modulus of the mixes. *Journal of Testing and Evaluation*, 41(1), 1-12. https://doi.org/10.1520/JTE104639.
[19] Vidal, R., Moliner, E., Martínez, G. and Rubio, M. C. (2013). Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. *Resources, Conservation & Recycling*, 74, 101-114.
[20] You, Z. and Goh, S. W. (2008). Laboratory evaluation of warm mix asphalt: a preliminary study. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 1(1), 34-40. http://www.ijprt.org.tw/mailweb/files/sample/Vol1_No1(5).pdf
[21] Howard, I. L., Doyle, J. D. and Cox, B. C. (2013). Merits of reclaimed asphalt pavement-dominated warm mixed flexible pavement base layers. *Road Materials and Pavement Design*, 14(S2), 106-128. https://doi.org/10.1080/14680629.2013.812834.
[22] Hurley, G. and Prowell, B. (2006). Evaluation of potential process for use in warm mix asphalt. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 75, 41-90. https://search.worldcat.org/es/search?q=n2:02702932.
[23] Rubio, M. C., Martínez, G., Baena, L. and Moreno, F. (2012). Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 24, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.053.

[24] Mokhtari, A. and Nejad, F. M. (2013). Comparative study on performance of wax-modified and typical SMA mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(3), 419-427. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000584.
[25] Romier, A., Audeon, M., Jac, D. and Martineau, Y. (2004). Low-energy asphalt (LEA) with the performance of hot mix asphalt. *Transportation Research Record*, 1962(1), 101-112. https://doi.org/10.3141/1962-12.
[26] United Nations Economic Commissions for Europe (UNECE). (July 2013). *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS*, 5th ed.
[27] Yuan, C., Wang, M. and Li, M. Design and synthesis of silica- and silicate-based materials, and their application in the development and analysis of latent fingerprints. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 167, 2023, 117278. https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117278.
[28] Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2022). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, Bogotá, D.C., Colombia.
[29] Bonaquist, R. (2011). *Mix design practices for warm mix asphalt*. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP, Report 691, Washington DC: Transportation Research Board.
[30] Gandhi, T. and Amirkhanian, S. (2008). Laboratory simulation of warm mix asphalt (WMA) binder aging characteristics. *Airfield and Highway Pavements: Efficient Pavements Supporting Transportation's Future*, 195-204. https://doi.org/10.1061/41005(329)17.
[31] Hearon, A., Diefenderfer, S. (2008). Laboratory evaluation of warm asphalt properties and performance. *Airfield & Highway Pavements 2008*, 182-194. https://doi.org/10.1061/41005(329)16.
[32] Goh, S. W. and You, Z. (2008). Resilient modulus and dynamic modulus of warm mix asphalt. *GeoCongress 2008*, 1000-1007. https://doi.org/10.1061/40971(310)125
[33] Yan, J., Cao, Y., Zhu, T., Cai, M., Cao, Z., Huang, W., Dong, Q. (2010). Shanghai experience with warm mix asphalt. *GeoShanghai 2010 International Conference: Paving Materials and Pavement Analysis*, 97-102. https://doi.org/10.1061/41104(377)13.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MATERIALES GRANULARES MEJORADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIÓNICA PARA SUBBASES DE PAVIMENTOS

**M. Isabel Zambrano Meza**[1], **Eduardo Tejeda Piusseaut**[2], **Anadelys Alonso Aaenlle**[3]

[1]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Ecuador
[2]Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Ecuador
[3]Departamento de Construcciones y viales. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), La Habana, Cuba
[1]e-mail: maria. zambrano01@utm.edu.ec

## RESUMEN

La utilización de bases tratadas con conglomerantes hidráulicos o ligantes asfálticos, se ha convertido en una solución habitual en la construcción de bases o subbases de pavimentos, por la necesidad de alcanzar altas prestaciones, debido al incremento de las repeticiones y magnitudes de las cargas del transporte automotor. El tratamiento con aditivos proporciona a las capas del pavimento una mayor resistencia y comportamiento en el tiempo. Con el propósito de evaluar la efectividad de uno de estos tratamientos, se seleccionó un material granular que no cumple con las exigencias de una subbase de carreteras debido a su alta plasticidad, para incorporarle una emulsión asfáltica catiónica y comprobar la variación que experimenta en sus prestaciones, en el laboratorio. Con el tratamiento se ha alcanzado un incremento del CBR tras inmersión y de la resistencia conservada. Se muestran también las modificaciones que trae el uso de estos tratamientos en el comportamiento de una estructura de pavimento en la que se ha concebido una capa de subbase estabilizada con emulsión, en lugar de una subbase tradicional no aglomerada, utilizando para ello el procedimiento empírico-mecanicista de la Guía de Diseño AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

**PALABRAS CLAVES:** pavimentos flexibles, emulsiones asfálticas, bases tratadas con emulsiones asfálticas, resistencia conservada.

## IMPROVED GRANULAR MATERIALS WITH CATIONIC ASPHALT EMULSION FOR PAVEMENT SUB-BASES

## ABSTRACT

The use of bases treated with hydraulic binders or asphalt binders has become a common solution in the construction of pavement bases or subbases due to the need to achieve high performance, and also because of the increment of the repetitions and magnitudes of loads in transportation. The treatment with additives provides greater resistance and behavior to the pavement layers over time. A granular material was selected with the purpose of evaluating the effectiveness of one of these treatments. This material did not meet the requirements of a road subbase because of its high plasticity. A cationic asphalt emulsion was incorporated to this granular material in order to check the variations that this treatment could experience regarding its resistance in the laboratory. Finally, good results were obtained with this treatment. An increase in resistance to CBR after immersion and conserved resistance were observed. The modifications produced after the treatments, are also shown by comparing a conventional flexible structure and a structure with a stabilized sub-base layer with an emulsion instead of a non-agglomerate traditional subbase, using an empirical-mechanistic procedure of AASTHO Design Guide.

**KEY WORDS:** flexible pavements, asphalt emulsion, asphalt emulsion treated base, conserved resistance.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la República del Ecuador la mayor parte de los intercambios comerciales a nivel nacional e internacional se realizan por carreteras, en su mayoría construidas con pavimentos flexibles, formadas por superficies de hormigón asfáltico en caliente y capas de bases y subbases de materiales granulares.

Muchos países de la región están sujetos a limitaciones presupuestarias importantes. Por ello, la tecnología en frío realizada con emulsiones asfálticas parece una solución apropiada para toda la región, en la que existe una extensa red de vías secundarias y terciarias. Sin embargo, son escasas las experiencias en Ecuador en el tratamiento de materiales granulares, de ahí la necesidad de divulgar las investigaciones que muestren la efectividad de estas soluciones en la mejora del comportamiento de los materiales de pavimentos, respondiendo al necesario incremento de la transportación que demanda el desarrollo.

Con este propósito se muestran en este trabajo los resultados de laboratorio obtenidos con materiales pétreos que no son utilizados en la construcción de pavimentos, ya que no satisfacen todas las exigencias para la construcción de subbases de carreteras, pero la adición de emulsión asfáltica permite que se alcancen resistencias acordes a las exigencias de subbase. Se muestra el resultado del diseño de la mezcla de los agregados con una emulsión asfáltica catiónica, demostrándose las mejoras de sus propiedades.

Asimismo, se persigue demostrar cuán importante puede ser el mejoramiento de un material de subbase con este tratamiento, en el comportamiento estructural del pavimento. Se compara una estructura típicamente flexible, con base y subbase no aglomerada, con otra estructura equivalente, con una subbase aglomerada con la emulsión catiónica, formando una estructura invertida. Se utiliza para el diseño, el procedimiento empírico-mecanicista de la Guía de Diseño ) [1, 2], que permite predecir el comportamiento, pronosticando la evolución en el tiempo de las deformaciones permanentes y el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

En relación con la formulación de las mezclas asfálticas con emulsión, el método más divulgado es el de inmersión compresión. Este procedimiento, creado inicialmente para valorar la susceptibilidad al agua de las mezclas en caliente, implica compactar las probetas con una carga excesiva si se trata de una mezcla en frío. En la bibliografía sobre el tema se encuentran densidades de laboratorio elevadas y valores de resistencia en correspondencia con ello; sin embargo, en los tramos ejecutados, las mediciones de densidades in situ son muy inferiores [3].

Como parte del trabajo de Sánchez y colaboradores [4] se destaca la alta densidad alcanzada por este procedimiento, muy lejos de la conseguida en obra. Se afirma en este trabajo que la problemática radica en que el porcentaje de emulsión se selecciona sobre un material distinto al que se va a conseguir en obra y que quizás, con los mismos criterios, pero sobre un material similar al real, podrían obtenerse resultados diferentes [4]. En este estudio los ensayos de control en el campo dieron densidades mucho menores que las registradas durante la formulación de la mezcla en el laboratorio. A pesar de que se probaron en obra diferentes equipos y procedimientos de compactación, se comprobó la gran dificultad en acercarse a las densidades de laboratorio, con densidades de obra entre el 77-89% de la densidad de laboratorio obtenida por compactación estática de una carga de 17 t.

Por otra parte, es conocido que la temperatura de 60 ºC representa una zona crítica en los asfaltos. Se han comprobado a esta temperatura fenómenos de deformación plástica debidos a modificaciones en la consistencia y descritos como una fase de transición en el comportamiento viscoso relacionado con la susceptibilidad a la temperatura [5]. Esta investigación fue ratificada posteriormente en el trabajo doctoral de [6], quien demuestra que este fenómeno incluso se puede producir a una temperatura más baja. Se ha podido observar que el módulo a dicha temperatura alcanza valores tan elevados que no es posible lograrlo a temperatura ambiente.

El objetivo de la investigación es demostrar el incremento de la resistencia a CBR que experimenta un material granular, con alta plasticidad, mediante la incorporación de una emulsión asfáltica catiónica. También, mostrar la influencia que tiene este incremento de resistencia en el comportamiento de la estructura de pavimento, evaluado a través del IRI y las deformaciones permanentes, aplicando el procedimiento empírico-mecanicista de la Guía de Diseño AASTHO.

## 2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE SUBBASE TRATADA CON EMULSIÓN

Las subbases granulares están compuestas por suelos naturales o en combinación con agregados obtenidos por proceso de trituración o de cribado. Deben cumplir determinados requisitos de calidad, estableciéndose una capacidad de soporte mínima (CBR) de 30% y la porción que pase el tamiz No. 40 deberá tener un índice de plasticidad (IP) menor que 6% y un límite líquido (LL) máximo de 25%. También se establece un coeficiente de los Ángeles inferior al 50%. El material de subbase granular debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de subbase granular puedan causar fallas en el pavimento (MTOPT, 2002).

Se precisan tres tipos de subbases, con diferentes especificaciones granulométricas. Los materiales clase 1 están constituidos por agregados obtenidos por trituración de roca o gravas y graduados uniformemente y por lo menos el 30% del agregado deberá obtenerse por proceso de trituración. Las subbases clase 2 están constituidas por agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas y graduados uniformemente. La subbase granular clase 3 estará constituida por agregados naturales [7].

El comportamiento de las capas granulares, pueden ser mejoradas mediante la incorporación de emulsiones asfálticas. La norma colombiana [8] exige muy buena calidad para los materiales a estabilizar con una emulsión asfáltica.

Podrán ser agregados pétreos o suelos naturales, pudiendo ser triturados, clasificados o una mezcla de ambos, exentos de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial, con un coeficiente de desgaste no mayor 50%, así como utilizar una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta.

Para su utilización en bases o subbases de pavimentos, se requiere además una granulometría continua, existiendo una amplia gama de estos materiales, dentro de los cuales se encuentra la gravaemulsión. Las especificaciones para estos agregados, independientemente de su procedencia, deberán encontrarse exentos de materias vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias incorporadas que puedan resultar ambientalmente nocivas o inconvenientes para el buen comportamiento de la capa estabilizada [9].

En estas mezclas, el agregado forma un esqueleto mineral semejante al de una base granular artificial, que asegura una transmisión de los esfuerzos de compresión por rozamiento interno. Los gruesos quedan encajados por un mortero que rellena sus huecos, dotando al conjunto de cohesión, flexibilidad e impermeabilidad. Esta estructura se mantiene hasta que, en el proceso de compactación, se produce un laminado de los glóbulos de betún que provoca la rotura definitiva, con lo que se consigue desarrollar una buena cohesión y una alta compacidad [10].

En lo que concierne a la formulación de la mezcla, el contenido óptimo de agua de preenvuelta se debe precisar basándose principalmente en la humedad con la que se obtenga un cubrimiento uniforme y homogéneo del material mineral por parte del ligante asfáltico, mientras que la humedad para la compactación será la óptima del ensayo modificado del agregado por estabilizar. El diseño de la mezcla se efectúa normalmente utilizando el ensayo de inmersión-compresión, siguiendo el siguiente criterio para la determinación del contenido óptimo de ligante [8]:

- Resistencia seca (RS) ≥ 10 kg/cm$^2$
- Resistencia húmeda (Rh) ≥ 7,5 kg/cm$^2$
- Resistencia conservada (Rc) ≥ 50%, donde:

$$R_C = \frac{R_h}{R_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Estableciendo como principio de formulación de la mezcla que debe añadirse un contenido de emulsión capaz de proveer las características de una base estabilizada con emulsión, se exigen mayores valores de resistencia, pero igualmente una resistencia conservada mayor o igual a 50%, según los criterios siguientes:

- Resistencia en seco mayor o igual a 20 kg/cm$^2$
- Resistencia tras inmersión mayor o igual a 15 kg/cm$^2$

La densidad media de un tramo construido debe ser mayor o igual al 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor modificado y la humedad de compactación será la óptima del propio ensayo. Las densidades deben

tomarse después de 3 semanas como mínimo, cuando se considera que ha cumplido su período de maduración, y se autoriza el cubrimiento de la capa estabilizada.

La temperatura y el tiempo de permanencia en estufa son factores con los cuales se acelera el proceso de maduración en el laboratorio. El método de inmersión-compresión utiliza una temperatura de maduración de 60 °C. A temperaturas cercanas a los 60 °C o menores, se crea una zona crítica en la que existe una transición en el comportamiento del asfalto, que lo hace más susceptible a la temperatura, por dicha razón es conveniente aplicar una temperatura menor, que puede ser de 50 °C, para la reducción de la humedad en la mezcla [3].

En el método de inmersión-compresión, para la compactación de las probetas, se aplica una carga estática de 17 toneladas. Se ha observado que las densidades en laboratorio superan ampliamente las que se alcanzan en obra; densidades y resistencias favorecidos por la utilización de unas condiciones de preparación de las probetas que alteran su verdadero comportamiento.

En las mezclas en frío, como el caso de las estabilizaciones de agregados, se puede hablar de un comportamiento en la compactación comparable al de los suelos, ya que son una mezcla de granos sólidos, aire, agua y emulsión, un líquido de consistencia semejante al agua. Los fluidos durante el proceso de compactación desempeñan el mismo papel que el agua en los suelos; por ello, buscar una analogía con éstos podría conducir a esclarecer y comprender determinados comportamientos [3].

Por consiguiente, la prueba de CBR puede ser apropiada para evaluar la resistencia en la mezcla, determinándose del mismo modo la resistencia conservada, hallando la relación porcentual entre el CBR húmedo (tras inmersión) y el CBR seco (inmediato). Además, compactando las muestras con la energía de compactación del Proctor Modificado, de esta manera se utiliza el mismo procedimiento para las pruebas de resistencia que para fijar el contenido de fluidos con el cual se debe compactar.

En todo diseño de mezcla se debe determinar [8]:

- El porcentaje de agua para mezcla y compactación, respecto al peso seco del componente mineral.
- El porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión, respecto al peso seco del componente mineral.
- El valor mínimo de la densidad seca en la mezcla.

Una vez seleccionada la emulsión catiónica, y comprobar su compatibilidad con los áridos se siguió en el diseño de mezcla el siguiente procedimiento:

1. Obtención del porcentaje de fluidos con el que se logra máxima densidad durante la compactación de la mezcla, aplicando el ensayo Proctor Modificado.
2. Preparación y compactación de las probetas, empleando un proceso de maduración en estufa en condiciones controladas de temperatura y tiempo, con 50 °C y 24 horas.
3. Proceso de inmersión para las probetas que se ensayarán en estas condiciones, por 96 horas (4 días).
4. Determinación de la resistencia de las muestras compactadas y curadas mediante el ensayo de CBR. Ensayar dos grupos de probetas: en seco y tras inmersión.
5. Selección del contenido de emulsión con el cual se alcanzan determinadas propiedades en la mezcla, de acuerdo con la resistencia tras inmersión y la resistencia conservada.

## 3. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

### 3.1. Caracterización del material granular

El material granular fue primeramente ensayado para comprobar si se cumplen las especificaciones de los materiales de subbases, en cuanto a granulometría, plasticidad, dureza y resistencia a CBR, establecidas por las normas del MTOP [7].

La Tabla 1 contiene un resumen de las pruebas realizadas y comparaciones con las especificaciones del MOTP para las subbases.

Tabla 1. Características del material granular empleado en la investigación y especificaciones de materiales de subbase según normas del MOTP de Ecuador [7]

| ENSAYO | Norma de ensayo | Valores mínimos | Material granular |
|---|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | ASTM D4318 | ≤ 25 | 44,9 |
| Índice de Plasticidad (%) | ASTM D4318 | ≤ 6 | 19,7 |
| Equivalente de arena (%) | ASTM D2419 | ≤ 50 | 28 |
| Terrones de arcilla y partículas deleznable (%) | ASTM C142 | ≤ 2 | 0 |
| Coeficiente de los Ángeles (%) | ASTM C131 | ≤ 50 | 19 |
| Peso específico (g/cm³) | ASTM C127 | - | 2,08 |
| Densidad seca máxima en el ensayo Proctor Modificado (kN/m³) | ASTM D1557 | - | 17,8 |
| Humedad óptima del ensayo Proctor Modificado (%) | | - | 16,0 |
| CBR mínimo del material sin emulsión asfáltica Compactado al 100% de la densidad seca máxima del Modificado, después de 4 días de inmersión | ASTM D1883 | ≥ 30 | 10,2 |

La Figura 1 muestra el resultado del análisis granulométrico, donde se han incluido las especificaciones del MTOP [7] para los materiales de subbases, clase 1. Como se observa, tiene granulometría continua y cumple con las especificaciones.

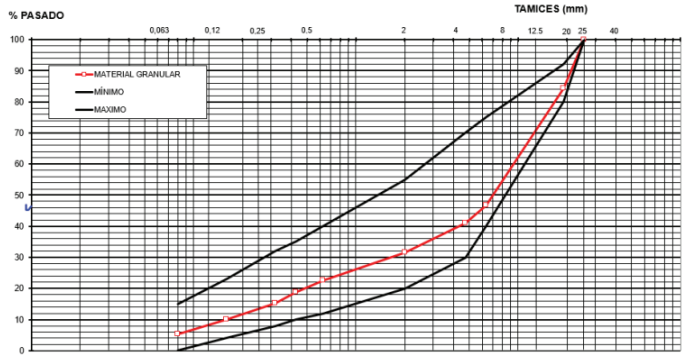



Figura 1. Análisis granulométrico del material granular utilizado en las pruebas

El límite líquido es 35,4% y su índice de plasticidad es de 10,8%, por lo que incumple las especificaciones para subbase de pavimentos, en cuanto a plasticidad.

Como se conoce, las pruebas para la determinación de los índices de consistencia se realizan con material pasado por el tamiz No. 40, por lo que se presume que este agregado, con porcentaje pasado por dicho tamiz superior al 10%, además de IP superior al 6%, puede tener una afectación significativa de la resistencia a CBR, especialmente cuando es ensayado en condiciones de inmersión. En la Figura 2 se muestran resultados que demostraron esta predicción.

En el ensayo de compactación, ejecutado con la energía del Proctor Modificado, se obtuvo una densidad máxima de 17,8 kN/m$^3$ y humedad óptima de 16,0%. El material cumple las exigencias en cuanto a dureza, con un Coeficiente de Desgaste de Los Ángeles de 19%, ya que las especificaciones para subbase establecen un coeficiente inferior al 50%.

En la Figura 2 se muestran los resultados de la resistencia a CBR del material en forma natural, obtenidos con tres energías de compactación (estándar, intermedio y modificado), por consiguiente, densidades diferentes. Se puede observar que la resistencia en seco (de forma inmediata) es elevada, por encima del 30% con la energía intermedia y superior al 50% con la del modificado, Sin embargo, después de inmersión se observa una caída apreciable en la resistencia.

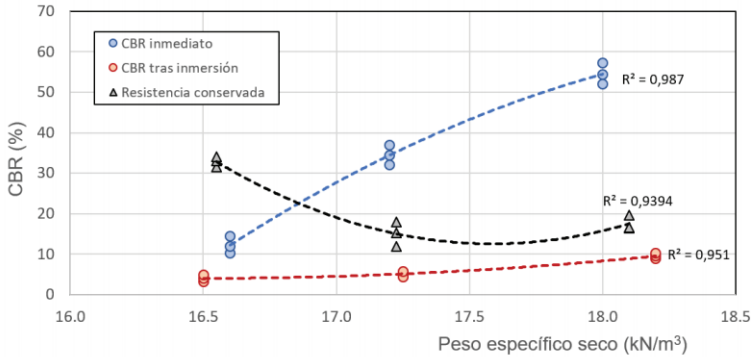



Figura 2. Resistencia a CBR del material granular en su estado natural. Resistencia inmediata (en seco), tras inmersión y conservada, para diferentes densidades.

Para la máxima densidad se obtuvo solo el 17,5% de resistencia conservada tras inmersión. Este descenso de la resistencia no solo se debe al elevado Índice Plástico, sino también a que es significativa la presencia de finos inferior al tamiz 40.

En resumen, el material incumple con las especificaciones para los índices de consistencia, además, presenta muy baja resistencia cuando se ensaya en inmersión, así como resistencia conservada. No obstante, es un agregado de apropiada dureza y buena composición granulométrica.

### 3.2. Resultados de la incorporación de emulsión asfáltica catiónica

La emulsión asfáltica empleada en la investigación es de tipo catiónica, clasificada como CSS-1 según la norma del MOTP de Ecuador. La Tabla 2 contiene las especificaciones para este tipo de emulsión.

Tabla 2. Características de la emulsión catiónica empleada en la fabricación de las mezclas, según normas del MOTP de Ecuador

| Propiedades | Norma de ensayo | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|
| Viscosidad Saybolt Furol a 25ºC (s) | ASTM D7496 / ASTM D244 | 20 | 100 |
| Prueba de estabilidad a 24h (%) | ASTM D6930 | - | 1 |
| Mezcla con cemento (%) | NLT-144/91 | - | 2 |
| Residuo por evaporación (%) | NLT-147/72 | 57 | |
| Prueba de carga eléctrica de partículas | ASTM D7402 / ASTM D244 | + | |

Se prepararon muestras con porcentajes de emulsión entre 4 y 7%, respecto al peso de áridos, con variaciones del 1%. Se tuvo en cuenta añadir la cantidad de agua de preenvuelta necesaria para completar el contenido de fluidos, obtenido como la humedad óptima del material en su estado natural (16,0%). Por último, se realiza el mezclado tratando de lograr el reparto uniforme en la mezcla, antes de proceder a la compactación, aplicando la energía del Proctor Modificado. Posteriormente, las probetas fueron colocadas en estufa a 50 °C, durante 24 horas para lograr eliminar el agua añadida y luego de enfriadas. Se ensayaron a CBR, la mitad de forma inmediata (en seco) y la otra mitad luego de un proceso de inmersión durante cuatro días.

La Figura 3 muestra los resultados de las pruebas realizadas incorporando porcentajes de emulsión de 4, 5, 6 y 7%. Es evidente el efecto que se ha logrado con la incorporación de la emulsión asfáltica sobre la resistencia del material. Se puede apreciar que en condiciones inmediatas (en seco) se ha incrementado el CBR, incluso por encima del 100% para valores mayores al 5% de emulsión. Sin embargo, es conveniente considerar la pérdida de resistencia por acción del agua, como forma de evaluar la adhesividad pasiva del asfalto, es decir, la resistencia a ser desplazado por la acción del agua.

La resistencia tras inmersión se redujo apreciablemente, para cualquier contenido de emulsión, pero en todos los casos se alcanza un CBR superior al 50%, mayor a lo especificado para una subbase (30%). No

se aprecian diferencias significativas en las resistencias en seco, tras inmersión y conservada con contenidos de emulsión iguales o superiores al 5%.

La resistencia para una base, que debe ser de 80% después de inmersión, no se alcanza con ningún porcentaje de emulsión, pero el material tratado cumple con la resistencia de una subbase o de una base para tráfico medio. Se puede adoptar el 5% de emulsión como porcentaje apropiado en una mezcla para subbase, con el que se logra el 60% de resistencia tras inmersión y un porcentaje de resistencia conservada superior al 60%.

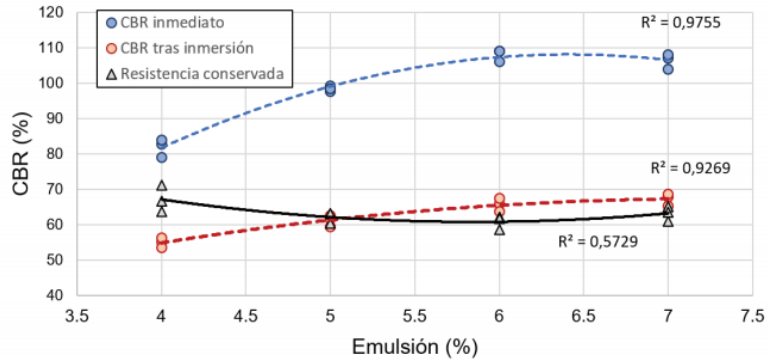



Figura 3. Resistencia a CBR del material granular después de ser tratado con emulsión asfáltica catiónica. Resistencia inmediata (en seco) y tras inmersión

## 4. COMPARACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA FLEXIBLE Y UNA SEMIRRÍGIDA

En este apartado se analiza si el empleo de emulsiones asfálticas para mejorar la subbase del pavimento asfáltico, formando un pavimento semirrígido, proporciona una estructura de mejor comportamiento que una estructura típicamente flexible, para lo cual se ha diseñado dos variantes: una estructura flexible, con la base y subbase compuestas por materiales granulares no aglomerados, y otra donde la subbase es tratada con emulsión asfáltica.

La subbase tratada con emulsión es el resultado de la mezcla del material granular, al que se le incorpora un porcentaje de emulsión del 5%. Para el diseño y evaluación del comportamiento de ambas estructuras se utiliza el procedimiento de diseño empírico-mecanicista, con el programa MEPDG (del inglés Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide) que permite, para el caso de pavimentos flexibles, establecer la evolución de los deterioros en el tiempo, tales como deformaciones y el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

La guía de diseño en su metodología aplica la teoría elástica y modela la estructura con múltiples capas horizontales homogéneas, con un comportamiento elástico en la explanada y en las bases granulares y un comportamiento visco-elástico para los materiales asfálticos. Las estructuras flexibles se analizan con una superficie asfáltica, y materiales seleccionados para la base y subbase, de forma tal que las presiones verticales a nivel de la subrasante no superen las admisibles por el pavimento. Las estructuras semirrígidas, como las que contienen capas estabilizadas, posibilitan que la superficie trabaje solamente a compresión, siendo representada por el módulo dinámico que varía con la temperatura y la carga.

En general, en el diseño mediante el MEPDG, se adopta inicialmente un diseño de prueba, con varios parámetros estructurales (número y tipo de capas, el módulo resiliente de las capas y las características de la explanada) y se establecen las condiciones de tránsito y clima a las que será sometida. Como respuesta brinda las deformaciones y tensiones asociadas a las cargas de tráfico y a las condiciones climáticas, acumulando el daño producido durante el período de diseño. A través de modelos de regresión empíricos, predice el daño en el tiempo de los deterioros típicos, tales como: fisuras, ahuellamientos e Índice de Regularidad Internacional (IRI) [11].

El interés en este caso es analizar el comportamiento del IRI y de las deformaciones provocadas por las cargas y por las condiciones ambientales durante la vida de diseño, considerando las dos estructuras

concebidas, la alternativa 1 con pavimento flexible y la alternativa 2 donde se concibe un pavimento semirrígido, con la subbase formada por la subbase mejorada con la emulsión.

### 4.1. Variables de diseño del pavimento

#### 4.1.1. Tráfico de diseño

En el cálculo de las repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (8,2t) o ESAL's (Equivalent Simple Axial Load), se convierte el número de vehículos esperados (ADT) en el año inicial, a ejes equivalentes a la carga de diseño durante el período de diseño. Se tiene un tráfico balanceado y se estima que por el carril de diseño circule el 80% de camiones. La Tabla 3 contiene el tráfico de diseño considerado en el diseño [12].

Las cargas por ejes son convertidas a equivalentes a través de los LEF (Factores de Equivalencia de Cargas), según los tipos de ejes (simple, tándem y trídem) en función de la magnitud de la carga y del número estructural del pavimento. Se consideró 4 como Número Estructural (SN) de partida y un PSI final de 2,5. El tráfico de diseño calculado es de 2,1 x $10^7$ ejes de 18kips, durante un período de diseño de 15 años.

Tabla 3. Tráfico de diseño.

| Tipo de vehículo | No. veh/día | Factor de crecimiento (15 años) | Camiones totales de diseño | factores de carga por vehículo | Ejes equivalentes |
|---|---|---|---|---|---|
| Livianos | 11991 | 18,88 | | | |
| volquetas y camiones | 883 | 18,88 | 2433972 | 0,543 | 1321647 |
| Camiones de 2 ejes | 147 | 18,88 | 405203 | 3,190 | 1292596 |
| 2S1 | 1044 | 18,88 | 2877765 | 6,08 | 17496812 |
| 2S2 | 2 | 18,88 | 5513 | 6,07 | 33464 |
| 3S2 | 26 | 18,88 | 71668 | 6,06 | 434311 |
| 3S3 | 19 | 18,88 | 52373 | 8,655 | 453289 |
| Vehículos totales | 14112 | | | Tráfico de Diseño | $2,1 \times 10^7$ (18kips) |
| Camiones totales | 2121 | | | | |

#### 4.1.2. Condiciones del cimiento

El material de cimiento o subrasante de la estructura es un suelo de tipo A-4 con una resistencia a CBR de 5%.

#### 4.1.3. Materiales que componen la estructura

La superficie del pavimento es de hormigón asfáltico en caliente, con un grado de penetración del asfalto, entre 60 a 70 (AASHTO M226-80), con graduación por viscosidad de AC- 20 (AASHTO M20-70) y con graduación PG en el intervalo de 22 a 70 (AASHTO MP1-98). La temperatura de cálculo asumida para la región del proyecto es de 68 °F (30 °C), por lo cual el módulo de la superficie es de 300000 psi (2070 MPa).

El material de base es una grava de granulometría continua, con porcentajes de arena, grava y fino, en los límites normados, por lo que se clasifica como A-1-a, según el sistema de clasificación de la AASHTO, de buena calidad como base. El límite líquido es de 6,0% y su índice de plasticidad es de solo 1,0%. El índice de CBR es superior al 80%, lo que representa un módulo de 38000 psi (262 MPa).

Para la subbase se tienen dos alternativas. Una variante es un material calizo con 30% de CBR, por lo que representa un módulo de 20000 psi. El límite líquido es de 50,0% y su índice de plasticidad de 6,0%. La granulometría es continua y se encuentra dentro de los límites especificados como subbase de clase 1. Clasifica como un material A-2-5, por la AASTHO.

En la segunda variante se emplea el material granular que, como no posee las propiedades necesarias para ser empleado como subbase, se estabilizó con emulsión asfáltica catiónica en un 5%, con lo cual se logró un 60% de CBR tras inmersión, mejorando sus prestaciones, con el doble de la resistencia exigida para una subbase (30%), y módulo de 42000 psi (290 MPa).

#### 4.1.4. Dimensionamiento del pavimento

Se contemplan dos alternativas de diseño: Alternativa 1, para un pavimento típico flexible y la Alternativa 2, para un pavimento semirrígido. El procedimiento del diseño empírico-mecanicista, de la Guía [1, 2], ofrece capacidad para considerar una gran variedad de secciones estructurales.

La Figura 4 muestra esquemas de dos estructuras posibles en los diseños, el pavimento flexible convencional y el pavimento semirrígido, pero este último representa una sección invertida, donde la subbase se encuentra aglomerada con un ligante asfáltico. Esta segunda estructura constituye la segunda alternativa, donde la subbase se encuentra tratada con el 5% de la emulsión asfáltica catiónica.

En los diseños se consideraron como criterio de comportamiento los siguientes valores límites por defecto en el programa:

- Valor inicial del IRI: 1,0 mm/m (63 pulg/milla).
- Valor final del IRI: 2,7 mm/m (170 pulg/milla).
- Deformación permanente de la capa asfáltica de HA: 6,35 mm (0,25 pulgadas).
- Deformación permanente total del pavimento: 17,8 mm (0,7 pulgadas).
- Agrietamiento por fatiga (25% de daño).

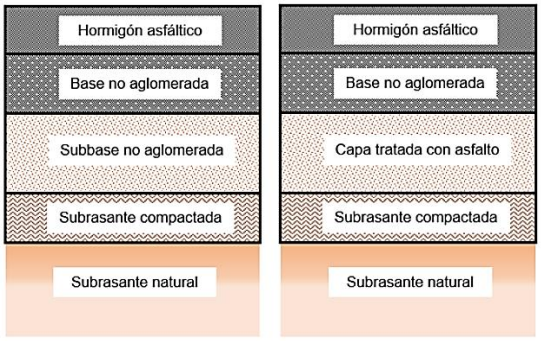



Figura 4. Pavimento flexible convencional (izquierda), pavimento semirrígido (derecha) [1].

En los procedimientos empírico-mecanicistas, los programas de cómputo entregan tensiones, deformaciones y desplazamientos en puntos críticos de la estructura y en la subrasante (modelo de respuesta). Se asume una estructura inicial a la que se le aplican modelos empíricos de deterioro para evaluar el tipo y la extensión de los daños durante cualquier instante de la vida del pavimento. Si algún daño considerado excede el límite fijado como admisible, se debe elaborar un nuevo modelo de estructura y repetir el análisis. Luego de varias iteraciones, los espesores calculados y los módulos considerados en las dos alternativas analizadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Espesores de capas en las variantes analizadas

| Capas | Alternativa 1 | | Alternativa 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | Espesor (cm) | Módulo (MPa) | Espesor (cm) | Módulo (MPa) |
| Superficie | 10 | 2069 | 8 | 2069 |
| Base | 25 | 262 | 20 | 262 |
| Subbase | 40 | 138 | 25 | 290 |

### 4.2. Análisis del comportamiento de las alternativas de estructuras mediante la Guía de Diseño AASTHO

Las roderas son deformaciones permanentes generadas alrededor de la zona por donde pasa con mayor frecuencia el neumático. Se ha establecido para el diseño un límite de 6,8 mm para la carpeta asfáltica (HA) y de 17,8 mm para la profundidad total de roderas en todo el espesor de pavimento.

Para el pavimento flexible, los resultados durante los 15 años de período de diseño se muestran en la Figura 5, donde se puede observar que las deformaciones que se generan en la superficie tienen un valor máximo

de 5,9 mm; en la base se genera una deformación de 5,2 mm, mientras que en la subbase el valor máximo es de solo 3,0 mm. Se estima, entonces, que la deformación permanente para el 90% de confiabilidad, de toda la estructura sea de 17,5 mm y para el 50% de confiabilidad, de 14,2 mm.

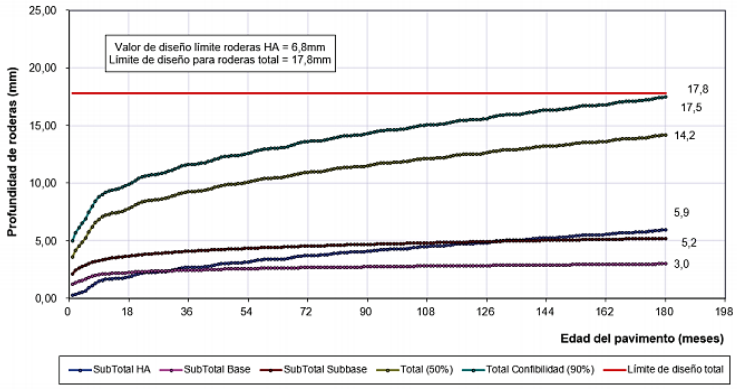



Figura 5. Comportamiento de las deformaciones permanentes (roderas) en el pavimento flexible (Variante 1), durante el período de diseño.

La Figura 6 muestra el comportamiento de las deformaciones que se generan en cada una de las capas que componen el pavimento semirrígido (Alternativa 2). En este caso, se observa una deformación similar a la Alternativa 1, en la subbase de 3,1 mm; en la base, sin embargo, es apreciablemente menor e igual a 3,4 mm y la superficie experimenta deformaciones algo más elevadas en todo el período de diseño, con valor máximo de 6,7 mm; pero esta estructura tiene menos espesor de superficie. Para la confiabilidad del 50% se espera una deformación total de 13,2 mm y para el 90% de 16,5 mm, valores que son aceptables.

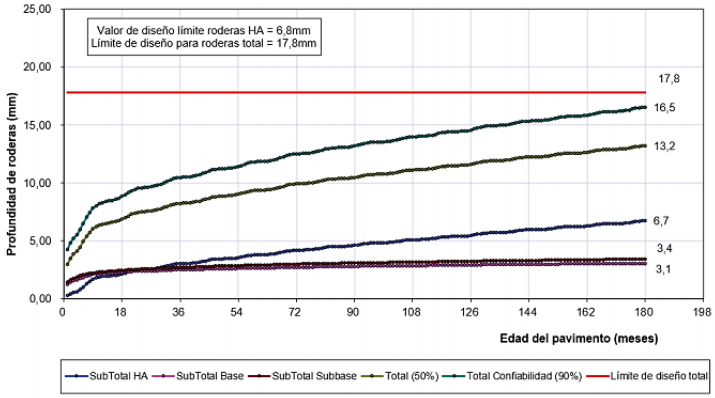



Figura 6. Comportamiento de las deformaciones permanentes (roderas) en el pavimento semirrígido (Alternativa 2), durante el período de diseño.

La Figura 7 muestra un resumen de los resultados brindados por el programa acerca del IRI, incluyendo ambas variantes de pavimentos, y considerando los dos diferentes niveles de confiabilidad en el diseño: 50 y 90%. El límite de regularidad establecido en el diseño del pavimento, representado por la línea roja, es de 2,70 mm/m. Obsérvese que para el 90% de confiabilidad, el pavimento flexible se acerca más al límite, al final del período de diseño, con un valor esperado de 2,31 mm/m, contra 2,23 mm/m esperado en la variante de pavimento semirrígido.

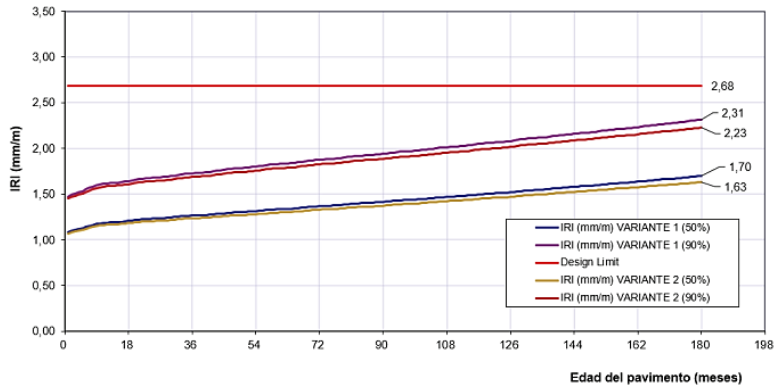



Figura 7. Comportamiento de la regularidad superficial (IRI) en ambas alternativas de pavimento, durante el período de diseño.

La Figura 8 contiene un resumen de los resultados brindados por el programa acerca del agrietamiento en forma de piel de cocodrilo, originadas de abajo hacia arriba, para las dos alternativas de pavimento, para el 50% de confiabilidad en el diseño. El límite del daño establecido en el diseño para dicha probabilidad es del 25%, representado por la línea roja. En ambas alternativas se cumple con el máximo admisible, aunque la estructura flexible manifiesta menos daño al final del período de diseño.

Como las estructuras son equivalentes, es evidente la semejanza en el comportamiento, aunque en la estructura semirrígida este resultado se ha logrado con una significativa reducción del espesor de pavimento. El IRI se encuentra muy por debajo del valor de diseño, lo que indica que no se presentan problemas de confort antes de completarse el período de diseño.

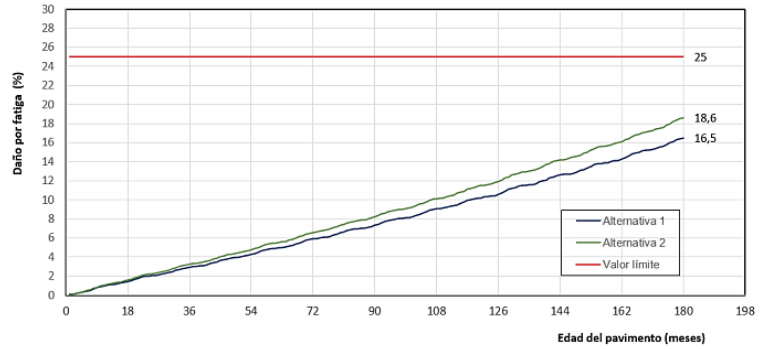



Figura 8. Comportamiento del daño por agrietamiento (grietas piel de cocodrilo) en ambas alternativas de pavimento, durante el período de diseño.

## 5. CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación se llega a las siguientes conclusiones generales:

El agregado utilizado en la experimentación, en su forma natural, no cumple con todas las especificaciones para ser empleado como subbase de pavimentos. Es una grava, que clasifica como A-2-5, con Límite Líquido de 35,4% e Índice de Plasticidad de 10,8%, por lo que incumple las especificaciones para subbase de pavimentos. Sin embargo, cumple las exigencias en cuanto a dureza, con Coeficiente de Desgaste de Los Ángeles de 19%, menor al 50%. En Índice de Plasticidad es superior al 6%, con apreciable porcentaje de finos y aunque tiene resistencia a CBR en seco elevada, su resistencia tras inmersión es muy reducida.

El agregado, una vez estabilizado con una emulsión asfáltica catiónica, no alcanza resistencia suficiente para una base de pavimento según el CBR que se obtiene tras inmersión, aunque puede ser utilizado en tráfico medio o ligero. Pero satisface ampliamente los requerimientos de una subbase, adicionando el 5% de emulsión.

Los resultados del diseño de las estructuras flexible y semirígida, demostraron comportamientos similares durante el período de diseño, con valores de IRI, de deformación permanente (roderas) y de agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica, pero con menores espesores de capas, lo que evidencia que el uso de una subbase estabilizada con emulsión puede representar un ahorro en costos totales.

Además de las ventajas técnico-económicas que constituye el uso de emulsiones, son evidentes también las ventajas que desde el punto de vista ambiental representa su empleo, ya que el material que se está estabilizando con la emulsión es un residuo que no se puede aprovechar en la construcción de los pavimentos por su alto valor de plasticidad.

## 6. REFERENCIAS

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2004). Guide for Mechanistic -Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures. Washington, D.C., Estados Unidos.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2008). Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide. A Manual of Practice. Washington, D.C., Estados Unidos.
3. Tejeda, E. (1999). *Investigación sobre el comportamiento en laboratorio de las mezclas bituminosas recicladas con emulsión. Bases para un nuevo método de formulación* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
4. Sánchez, J., Perez, F., Miro, R., y Paez-Dueñas, A. (1998). Reciclado en frío con emulsión de las capas asfálticas de la carretera C-147, tramo Sort-Esterri D'aneu. Control de ejecución: seguimiento y análisis. *IV Congreso Nacional de Firmes*. Junta de Castilla y León, Segovia.
5. Muñoz, J. M. (1983). Un método sencillo para determinar las propiedades reológicas del betún en el intervalo 45-75°C. El ensayo del flotador. Carreteras, (8), 20-25.
6. Pérez, F. E. (1998). Documento de referencia para el reciclado: especificaciones, normativa y recomendaciones. Situación actual y necesidades. *IV Congreso Nacional de Firmes*. Junta de Castilla y León, Segovia.
7. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (MTOPT 001-F-2002). Recuperado de: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
8. Instituto Nacional de Vías. Normas y Especificaciones. INVIAS, (2012). Recuperado de: https://www.invias.gov.co/index.php/ información-institucional/139-documento-tecnicos
9. PROAS (2013). *Grava-emulsión. Manual de consulta*. Recuperado de: https://www.cepsa.es/stfls/CepsaCom/PROAS/Ficheros_ proas/Grava-emulsion.pdf
10. Nerveda, J. (2015). *Mezclas bituminosas en frío. Grava-emulsión*. Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas. Recuperado de: https://www.ateb.es/images/pdf/1MEZCLAS.pdf
11. Balay, J., Correia, A. G., Jouve, P., Hornych, P., y Paute, J-L. (1997). Mechanical Behaviour of Soils and Unbound Granular Materials, Modelling of Flexible Pavements–Recent Advances, Eighth International Conference on Asphalt Pavements. University of Washington, Seattle.
12. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1993). Standard Specification for Viscosity Graded Asphalt Cement. Washington, D.C., Estados Unidos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HORMIGONES ELABORADOS CON AGUA Y ARENA DE MAR.

**Ing. David León González[1], Dr. Ing. René A. Puig Martínez[2], Dra. Ing. Isel Díaz Pérez[3]**

[1]Empresa de Servicios Ingenieros Especializados.ESINES. Calle 198 No. 1714 e/ 17 y 19. Reparto Siboney. La Habana. Cuba

[2,3]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba.

[1]e-mail: ddleong@gmail.com, [2]rpuig@ civil.cujae.edu.cu, [3] iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La industria de la construcción encabeza la lista de los mayores consumidores de materia prima a nivel mundial, siendo el consumo de arena de río y agua dulce en la producción de hormigón los más alarmantes debido a la sobreexplotación de los mismos. La sustitución total o parcial de ambos recursos por agua y arena de mar puede constituir una solución factible a este problema. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del empleo del agua y arena de mar en las propiedades físico-mecánicas del hormigón a los 3, 7 y 28 días. Para ello se realizaron ensayos considerando un hormigón sin sustitución para el árido fino y se evaluaron, además, 50% y 100% de sustitución, en todos los casos fue empleada agua de mar para la mezcla. Los resultados obtenidos a las edades ensayadas permiten concluir que es posible el empleo de agua y arena de mar en la elaboración de hormigones, destacando aquellos alcanzados para un 50% de sustitución de la arena.

**PALABRAS CLAVES:** durabilidad, hormigones elaborados con agua y arena de mar, propiedades mecánicas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL USO DEL MORTERO ARMADO Y LOS PRF EN LA CONSTRUCCIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.

**Dr. Hugo Wainshtok Rivas[1], Ing. Gabriel Martínez Licea[2], Dra. Isel del Carmen Díaz[3]**

[1]Profesor Emérito Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail hugorwr@gmail.com , hugow@tesla.cujae.edu.cu;
[2]Instructor, Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail gamarlic2709@gmail.com;
[3]Profesor Auxiliar, Universidad Tecnológica de La Habana, email iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Mortero armado es el término asumido para incorporar al ferrocemento los compuestos novedosos de naturaleza no metálica, tal como el polímero reforzado con fibras, cuyo objetivo fundamental es aumentar la durabilidad de las estructuras construidas con este material. La construcción con ferrocemento o mortero armado constituye un reto si se compara con el hormigón armado, debido a las diferencias entre sus dimensiones y las tolerancias permisibles; sin embargo, si se siguen las recomendaciones de los expertos, es posible llevar esta tecnología a un alto nivel de ejecución y seguridad en las estructuras, posibilitando el ahorro en materiales, recursos y costos de producción. El mortero armado con la incorporación de barras y mallas de polímeros reforzados con fibras, debe convertirse en el presente y el futuro de la construcción con ferrocemento en dirección al desarrollo sostenible.

**PALABRAS CLAVES:** ferrocemento, mortero armado, polímero reforzado con fibra (PRF), tecnología.

## THE USE OF REINFORCED MORTAR AND THE FIBER REINFORCED POLYMERS (FRP) IN THE CONSTRUCTION IN LATIN AMERICA AND CARIBBEAN.

**ABSTRACT**

Reinforced mortar es the term assumed to incorporate novel composites of non-metallic nature into ferrocement, such as the fiber reinforced polymer, whose fundamental objective of to increase the durability of the structures built with this material. The construction with ferrocement or reinforced mortar is a challenge if it is compared with reinforced concrete, due difference between its dimensions and permissible tolerances; however, leads by the expert's recommendation, is possible raise up this technology and to guarantee the saving of materials, sources, production costs and security. The reinforced mortar with the incorporation of bars and mesh made of fiber reinforced polymers, must be the present and the future of the construction with ferrocement, in direction to a sustainable development.

**KEY WORDS:** Ferrocement, reinforced mortar, fiber reinforced polymer (FRP), technology.

## 1. INTRODUCCIÓN

A pesar de las ventajas que presenta el Ferrocemento en término de consumo de materiales y resistencia [1-6], ha sido poco utilizado dado su impredecible durabilidad, por la potencial corrosión del refuerzo de acero utilizado, y la dificultad en su construcción que puede implicar mayor mano de obra. Sin embargo , en años recientes, la tecnología utilizada en su construcción ha mejorado en muchos países, incluyendo los de América Latina y el Caribe, incrementando su aplicación en obras donde sus ventajas son más significativas, introduciendo materiales que garantizan una mayor durabilidad y resistencia debido a una mayor calidad y compacidad en el mortero, el uso de la prefabricación, nuevas tecnologías para la aplicación del mortero, así como la introducción como refuerzo de los Polímeros Reforzados con Fibras PRF, que no se oxidan como el acero [7].

En los inicios de los años 70 del siglo pasado, la construcción de barcos de Ferrocemento comenzó en Cuba, a partir de los resultados obtenidos por el autor en sus investigaciones, basado en la experiencia de Nueva Zelandia, cientos de embarcaciones fueron construidas en Cuba con buenos resultados [8]. Sin

embargo, no fue hasta inicios de los 80 que tanto en Cuba como en otros países de América Latina y el Caribe comenzó a diversificarse su construcción no solo en botes, sino en piscinas, mobiliario urbano, viviendas, tanques etc. Esta etapa llegó hasta principios de este siglo, donde por los motivos señalados comenzó a disminuir su uso. No obstante, el ferrocemento no ha dejado de ser una alternativa viable para los países en desarrollo, y aun en la actualidad se continúa utilizando hasta en obras de gran envergadura.

## 2. APLICACIÓN EN CUBA Y AMÉRICA LATINA.

### Embarcaciones

En 1972 el primer barco de pesca utilizando el Ferrocemento fue construido en Cuba, este fue el inicio de más de 300 embarcaciones de todo tipo construidos en astilleros cubanos en los siguientes 20 años: barcos de pesca, de recreación, de pasajeros y barcazas (patanas) (Figura 1) [8]. En Chile a partir de la experiencia cubana, se construyeron patanas de diferentes tipos con buenos resultados (Figura 2).



Figura 1: Embarcaciones de pesca, pasajes y recreación construidos en Cuba.

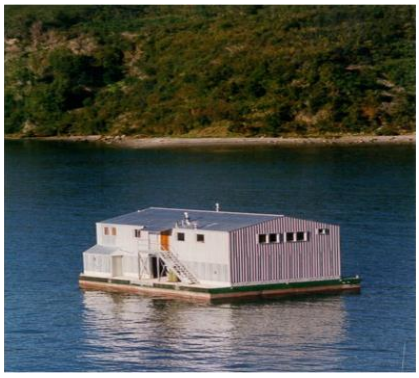


Figura 2: Patana de Ferrocemento construida en Chile

### Viviendas

Inspirado en el trabajo del Ingeniero Alfonso Olvera [9], Profesor del Instituto Politécnico Nacional, IPN, de México, el autor comenzó un estudio para la aplicación del Ferrocemento en la construcción de viviendas utilizando elementos prefabricados en Cuba, logrando sus primeros resultados con el apoyo del General de Brigada hoy retirado, Roberto Valdés, en Santiago de Cuba, donde se construyó la primera vivienda prototipo y el pueblo de Baconao (Figura 3). Ya en la década del 80 en el Centro de Investigación de Materiales y Tecnologías de la Construcción, CIMTEC, (hoy Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura CECAT) de la CUJAE y con la colaboración del Arq. Emilio Escobar creó el Sistema de Edificios Residenciales de Ferrocemento, SERF, a partir del cual se construyeron viviendas, edificios y pueblos en varias provincias del País (Figura **3**Figura **4**). En la década del 90, la tecnología creada por el Ing. Sergio Marrero Osorio, para la producción de paneles prefabricados utilizados en el SERF, permitió la construcción de viviendas prefabricadas en México, República Dominicana, Haití y Nicaragua (Figura 5).



Figura 3: Baconao primeras viviendas de 1 y 2 plantas



Figura 4: Pueblo de Minas 1 y edificio de viviendas de la CUJAE



Figura 5: Casas en Haití y Nicaragua. Cortesía de Kurt Rhiner y Pedro Galiano

Es de mencionar viviendas en El Salvador, Colombia y Bolivia, dirigidas por el Arquitecto Kurt Rhiner, de Suiza; el Ingeniero Daniel Bedoya en Cali, Colombia y el Arquitecto Mario Moscoso en Bolivia, destacando que especialmente los dos últimos han construido viviendas no prefabricadas, sino hechas a mano con resultados satisfactorios. Algunos como Moscoso y el Arquitecto Javier Senosiain de México [10] han llevado el Ferrocemento a la Arquitectura Orgánica creando una tendencia cada vez más desarrollada como se aprecia en la construcción de la Aldea Nizuc, en México (Figura 6, 7 y 8).



Figura 6: Vivienda sismo resistente, Colombia, y ejemplo de vivienda de arquitectura orgánica. Cortesía de D. Bedoya y Mario Moscoso



a) b)

Figura 7: Arquitectura orgánica (a) Vivienda por Javier Sinosiain, México (b) Auditorium por Arq. Mario Moscoso, Bolivia.



Figura 8: Aldea Nizuc (Centro Comercial), Cancún, México

En el 2014, el Polímero Reforzado con Fibras, PRF, material compuesto que no es atacado por la corrosión, se introdujo en Cuba para ser utilizado como refuerzo alternativo del acero en la construcción del Hormigón y el Mortero Armado (mortero reforzado no con acero solamente, como el Ferrocemento), creándose en el CECAT el Grupo de Estudio del PRF en la Construcción, para su aplicación entre otras cosas en el Sistema de Edificios Residenciales de Ferrocemento (SERF), sustituyendo el refuerzo de acero por PRF en los paneles prefabricados, llamados ahora Mortero Armado Prefabricado MAP, por ser su refuerzo diferente al acero. Esto ha relanzado el SERMAP, ahora con PRF como refuerzo para la construcción de viviendas prefabricadas en el País.

**Piscinas y otros depósitos**

En la década del 80, bajo la guía del autor se construyó la primera piscina de ferrocemento en Cuba (Figura 9). La reducción del costo y la mayor facilidad de construcción comparado con las soluciones típicas de hormigón armado dio lugar a que en los siguientes 20 años, más de 40 piscinas de todo tipo se hayan construido con ferrocemento en el país, desde pequeñas hasta 100 $m^2$, hasta Olímpicas 1250 $m^2$, con profundidades hasta 2,20 m y de formas rectas o irregulares, la mayor construida de 2000 $m^2$ de espejo de agua, fue en su momento la mayor a nivel mundial (Figura 9,10).



Figura 9: Piscina Jibacoa 1986 -2024 todavía en uso.



Figura 10: Piscinas de ferrocemento (a) Piscina olímpica de la Universidad Agraria (b) Piscina del hotel Punta Arena, Varadero

Casi todas se han construido con paredes y rigidizadores prefabricadas, pero también hormigonadas en el lugar. En Ecuador el Ing. Jaime Landívar (Figura 11) , y en México se han replicado estas piscinas (Figura 11, Figura 12), pero en este último país, la empresa We Care S.A de Cancún ha construido, bajo la dirección del autor, piscinas de mortero con refuerzo híbrido, el primero colocado mediante equipos de gunitaje, acero y PRFV (MAG, mortero armado gunitado), con resultados muy positivos, algunas de estas piscinas, construidas en los últimos 4 años se han constituido en referencias a nivel mundial, por la economía y durabilidad de las mismas. En el 2002 por primera vez en el mundo se utilizó en Cuba, los PRFV como único refuerzo en el ferrocemento para construir la piscina del actual Hotel Royaltón, en Varadero, provincial de Matanzas y 20 años después la segunda en México en el 2022, piscina Los Cenotes (Figura 13).

La aplicación de las barras de Polímero reforzados con fibras de vidrio y las telas de mallas construidas con fibras de Basalto, en la construcción de piscinas en Cuba, Brasil y México, señalan que el uso de estos novedosos materiales, deben sustituir gradualmente el uso del acero en la construcción de depósitos de agua, sean piscinas, tanques, cisternas etc.



Figura 11: Piscinas de ferrocemento (a) Piscina Guayaquil, Ecuador (b) Piscina The Village en Cancún, México



Figura 12: Piscinas en Grand island, Cancún Quintana Roo, México





Figura 13: Piscinas de mortero armado reforzado con PRF (a) Hotel Royaltón, Varadero (b) Piscina de los Cenotes, Cancún, México.

Por otro lado, en Oaxaca, México, el Ing. Margarito Ortiz, alumno de un curso de Ferrocemento impartido por el autor en esa ciudad en los años 80, ha construido innumerables pantallas de presas, (Figura 14), muy útiles en las áreas agrícolas de Oaxaca, generalmente atacado por graves sequías, lo que permite el almacenamiento de agua en la época de lluvia. Estas pantallas constituyen una especie de pared de piscinas, pero a mucho mayor escala, son hechas hormigonadas en el lugar, pero consideramos pueden ser se mayor calidad y económica si se hicieran prefabricadas.



Figura 14: Pantalla para presa M. Ortiz, Oaxaca, México

Los depósitos de agua construidos con Ferrocemento han sido muy utilizados en América Latina y el Caribe, desde pequeñas capacidades de 1 $m^3$, hasta 2500 $m^3$ (Figura 15), en Cuba, 200-300 en Ecuador y en Brasil como sistemas de tratamiento de aguas (Figura 16), donde el Ingeniero Savio Bonifacio, ha establecido cátedra en Bello Horizonte. En Perú, Bolivia y Colombia, se han utilizado para el almacenamiento de agua para pequeñas comunidades y la agricultura exitosamente, desde hace muchos años.



Figura 15: Depósitos de agua (a) Depósitos prefabricados de pequeña capacidad, La Habana (b) Depósito de gran capacidad, Guantánamo.



Figura 16: Depósitos (a) Depósitos de mediana capacidad, Guayaquil, Ecuador (b) Depósitos para tratamiento de aguas, Belo Horizonte, Brasil.

**Esculturas y mobiliario urbano**

En la década del 90 del pasado siglo, se construyó el Valle de la Prehistoria, donde el escultor Abelardo Moreno, bajo la dirección del General Roberto Valdés, representó a escala natural, los principales animales existentes en la prehistoria, de ahí el nombre del lugar, actualmente este lugar se ha convertido en uno de los principales sitios turísticos de la provincial de Santiago de Cuba, donde se encuentra (Figura 17). Posteriormente otros escultores cubanos, como A. Martel, utilizaron el ferrocemento como material para sus esculturas (Figura 18). Otros artistas han sentado pauta en América Latina utilizando el ferrocemento en sus esculturas y mobiliario urbano como los Arquitectos Mario Moscoso de Bolivia y Javier Senosiain de México, ambos de renombre internacional, que han utilizado en lo que denominan Arquitectura Orgánica el Ferrocemento para crear obras de gran belleza en áreas rurales y urbanas, parques y edificaciones (Figura 18Figura 19Figura 20).



Figura 17: Valle de la Prehistoria, Santiago de Cuba, Cuba



Figura 18: (a) Mujer con espejo. A. Martel, Cuba (b) El Hongo. J. Senosiain, México



Figura 19: (a) Parque acuático por Mario Moscoso, Cochabamba, Bolivia (b) Parque Jurásico por Mario Moscoso, Oruro, Bolivia.



Figura 20: El Pavo Courtesy Savio Bonifacio

**Refuerzo en desarrollo**

La utilización de refuerzo de PRF en su fase actual o de forma tridimensional ya es un hecho. La fábrica de materiales Compuestos de Yaroslavl construye a requerimientos de uno de los autores, el refuerzo tridimensional de los paneles tipo canal, utilizados para la construcción del SERMAP (Figura 36), el que ha sido sometido a ensayos físico-mecánicos en el CECAT, con favorables resultados y que se vislumbra con ser el refuerzo de los elementos prefabricados del futuro.

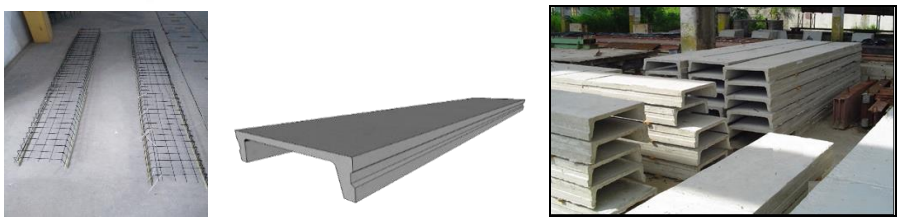


Figura 21: Refuerzo tridimensional de PRFV y el panel prefabricado del SERMAP

## 3. CONCLUSIONES

El Desarrollo del Mortero Armado (Ferrocemento), ahora con garantía de mayor durabilidad por el uso de los PRF, mayor calidad de los materiales en la constitución del mortero y el uso de nuevas tecnologías como la utilización del gunitaje en la colocación del mortero, creando el nuevo MAG y el equipo de molde vibro-compactador deslizante desarrollado en la CUJAE para la construcción de los paneles prefabricados MAP, tiene su futuro asegurado, no solo en Cuba y México, sino en toda América Latina y el Caribe.

## REFERENCIAS

[1] ACI COMMITTEE 549, *Guide for Design, Construction and Repair*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.

[2] ANTOINE E. NAAMAN, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, Techno Press 3000, Ann Harbor Michigan 48105 USA, 2000

[3] ANTOINE E. NAAMAN -*Evolution in Ferrocement and Thin Reinforced Cementitious Composites*., Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Harbor, Michigan,49109-2125, USA, 2009

[4] BALAKRISNA NARAYAN DIVEKAR -*Ferrocrete Technology a Construction Manual*., 1030, Shivajinagar Model Colon, Pune 411016 (Maharasta) India, 2012

[5] INTERNATIONAL FERROCEMENT SOCIETY (IFS 10-01 Ferrocement Model Code, *Building Code Recommendations for Ferrocement*), Reported by IFS committee 10, January 2001

[6] CUBAN CODE NC 2007. Ferrocemento, buenas prácticas. Oficina Nacional de Normalización, Cuba.

[7] HUGO WAINSHTOK RIVAS ET AL, *Calidad y Durabilidad de las Construcciones. El uso de los PRF como refuerzo del Hormigón Armado y el Ferrocemento*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.,2018

[8] HUGO WAINSHTOK RIVAS, *Ferrocemento: Diseño y Construcción*, La Fábrica Comunicación Integral, 4ta Edición, Riobamba, Ecuador, 2010.

[9] ALFONSO OLVERA, *El Ferrocemento y sus aplicaciones*, Instituto Politécnico nacional, México DF, 1995

[10] JAVIER SENOSIAIN AGUILAR, *BIO Arquitectura*, Editorial Limusa S.A de C.N Grupo Noriega Editores, Balderas 95, México, DF. 1998.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL FERROCEMENTO EN LAS COBERTURAS DE VIVIENDAS CON FORMATO HYPAR Y EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

**Sávio Nunes Bonifácio [1], Edna Alves Oliveira [2], Marcelo Lobato Franco[3]**

[1] Minas Gerais Sanitation Company´s Specialist Engineer of the (COPASA / MG), [2] Adjunct Professor at Fumec University, [3]Civil Engineer by Fumec University.
[1]e-mail: savionunesbonifacio61@gmail.com

**RESUMEN**

La tecnología del ferrocemento es conocida por su versatilidad, la reducción de la utilización de recursos, su gran resistencia, la escasa generación de residuos y su practicidad constructiva. Es por lo que la misma es usada frecuentemente para dar solución a problemas sociales relacionados con la vivienda o con el almacenamiento y tratamiento de agua. Las características del ferrocemento y los beneficios antes mencionados hicieron que la Empresa de Agua y Saneamiento del Estado de Minas Gerais (COPASA) en Brasil, construyera, desde 1993, centenas de tanques para el agua potable con un volumen de almacenamiento de, aproximadamente, 200 m³; plantas de tratamiento de agua superficial con capacidad para dar servicio a una población ubicada entre 1.000 y 50.000 habitantes así como también, dicha empresa, construyó plantas de tratamiento de aguas residuales en módulos con un volumen de entre 150 y 400 m³. La tecnología del ferrocemento también ha sido aplicada con éxito en el área de la construcción de viviendas. Este artículo presenta la solución del uso del ferrocemento en las coberturas residenciales con un formato paraboloide hiperbólico o "hypar". Para la ejecución de esta cobertura fueron utilizados materiales locales como la madera del eucalipto y del pino, un tejido plástico negro y también se trabajó con mano de obra local. El ferrocemento fue producido de manera tradicional, o sea, con una armazón de malla de acero soldada, una pantalla hexagonal trenzada y aplicación de mortero con equipo vibratorio en una placa metálica. El espesor final es de alrededor de 3,2 cm. Para evaluar el desempeño mecánico fueran calculadas las tensiones y deformaciones de la cobertura "hypar" utilizándose el método de elementos finitos del programa computacional SAP2000 para compararlas con una solución en hormigón armado. Los resultados mostraron que la cobertura con formato hypar asegura el rendimiento mecánico, y también nos ofrece una bonita forma arquitectónica. Además, es posible transferir a la comunidad esta tecnología constructiva y de esta forma consolidar un conocimiento que por décadas ha sido relegado. Nuevos estudios han desarrollado el confort térmico en construcciones en hypar en condiciones de altas o bajas temperaturas.

**PALABRAS CLAVES:** ferrocemento, cobertura en hypar, paraboloide hiperbólico, tanques de almacenamiento y/o tratamiento de agua.

**ABSTRACT**

The ferrocement construction process is known for its versatility, guarantee of constructions with few material inputs, high resistance, small amount of waste generation and practical execution. It is, consequently, applied to solve social problems, in view of these aspects, the Minas Gerais Sanitation Company (COPASA) has been, since 1993, thousands of water tanks with a volume of around 200 m³, water treatment plants with the capacity of 5 to 150 L/s and sewage treatment plants in modules of 150 to 400 m³ were built. It is also noteworthy that other uses of the ferrocement technique have been analyzed for housing. The purpose of this work is to present the solution of residential roofing in ferrocement with hyperbolic paraboloid format. For the execution of the roof, eucalyptus wood, pine planks and spikes, plastic tarpaulin were used, also local workforce was employed. The ferrocement was armed with welded steel mesh and braided hexagonal mesh and the mortar was applied with a metal plate and motorized vibrators. The final thickness was 3.2 cm. To evaluate the mechanical performance of the construction process, stress and strain analyses were done and then compared with conventional reinforced concrete

roofs. That was possible using the finite elements numerical modeling method in the SAP2000 structure software. These results showed that the hyperbolic paraboloid cover ensures mechanical performance, although it is indeed a beautiful architectural project. With this, it becomes possible to transfer to the community this construction process technology, which is already consolidated in the construction market but relegated to the background in recent decades. Finally, studies are being conducted to test the thermal comfort that the shape of the hyperbolic paraboloid cover presents for high and low temperatures.

**KEY WORDS:** ferrocement, residential roofing with hyperbolic paraboloid format, water tanks, water treatment plants and sewage treatment plants, solving social problems.

## 1. INTRODUCTION

### Objective

To show a study of residential roof in the shape of a hyperbolic paraboloid in ferrocement as an economical, resistant, comfortable, and aesthetic solution.

### Background

### Ferrocement at Minas Gerais Sanitation Company (COPASA)

In the Minas Gerais Sanitation Company (COPASA) has been building water treatment plants and reservoirs at rural sanitation sites since 1993 thousands of water tanks with a volume of around 150 m³ until 500 m³ (Bonifácio, Ferro10, 2012) [1].



*Figure 1. 250L water tank community factory. Source: Photo by the author.*



*Figure 2. Drop-shaped reservoir - Vol. 75 m³ Itaobim - MG, Brazil. Source: Photo by the author.*




*Figure 3. A system to make tank cover that assembly and disassembly with easy operation - Copasa, Brazil. Source: Photo by the author.*



*Figure 4. Water tank volume 500 m³, Copasa, Capelinha MG Brazil, 1998. Source: Photo by the author.*

Water treatment plants (ETA, acronym in Portuguese) with the capacity of 5 to 150 L/s started this project in 1993. Some with different formats and high or low deep using hydraulic conception in classic type, in accordance with NBR 12216 of Brazilian association for technical standards - ABNT [2], in which flash mixing, flocculation, sedimentation and filtration, like sample of Vianna [3].



*Figure 5. Water Treatment Plant cap. 12 Lps, Pingo d'Água - MG Brazil - MG - Brazil, 1995. Source: Photo by the author.*



*Figure 6. Water Treatment Plant cap. 5 Lps, Padre Pinto -MG Brazil, 1998. Source: Photo by the author.*



*Figure 7. Water Treatment Plant cap. 18 Lps, Ipoema- Itabira - MG - Brazil, 2008. Source: ©Roneijober Andrade*



*Figure 8. WTP cap. 150 Lps, Divinópolis MG Brazil, 1998. Source: Photo by the author.*

The compare costs between armed concrete and ferrocement is showed allowed. An example of a table presentation is given in Table 1.

Sewage treatment plants in modules volume of 150 to 400 m³ were built. In this situation the ferrocement were situ in highest aggressive atmosphere with the contact with sulfidic gas (H2S) forming late ettringite. It has resulted a complete demolition of structure of the cement. Sulfur-oxidizing bacteria (Thiobacillus) participate in the biodeterioration mechanism of the WWTP tanks in ferrocement with the production of sulfuric acid that reacts with hydrated compounds of the cement paste (Ribas Silva e Moraes Pinheiro, Ibracon, 2005). [5]

To recover the tank, the contaminated portion of the structure, the entire area above the sewer level (NE) was demolished, and the submerged part was emptied and cleaned. Then the roof in the same project in ferrocement with all hydraulic connections were rebuilt. An internal protection was applied according to technical guidelines, from 50 cm below the NE to the edge of the access hatches. Then, the FRP inspection window covers and pultruded fiberglass guardrails around the cover slab was installed. A new destination for hydrogen sulfide gas was to be burned together with the methane gas formed in the treatment of sewage. (Bonifácio, Quintão, Cardoso, Ferro13, 2021). [6]

Table 1 Service Description and Costs of Water Treatment Plants (ETA, acronym in Portuguese)

| Service Description | ETA 12 L/s | | ETA 24 L/s | |
|---|---|---|---|---|
| | Ferrocement (US$) | Reinforced Concrete (US$) | Ferrocement (US$) | Reinforced Concrete (US$) |
| Earth Moving | 561,11 | 2.954,74 | 1.121,87 | 3.115,55 |
| Foundations and Structure | 37.824,45 | 47.202,97 | 47.411,89 | 66.482,84 |
| Settlements | 2.558,32 | 19.063,89 | 3.841,83 | 18.225,96 |
| Miscellaneous Services | 26.535,58 | 21.512,08 | 31.602,17 | 56.081,29 |
| Materials | 7.289,06 | 61.903,55 | 10.749,95 | 97.181,79 |
| **TOTAL** | **74.768,52** | **152.637,24** | **94.727,71** | **241.087,43** |

*Source: Sidney et all, 2018. [4]*



*Figure 9. Corrosion in the ferrocement structure by gases from sewage treatment. Source: Photo by the author.*



*Figure 10. Scarification on the side of the reactor. Source: Photo by the author.*



*Figure 11. Application of FRP in the gas chamber. Source: Photo by the author.*




*Figure 12. Installation of pultruded fiberglass guardrails around cover slab. Source: Photo by the author.*

**Older roofs**

It is also noteworthy that other uses of the ferrocement technique have been analyzed for housing. Since 1990 the Architect William Ramos Abdalla design a hypar roof on Brasília DF, where the author can approach the technology building own and with local people, see Figure 13. Another experience with hypar in ferrocement in project of Architects Carlos Solano e Cabral in 1992, see Figure 14, where significant interior thermal comfort was observed for the first time.



Figure 13. Residence with ceiling and stained glass in ferrocement (Abdalla, 2003, p. 30) [7].



Figure 14. Hypar ferrocement cover, Itabirito 1992 (Solano, 2020, p.146) [8]

In some hyperbolic ferrocement paraboloid constructions that were executed by the author, he observed that thermal comfort which instigates other studies regarding which inclination of the shell would result in this thermal effect.

The article by architect P. Ambacher in the Journal of Ferrocement, from 1983, describes the construction of low-cost hyperbolic paraboloid roofs that are resistant to earthquakes and hurricanes [9]. Another article in the same edition, by A. Bush, describes types of union between paraboloid ferrocement roofs [10].

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Materials

The construction process adopted for the single-family home was conventional reinforced concrete structural elements and masonry walls with ceramic blocks that had no structural function.
The materials used to make the hyperbolic paraboloid roof are shown below.

- Portland Cement,
- Medium Sand,
- Hexagonal Mesh #12.7mm Ø0.56mm
- Steel welded screen 15 X 15 cm Ø 3.8 mm,
- FRP Screen, as instructed by Professor Wainshtok Rivas [11].

### Numerical Analysis

To evaluate the mechanical performance of the construction process, stress and strain analyses were done and then compared with conventional reinforced concrete roofs. That was possible using the finite elements numerical modeling method in the SAP2000 structure software.

### Execution

The method adopted in the process of executing the roof in the shape of a hyperbolic paraboloid from the architectural design in plan of the single-family home is illustrated in Figures 15 to 22.

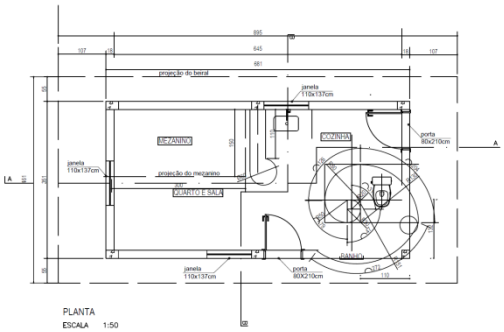



*Figure 15. House plan.*

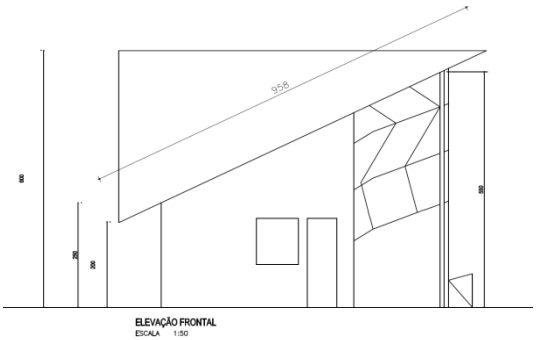



*Figure 16. Front elevation.*



*Figure 17. Wooden mold and plastic canvas.*



*Figure 18. Frame with steel and hexagonal screens.*



*Figure 19. Applying mortar with vibrating plate.*



*Figure 20. Removal of the shoring.*



*Figure 21. Ready-made hyperbolic paraboloid roof.*



*Figure 22. Finals stages of the work.*

## 3. ANALYSIS AND DISCUSSION OF RESULTS

A comparison was made between a conventional reinforced concrete slab roof (12cm thick) and a hyperbolic paraboloid roof. The results, shown in Table 2, indicate lower stresses and consequently lower deformations in the hyperbolic paraboloid roof.

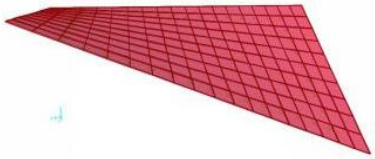


*Figure 23. 3D Hyperbolic Paraboloid Coverage.*

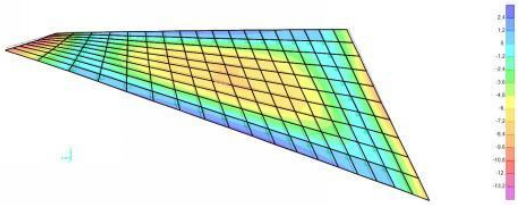


*Figure 24. Displacements in (mm) in hyperbolic paraboloid coverage.*

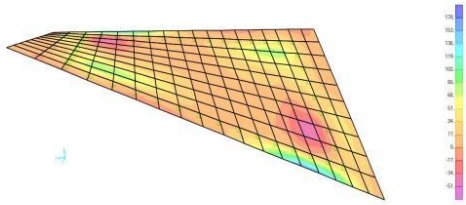


*Figure 25. Maximum Normal Effort Hyperbolic Paraboloid Coverage in Kg/cm2.*

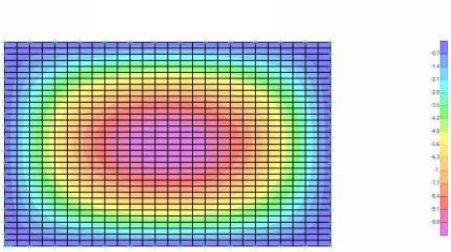


*Figure 26. Reinforced Concert Slab - Displacements in (mm).*

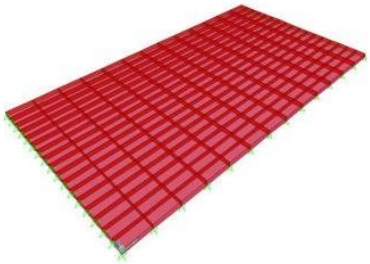


*Figure 27. View Solid reinforced concrete slab 12 cm thickness.*

It was observed that the hyperbolic paraboloid cover presents mechanical performance compatible with requirements of technical standards and a proven reduction in material consumption when compared to traditional covers (see Tables 2 and 3).

Table 2: Comparative table stress and strain analyses.

| | **reinforced concrete slab 12 cm** | **Hypar roof in ferrocement** |
|---|---|---|
| Over shell and CA slab only own weight and excess weight of 100 kg/m$^2$ | | |
| Strain (mm) | **10.39mm** | **7.13mm** |
| Max moment (kgxm) | **824 kgxm** | **20kgxm** |
| Normal Force (kg/cm) | **0** | **41kg/cm** |
| Steel mesh (cm$^2$/ml) | **2.1 cm$^2$/ml** | |

Source: Authors research.

Table 3: Comparative table – Materials Costs.

| | **reinforced concrete slab** | **Hypar roof on ferrocement** | |
|---|---|---|---|
| Minimum frame of 2.66 cm2/ml – 100 rods of 5.0mm$^2$ | $449.22 | $383.77 | Steel mesh 15X15cm – 3.8mm + Hexagonal Screen ½”X24 |
| Machined Concrete | $331.54 | $140.20 | Portland Cement |

| | | | |
|---|---|---|---|
| (4.85 m3) 20 MPa | | | + washed medium sand |
| Wooden mold 10 (17 pieces + struts) | $312.50 | $110.19 | Eucalyptus 6m + Pinus Pontalete 6x6 + Nails and wires |
| Labor (shipbuilder, carpenter) | | | Ferrocement workforce (in training) |
| Total | $1,093.26 | $634.16 | |
| **Percentage saving** | | **28%** | |

Source: Authors research.

There developed a study with the costs of conventional slab of reinforced concrete and the Hypar roof on ferrocement, that shown the results in Table 3. As a result, the cost of material is reduced by 28% when constructing the roof in the shape of a hyperbolic paraboloid compared to a conventional slab.

In the Ferrocement Project at the Federal University of Ceará – UFC [12], Professor Alexandre Diógenes highlights that in addition to saving financial investments the ferrocement structure reduces the amount of material used, as shown in Table 4.

Table 4: Material Amount Used by Weight.

| **Description** | **reinforced concrete slab** | **Hypar roof on ferrocement** |
|---|---|---|
| | **(kg)** | **(kg)** |
| Cement CP III 32 RS | 1,485.34 | 1,076.56 |
| Steel Ø 3.8 mm | - | 69.88 |
| 3 layers Hexagonal Mesh #12.7mm Ø0.56mm | - | 55.10 |
| Galvanized wire Ø 1.25 mm | - | 2.6 |
| Medium Sand | 4,456.03 | 2,720.26 |
| Crushed rock | 1,160.00 | - |
| Steel Ø 5.0 mm | 183.78 | - |
| Annealed Wire Ø 1.25 mm | 3.0 | |
| Water | 995.18 | 595.11 |
| TOTAL | 8,280.33 | 4,516.51 |
| | **Saving Weight** | **45%** |

Source: Authors research.

The 45% reduction in the mass of materials used in the construction of a shell roof in the shape of a hyperbolic paraboloid is also important for saving human effort to execute it.

## 4. CONCLUSIONS

These results showed that the hyperbolic paraboloid cover ensures mechanical performance and contributes both to the economy and to the reduction of raw material extraction, thus reducing environmental impacts and consequently increasing competitiveness in the construction sector. It is relevant to consider that it is not just about aesthetics, although it is indeed a beautiful architectural project.

With this, it becomes possible to transfer to the community by all social strata this construction process technology, which is already consolidated in the construction market but relegated to the background in recent decades.

Among the typical applications described by Naaman [13], the roof in hyperbolic paraboloid shaped belongs to the origin of ferrocement.

Finally, the construction of this hyperbolic paraboloid shell cover in ferrocement opens lines of research for the thermal comfort recorded, to test different slopes, the possibility of using natural fibers and the use of polystyrene pearls as a partial substitute for sand, makes the process sustainable.

**REFERENCES**

1. BONIFÁCIO, Sávio Nunes, 'The revolutionary use of ferrocement in the construction of water tanks, water and sewage treatment plants in the state of Minas Gerais - Brazil', Proceedings of an Ferro 10, La Habana, Cuba, September 2012.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 'NBR 12216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento', ABNT Rio de Janeiro, 1992.
3. VIANNA, Marcos Rocha; Bonifácio, Sávio Nunes; Bloom Consultoria Ltda., 'Potable water treatment plants using ferrocement as constuctive material: hydraulic conception aspects.' In: Proceedings of 12th International Symposium on Ferrocement and Thin Cement Composites - Ferro12, International Ferrocement Society – IFS, Belo Horizonte, Brazil, July 2018.
4. SIDNEY, Eugênio Luiz; SILVA, Fernando de Oliveira; MOREIRA, Caio Augusto Ribeiro; BONIFÁCIO, Sávio Nunes. 'Financial feasibility study on construction of water treatment plant with ferrocement structure and other'. Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), In: Proceedings of 12th International Symposium on Ferrocement and Thin Cement Composites - Ferro12, International Ferrocement Society – IFS, Belo Horizonte, Brazil, July 2018.
5. RIBAS SILVA, M; MORAES PINHEIRO, S.M.; 'Biodeterioração do concreto'. In: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. Ibracon, 2005.
BONIFÁCIO, Sávio Nunes; Quintão, Cristiano Martins; Cardoso, Frieda Keifer; 'Building, fallen down and recovery of tanks of ferrocement in sewage treatment plants'. In: Proceedings of 13th International Symposium on Ferrocement and Thin Cement Composites - Ferro13, International Ferrocement Society – IFS, Lyon, France, 2021.
6. ABDALLA, William Ramos. 'A arquitetura do pensar'. Brazil Publishing: Curitiba, PR, Brasil, 2018. ISBN 978-85-68419-59-5
SOLANO, Carlos. 'Casa nossa de cada dia'. Ed. Lazlo: Belo Horizonte - MG- Brasil, 2016. ISBN 978-85-5754-004-0
7. AMBACHER, P., 'Framed Ferrocement', In 'International Ferrocement Information Center - IFIC', Journal of ferrocement, ISSN-0125 1759, Vol. 13, No. 1, January 1983, Bangkok, Thailand, January 1983, p. 83-85.
8. BUSH, A., 'Construction Modules for Roofs and Walls', In 'International Ferrocement Information Center - IFIC', Journal of ferrocement, ISSN-0125 1759, Vol. 13, No. 1, January 1983, Bangkok, Thailand, January 1983, p. 69-72.
9. WAINSHTOK RIVAS, Hugo; Hernández Caneiro, Julio A.; Díaz Pérez, Isel del Carmen. 'Calidad y durabilidade de las construcciones - El uso de los PRF como refuerzo del hormigón armado y el ferrocemento'. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría CUJAE; Universitat Politècnica de València: En Valencia para La Habana, diciembre de 2017. ISBN 978-84-17098-39-1
10. Universidade Federal do Ceará – UFC; Centro de tecnologia. 'Projeto Ferrocimento'. Boletim trimestral – Nº 14 – abril, maio, junho / 86. Coordenação: Alexandre Diógenes. UFC: Fortaleza – Ceará – Brasil, 1986.
11. NAAMAN, Antoine E. 'Ferrocement and thin reinforced cement composites: five decades of progress' In: Proceedings of 12th International Symposium on Ferrocement and Thin Cement Composites - Ferro12, International Ferrocement Society – IFS, Belo Horizonte, Brazil, July 2018.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LA FISURACIÓN EN LOSA CANAL DE MORTERO ARMADO PARA USO EN ENTREPISOS DE VIVIENDA.

**Ing. Gabriel Martínez Licea[1], Dr. Hugo Wainshtok Rivas[2], Dra. Isel del Carmen Díaz[3]**

1Instructor, Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail gamarlic2709@gmail.com; 2Profesor Emérito Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail hugorwr@gmail.com, hugow@tersla.cujae.edu.cu; 3Profesora Auxiliar, Universidad Tecnológica de La Habana, email iseldiaz77@gmail.com

**RESUMEN**

La importancia del criterio de fisuración en los materiales cementicios o mortero armado, unido al escaso estudio experimental de elementos laminares de sección transversal canal reforzados con barras y malla(s) de alambres de acero, evidencian la necesidad de realizar más investigaciones en este sentido. Así mismo, no se ha identificado un estudio sobre la selección óptima de la disposición del refuerzo con malla(s), en función de garantizar el cumplimiento del estado límite de fisuración, lo cual es el propósito de este trabajo para el caso de uso en entrepisos de viviendas. Para la obtención de la abertura máxima de fisura se emplea la expresión semiempírica desarrollada por Desayi y Ganesan, válida para los elementos objetivo de estudio, y su resistencia a flexión se estima a partir de un modelo computacional calibrado con los ensayos experimentales realizados por estos investigadores. Los resultados demuestran que si no se usa(n) malla(s) para el refuerzo de los elementos, este no cumple con el ancho máximo de fisura permisible indicado por el American Concrete Institute ACI 549 1R-18, y por tanto no se asegura su durabilidad. Además, se recomiendan valores mínimos de superficie específica y factor de volumen que debe(n) garantizar la(s) malla(s) para el refuerzo de los elementos de entrepisos con las características analizadas.

**PALABRAS CLAVES:** Fisuración, mallas de acero, mortero armado, sección canal.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRA EN EL RENDIMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL

**Mirell G. Piloto Torres[1], Camila Aldereguía Sánchez[1,2,] Alberto Gutiérrez de la Rosa[1], Ingrid Fernández Lorenzo[1], Vivian Beatriz Elena Parnás[1]**

[1]Technological University of Havana "Jose A. Echevarría" CUJAE, Calle 114 entre Rotonda y Ciclovía, Marianao, Havana, Cuba
[2] University of Genoa (DICCA), Via Montallegro 1, 16145 Genoa, Italy
ingridfl86@gmail.com

**RESUMEN**

Resumen. La velocidad básica del viento influye en gran medida en la determinación de la carga del viento sobre las estructuras. Es necesario un análisis estadístico de los datos pasados de velocidad del viento recopilados mediante instrumentos para determinar su valor. La distribución de Gumbel se utiliza comúnmente para modelar velocidades extremas del viento, la cual está determinada por dos parámetros (α, β). Se pueden utilizar varias técnicas para calcular ambos factores, lo que puede tener un impacto significativo en el ajuste de la distribución. El presente estudio busca evaluar cómo el tamaño de la muestra afecta la bondad de ajuste proporcionada por cinco métodos: LS, BLUE, MOM, PWM y ML. Además, determinar qué técnicas proporcionan resultados superiores para conjuntos de datos de distintos tamaños. Las técnicas se evalúan utilizando datos creados al azar y se comparan según el sesgo, el error cuadrático medio y los criterios de deficiencia conjunta. Para lograr este objetivo se utiliza la Técnica Monte Carlo, considerando tamaños de muestra que oscilan entre 10 y 30 datos y entre 140 y 300 datos. Luego, las técnicas se utilizan con datos recopilados de dos estaciones meteorológicas en Cuba y los hallazgos se comparan con las velocidades encontradas en investigaciones anteriores. Los hallazgos indican que el tamaño de la muestra no es el único factor que afecta el desempeño de los métodos en un conjunto de datos en particular.

**PALABRAS CLAVE:** Métodos de estimación, vientos extremos, distribución de Gumbel

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PISCINAS DE MORTERO ARMADO: 40 AÑOS DE DESARROLLO

**Dr. Hugo Wainshtok Rivas[1], Ing. Gabriel Martínez Licea[2], Dra. Isel del Carmen Díaz[3]**

1Profesor Emérito Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail hugorwr@gmail.com , hugow@tesla.cujae.edu.cu; 2Instructor, Universidad Tecnológica de La Habana, e-mail gamarlic2709@gmail.com; 3Profesor Titular, Universidad Tecnológica de La Habana, email iseldiaz77@gmail.com

**RESUMEN**

En 1985 se construyó en Cuba la primera piscina de Ferrocemento, en el lugar conocido como Playa Jibacoa, cerca de Santa Cruz del Norte, actual provincia de Mayabeque, y a partir de entonces más de 40 piscinas de diferentes tipos y tamaños se construyeron en Cuba con esta tecnología hasta la década del 90, el hecho de que no se produjera la tela de mallas de acero en Cuba y de que la importación de esta cesara, la construcción de piscinas de ferrocemento se paralizó en el país desde 1993. En el 2002, se proyectó y construyó en el actual Hotel Royaltón, en las playas de Varadero, provincia de Matanzas, una nueva piscina, la que por problemas técnicos no se realizó con telas de mallas de acero, sino utilizando por primera vez en el mundo, telas de mallas de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio PRFV, lo que constituyó la primera experiencia en Cuba en el uso de este refuerzo. El presente trabajo trata del resurgimiento de la construcción de piscinas, ahora bajo el nombre de Mortero Armado Gunitado (MAG), utilizando barras y telas de mallas de acero y también barras y telas de mallas de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFV) y Basalto (PRFB).

**PALABRAS CLAVES:** piscinas, ferrocemento, PRF, gunite, telas de mallas.

# REINFORCED MORTAR POOLS: 40 YEARS OF DEVELOPMENT

**ABSTRACT**

In 1985, the first Ferrocement pool was built in Cuba, in a place known as Playa Jibacoa, near Santa Cruz del Norte, current province of Mayabeque, and since then more than 40 pools of different types and sizes have been built in Cuba with this technology until the 1990s, the fact that steel mesh fabric was not produced in Cuba and that its importation ceased, the construction of ferrocement pools was paralyzed in the country since 1993. In 2002, a new swimming pool was projected and built in the current Hotel Royaltón, on the beaches of Varadero, province of Matanzas, which due to technical problems was not made with steel mesh fabrics, but instead used, for the first time in the world, mesh fabrics, GFRP, Glass Fiber Reinforced Polymer Meshes. The work deals with the resurgence of the construction of swimming pools, now under the name of Gunite Reinforced Mortar (MAG), using bars and mesh fabrics of steel and also bars and mesh fabrics of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) and Basalt. (BFRP)

**KEY WORDS:** pools, ferrocement, FRP, gunit, steel-mesh

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso del ferrocemento, definido como una lámina delgada de mortero hidráulico reforzado con telas de mallas de alambre de pequeño diámetro, distribuidas en toda la sección transversal del elemento Figura.1 patentado por Josep Monier en 1848, bajo el nombre de Ferciment y desarrollado por el ing. Arq. italiano Pier Luigi Nervi en la década del 40 del pasado siglo, fue utilizado para la construcción de piscinas por primera vez por el Profesor Ing. Lafael Petroni del llamado grupo de Sao Carlos de la Universidad de igual nombre en Brasil , al que también pertenecía entre otros el ing. Joao Bento de Hanai [1]. En el Primer Simposio Internacional del Ferrocemento efectuado en Bérgamo, Italia, en honor al centenario de Nervi [2], al que asistió el autor de este trabajo, fue presentado por Petroni, la experiencia brasileña en la construcción de piscinas utilizando el Ferrocemento, este hecho marcó el interés del autor , el que hasta ese momento había utilizado el Ferrocemento en la construcción de barcos de pesca, sobre lo cual versó

su presentación en el evento y comenzaba a utilizarlo en la construcción de viviendas y obras esculturales. La primera piscina, bajo la dirección del que suscribe, se realizó como ya se mencionó en el centro turístico de Jibacoa, provincia de Mayabeque, Cuba, la que se diseñó semisoterrada y con las paredes prefabricadas, hay que señalar que después de casi 40 años todavía está en explotación. Figura. 2

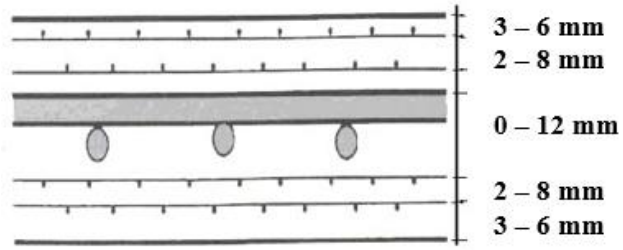



Figura. 1: Sección del Ferrocemento: espesor de 2 a 5 cm



Figura. 2: Piscina de Jibacoa

A partir de ese momento, bajo la dirección del autor decenas de piscinas, de diferentes formas, prefabricadas o no, soterradas, semisoterradas o sobre el terreno, se construyeron en Cuba, sobresaliendo entre ellas, una piscina olímpica y la mayor construida en ese momento en el mundo de Ferrocemento, de 2000 $m^2$ de espejo de agua en la ya mencionada playa de Varadero, entre los hoteles Punta Arenas y Paradiso (actualmente llamado Punta Hicacos) Figura. 3. Esta última se diseñó para ser construida utilizando un equipo de lanzamiento del mortero a presión, conocido como gunitaje (gun it), y un encofrado de madera de 30 m de longitud, que se desplazaría según avanzara la obra. Figura. 4. Por problemas técnicos el mortero tuvo que ser colocado a mano, lo que no impidió que la piscina fuera un hito de ese tipo de obra no solo en Cuba sino en América latina y por qué no en el mundo [2].



Figura. 3: Piscina hotel Punta Arenas-Paradiso



Figura. 4: Encofrado de madera de la piscina

## 2. EL USO DE LOS PRF EN LAS PISCINAS.

**Los materiales compuestos**

En los últimos años, la lucha contra la corrosión del acero, la mayor causa de destrucción de obras de hormigón armado obligó a cambiar el modo de tratar de eliminar este flagelo y en lugar de utilizar y profundizar en los métodos que limitaban o retrasaban la corrosión, se estableció que lo mejor era buscar materiales que no fueran atacados por la corrosión, de ahí surgieron los materiales compuestos, especialmente los Polímeros Reforzados con Fibras, PRF. Estos materiales están formados por fibras, usualmente de Carbono (PRFC), Basalto (PRFB), Aramida (PRFA) o Vidrio (PRFV), que proporcionan la resistencia, y resinas epóxicas, vinílicas y poliéster, que protegen y agrupan a las fibras [3], dando a los elementos compuestos forma de barras, mallas, perfiles entre otras, Figura 5.



a) b)

Figura.5: Polímeros reforzados con fibras. a) Barras de PRFV. b) telas de mallas de PRFB

Los PRF, además de no oxidarse, son más resistentes a la tracción que el acero, pesan entre 4 y 6 veces menos, son antimagnéticos y no trasmiten la electricidad ni el calor. Otra de sus ventajas es que pueden construirse prácticamente de cualquier diámetro y en forma de tela de mallas, por lo que son apropiados para ser utilizados en sustitución del refuerzo de acero utilizado tanto en el hormigón como en el ferrocemento, que por ser una lámina de pequeño espesor, entre 2 y 5 cm, obliga al empleo de diámetros muy pequeños en el refuerzo de 0,8 a 1,2mm. Además, los PRF son el material ideal para sustituir el refuerzo de acero en elementos de ferrocemento ya que el pequeño recubrimiento del refuerzo en estas secciones, generalmente de 3 a 6 mm, ha constituido la causa fundamental de su destrucción a pesar de no tener lugar el agrietamiento que facilita la corrosión del acero [4].

**Los PRF utilizados en las piscinas.**

Dos parámetros fundamentales rigen el diseño del Ferrocemento utilizado en las piscinas para garantizar su impermeabilidad y resistencia, la superficie específica S, que es la relación entre la superficie del refuerzo en contacto con el mortero y la unidad de volumen del mismo, y el factor de volumen, Vf, relación entre el volumen del refuerzo por unidad de volumen del mortero. En dependencia del valor alcanzado por estos parámetros puede asegurarse que se cumplen las características físico-mecánicas de este material, a saber: resistencia, impermeabilidad, homogeneidad y elasticidad, factores que permiten su aplicación en obras de paredes delgadas y cualquier forma, especialmente donde la impermeabilidad sea fundamental como los depósitos de líquidos, piscinas, barcos, etc.

Al igual que con barras y telas de mallas de alambres de acero como refuerzo se lograban cumplimentar estos parámetros en el Ferrocemento, ahora pueden lograrse también en láminas de pequeño espesor de mortero, utilizando como refuerzo las barras y telas de mallas de pequeño diámetro de PRF o con refuerzo híbrido, barras de PRF y telas de mallas de acero normal o galvanizado, esto último para evitar en lo posible la corrosión. Dado que el ferrocemento debía su nombre al acero, que conformaba su refuerzo, y ahora este puede ser de PRF, se prefiere generalizar el nombre de estos elementos a Mortero Armado, diferenciando según el refuerzo utilizado, acero o PRF.

## 3. EL MORTERO ARMADO GUNITADO (MAG) EN LAS PISCINAS

### 3.1-Antecedentes

El desarrollo tecnológico de la construcción va enfocado a una mayor economía en las obras, tanto por el uso de materiales de mayores prestaciones, como por la mayor rapidez en la construcción y mayor durabilidad de estas. Estos aspectos se logran hoy en día en la construcción de piscinas con un mortero de altas prestaciones, su colocación mediante equipos de proyección Gun-it y la utilización como refuerzo de los PRF o híbrido. Si bien en 1994 para la construcción de la piscina del hotel Pasacaballos en Cienfuegos, Cuba (Figura. 6) se colocó el mortero mediante equipos de proyección, y en el 2002 en la piscina del hotel Royaltón, en Varadero (Figura.7) se utilizaron como refuerzo los PRFV, no fue hasta el 2022, que se utilizó el MAG (Mortero Armado con PRF y Gunitado) en la construcción de piscinas en el mundo. En este resultado tuvo mucho que ver la empresa We Care, radicada en Cancún, estado de Quintana Roo, México.



Figura. 6: Piscina hotel Pasacaballos, Cienfuegos



Figura.7: Piscina Hotel Royaltón, Varadero

**3.2-Piscina experimental**

En el año 2021, el Lic. Ernesto Ogando, director de la empresa We Care, localizó en Cuba al autor y dado su experiencia para la fabricación de piscinas de hormigón armado y su disposición de aplicar nuevas tecnologías con este propósito, suscitó el interés de éste. De ese encuentro surgió la idea de construir de forma experimental en Cancún, México, una primera piscina, que sirviera como prototipo y ayudara a la formación del personal de la empresa We Care, hasta ese momento dedicada a la construcción de obras de hormigón armado, en el uso del Ferrocemento.

Hay que señalar que, en Cuba, no se habían construido piscinas de Ferrocemento en los últimos 20 años, y que el autor llevaba varios años estudiando los PRF para su uso en las construcciones, ya que vislumbraba que este nuevo tipo de refuerzo sería de gran utilidad para Cuba, dado su condición de país tropical con un agresivo medio ambiente, lo que ocasionaba por la corrosión del acero una baja durabilidad en las construcciones. De igual forma consideraba que el uso de las ya conocidas barras y telas de mallas de PRF eran el refuerzo ideal para las piscinas. Ya existía en Cuba el conocimiento y alguna experiencia en el uso de las barras y telas de mallas de PRF en la construcción y reparación de algunas obras y su uso en piscinas con notables resultados, por lo que la posibilidad de hacer una piscina experimental con MAG, le resultó inestimable.

Así en el 2021, la empresa We Care, comenzó la construcción de la primera piscina de Ferrocemento en México, como preparación y paso previo a construir una piscina utilizando como refuerzo los PRF. Hay que señalar que dado la pandemia de la COVID 19, la orientación para la construcción no se pudo realizar de forma presencial y se realizó mediante las nuevas TIC. Después de varios meses de tropiezos e incertidumbre, se concluyó de forma exitosa la piscina, llamada The Village (Figura. 8).



Figura. 8: Piscina The Village, Corasol, Playa del Carmen, Quintana Roo, México.

La construcción de esta piscina resultó un 40 % más económica en el costo total previsto inicialmente con reducciones considerables en el uso del cemento y en el tiempo de ejecución. La prueba de agua a los 5 días de terminada mostró una total impermeabilidad y resistencia, garantizándose una durabilidad igual o superior a las de hormigón armado.

**3.3-Primera piscina de MAG a nivel mundial con refuerzo de PRF**

A finales de 2021, después de disponer de los materiales necesarios, barras de PRFV y telas de mallas de PRFB, importadas directamente de la fábrica de Materiales Compuestos de Yaroslavl, Rusia, We Care comenzó la construcción de las piscinas los Cenotes, primeras a construir en el mundo utilizando como refuerzo los PRF, conocidas por ese nombre por su ubicación y forma de gruta de piedra. Las piscinas de pequeña dimensión y forma casi circular, se construyeron con una parte de la pared integrada en un muro de piedra existente y la otra utilizando un molde de madera, que se apoyaba en contrafuertes de Mortero Armado reforzado con PRF, prefabricados previamente y que sirvieron de soporte para el refuerzo de PRF en la pared y el ya mencionado molde de madera (Figura. 9).

La inexperiencia inicial del jefe de la obra y los obreros, lo que era de esperarse, hizo que se presentaran algunas dificultades en la preparación del refuerzo de PRF y durante la colocación del mortero mediante equipos de lanzado a presión, que dadas las ventajas de este tipo de construcción pudieron ser resueltas a pie de obra sin detrimento de la calidad final de la piscina. La construcción de las 3 piscinas, similares en dimensiones y todas construidas sobre el terreno, fue totalmente exitosa, lográndose todos los objetivos previstos en piscinas turísticas, en este caso para un complejo de hoteles y la complacencia total del cliente.




a) b)

Figura. 9- Piscina Los Cenotes. a) En construcción. b) Terminada
Cenotes del hotel Secrets Moxche, Corasol, Playa del Carmen, Quintana Roo, México.

Las piscinas de los Cenotes construida totalmente con PRF demostró una vez más la facilidad de construcción y excelentes resultados finales en cuanto impermeabilidad y resistencia, así como similar disminución en el costo total a The Village. Sin embargo, el utilizar como refuerzo los PRF, que no se oxidan, garantiza al menos 2 a 3 veces mayor durabilidad que las construidas con acero.

3.4-**Piscinas con refuerzo híbrido**

Dado la dificultad que puede generar la obtención de la tela de malla de PRFB (Polímero Reforzado con Fibras de Basalto), se aplicó por We Care bajo la dirección del autor la construcción de piscinas reforzadas con barras de PRFV y utilizando tela de mallas de acero galvanizado, con alambres de pequeño calibre y espaciamiento, siempre garantizando que se cumplieran los parámetros señalados de S y $V_f$, para lograr un material que puede considerarse homogéneo y elástico.
Los resultados obtenidos han sido extraordinarios, We Care se ha convertido en una empresa referente para la construcción de piscinas con MAG (Mortero Armado Gunitado). Las piscinas construidas en la magna obra hotelera más grande de los últimos 20 años en el caribe mexicano, el complejo hotelero

Grand Island, el complejo residencial de alto lujo Corasol y el complejo residencial Navela así lo atestiguan (Figuras 10, 11 y 12)



Figura. 10 –Piscina en complejo hotelero Grand Island, Zona Hotelera, Cancún, Quintana Roo, México.



Figura. 11 –Piscina en complejo residencial Costa Beach Club, Corasol, Playa del Carmen, Quintana Roo, México.



Figura. 12-Piscina en Residencial Navela, Telchac Puerto, Yucatán, México.

## 4. CONCLUSIONES

Los resultados económicos y estéticos logrados en las primeras piscinas construidas en México utilizando el MAG, resultaron realmente alentadores, demostrando la factibilidad y beneficio del empleo de este material para este tipo de estructuras, en particular cuando se emplean refuerzos de PRF.

Las piscinas construidas con refuerzo híbrido demostraron una mayor rapidez de ejecución y una calidad que garantiza una alta durabilidad, con significativas ventajas sobre las construidas con otros materiales.

## REFERENCIAS

[1] WAINSHTOK Hugo, *Ferrocemento. Diseño y Construcción*, 4ta Edición ed. Riobamba Ecuador,2010, pp. 351 ISBN 978-994-203-302-4.

[2] NAAMAN Antoine, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* Ann Arbor Michigan, 2000, pp. 372 ISBN 0-9674939-0-0.

[3] A. Nanni, A. D. Luca, and H. J. Zadeh, *Reinforced Concrete with FRP Bars*. USA, 2014, p. 406 ISBN 9780367864996.

[4] H. R. Wainshtok R, J. A. Hernández C., and I. Díaz P., *Calidad y Durabilidad de las Construcciones. El Uso de los PRF como como Refuerzo del Hormigón Armado y el Ferrocemento.* Cuba, 2017, pp. 206 ISBN 978-959-261505-2.

[5] Reportes fotográficos de Obras We Care. *We Care Construcción Inteligente. Cancún, Quintana Roo, México.*

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MOTOR LOBBY DEL APARTHOTEL HAVANA BEACH.

**Ing. Sergio Rubén Medina Martínez[1], MSc. Ing. Mercedes Cid Martínez [2], Dra. Ing. Isel del Carmen Díaz Pérez [3]**

[1]Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de La Habana EPROB, Calle Goss 677 entre Amado y Aranguren, Diez de Octubre, La Habana, Cuba.
[2]Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de La Habana EPROB, Calle Goss 677 entre Amado y Aranguren, Diez de Octubre, La Habana, Cuba.
[3]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: serginhomedina99@gmail.com
[2]e-mail: mcidm@gmail.com
[3]e-mail: iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El ferrocemento es un material que destaca por las múltiples ventajas que posee, destacándose su facilidad para adoptar geometrías complejas, menores espesores, mayor resistencia a la tracción y consecuentemente, menor agrietamiento que el hormigón armado. La inclusión de refuerzo en forma de mallas o barras de polímero reforzado con fibras, cuyo objetivo fundamental es aumentar la durabilidad de las estructuras, lo convierte en un material competitivo (mortero armado) y una solución idónea para estructuras con geometrías complejas y ubicadas en zonas de elevada agresividad. Este trabajo tiene el objetivo de presentar la concepción estructural, modelación, análisis y diseño del Motor-Lobby de un Aparthotel ubicado en Habana del Este, La Habana y cuya geometría se caracteriza por ser de superficie única curva y continua. Para la modelación se empleó el programa MIDAS FEA NX 22 y el diseño se realizó en cumplimiento de lo que establecen las normas ACI-440 (2022) y Ferrocement Model Code (2001).

**PALABRAS CLAVES:** ferrocemento, losa de lámina delgada, mortero armado, refuerzo PRFV.

## ANALYSIS AND DESIGN OF THE HAVANA BEACH APARTHOTEL'S MOTOR LOBBY.

## ABSTRACT

Ferrocement is a material that stands out for its many advantages, including its ease of adopting complex geometries, smaller thicknesses, greater tensile strength and, consequently, less cracking than reinforced concrete. The inclusion of reinforcement in the form of fiber-reinforced polymer meshes or bars, whose fundamental objective is to increase the durability of structures, makes it a competitive material (reinforced mortar) and an ideal solution for structures with complex geometries and located in highly aggressive areas. This work aims to present the structural conception, modeling, analysis and design of the Motor-Lobby of an Aparthotel located in Habana del Este, Havana and whose geometry is characterized by a single curved and continuous surface. For modeling, the MIDAS FEA NX 22 program was used and the design was carried out in compliance with the provisions of the ACI-440 (2022) and Ferrocement Model Code (2001) standards.

**KEY WORDS:** ferrocement, thin-sheet slab, reinforced mortar, GFRP reinforcement.

## 1. INTRODUCCIÓN:

En los últimos años se ha vivido un avance constructivo en el sector hotelero en Cuba que ha permitido dar respuesta a la política de desarrollo del país y al programa de inversiones del sector del turismo. Este desarrollo ha traído consigo la necesidad de procurar diseños más competitivos en términos de arquitectura, materiales, economía y durabilidad, lo cual puede generar consideraciones adicionales en la modelación, el análisis y el diseño estructural. Hasta la fecha se han construido numerosos hoteles y existen otros que se

encuentran en fase de anteproyecto, como es el caso del Aparthotel Havana Beach, el cual estará ubicado en el polo turístico Playa Santa María (Habana del Este).

El hotel se compone de un edificio principal en un bloque de 7 pisos de altura, con un basamento compuesto por el Lobby y Motor-lobby, destacando la losa curva de geometría atípica de esta última estructura (Figura 1).



Figura 1: Estructura de la instalación.[1]

Teniendo en cuenta la complejidad de la geometría del Motor- Lobby, así como las dimensiones que este alcanza, se propone para su construcción el empleo del ferrocemento, material constituido por una lámina delgada de mortero hidráulico reforzado con telas de mallas de alambre de pequeño diámetro, distribuidas en toda la sección transversal del elemento, y que destaca por las múltiples ventajas que posee, entre las que se encuentran su facilidad para adoptar geometrías complejas, menores espesores, mayor resistencia a la tracción y consecuentemente, menor agrietamiento que el hormigón armado [2].

Sin embargo, una de los mayores problemas que presenta es la corrosión del refuerzo de acero, lo cual se puede encontrar más comprometido en esta estructura por la cercanía de la misma al mar. Por esta razón se decide emplear como refuerzo polímeros reforzados con fibras (PRF), la elevada resistencia a la tracción, su ligero peso y su capacidad de no corroerse son algunas de las ventajas que ofrecen, siendo esta última una de las más importantes, puesto que garantiza una mayor durabilidad para las construcciones. Además, pueden construirse prácticamente de cualquier diámetro y en forma de tela de mallas, por lo que son apropiados para ser utilizados en sustitución del refuerzo de acero en el ferrocemento, que por ser una lámina de pequeño espesor, entre 2 y 5 cm, obliga al empleo de diámetros muy pequeños en el refuerzo de 0,8 a 1,2 mm [3].

El uso de PRF como refuerzo del ferrocemento en forma de telas de mallas y barras o mediante la combinación de barras de PRFV y telas de mallas de acero galvanizado ha permitido hablar en la actualidad de un nuevo material, el Mortero Armado, el cual asegura mayor durabilidad por el uso de los PRF.

La forma y dimensiones de la estructura y las cargas asociadas a la misma, en especial la carga de viento, conducen a la necesidad de realizar el análisis mediante el empleo de la modelación computacional con el Método de los Elementos Finitos (MEF) procurando resultados de una forma más exacta y rápida. En el presente trabajo se presenta la modelación de la estructura mediante el software MIDAS FEA NX 2022, así como el análisis del comportamiento de la misma y el diseño estructural de los elementos que la componen.

## 2. MODELACIÓN COMPUTACIONAL.

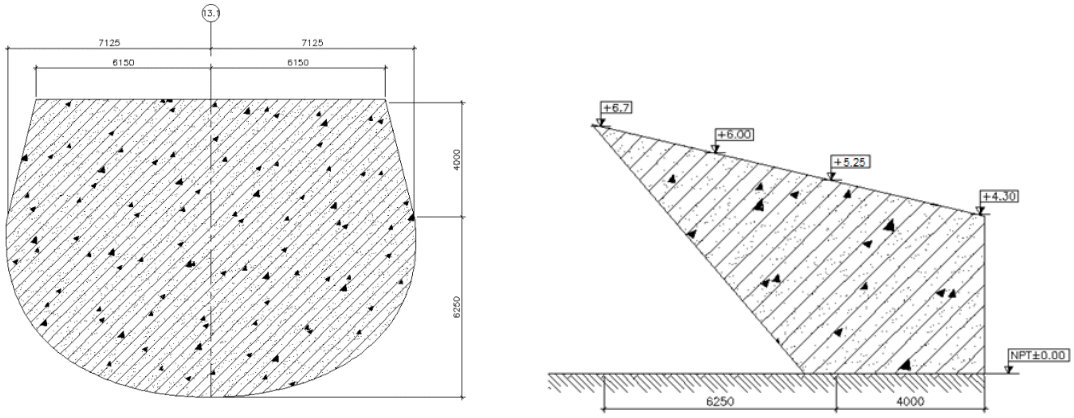
El proceso de modelación fue desarrollado con el empleo del programa MIDAS FEA NX. La geometría de la losa fue representada en AUTOCAD 3D y exportada para el posterior trabajo en MIDAS.

**Geometría.**

La volumetría del elemento se caracteriza por ser de superficie única curva y continua, abarcando luces máximas en planta de 14,25 m en su eje mayor y 10,25 m en su eje menor, de los cuales, 4,0 m se encuentran apoyados y el resto en voladizo. La cáscara en el extremo libre del vuelo se eleva 6,7 m sobre el nivel del piso terminado, disminuyendo linealmente hasta el fondo de altura 4,3 m (Figuras 1 y 2).



Figura 1: Perspectiva del motor-lobby [1]




a) b)

Figura 2: Geometría del motor-lobby. Fuente: Elaboración propia de autores
a) Vista en planta y b) Vista en elevación.

Se predefine una lámina de mortero armado como membrana estructural de espesor igual a 5 cm. En el borde exterior de la cáscara es necesario crear un elemento que proporcione mayor rigidez dado que la geometría crea un voladizo pronunciado de 6,25 m, con un arco de 14,25 m de luz, por lo que se propone realizar un arco compuesto por una lámina de ferrocemento ahuecada en su interior con un núcleo de poliestireno expandido, esta sección aporta la rigidez necesaria para controlar las deformaciones de este voladizo sin incrementos de peso que sería desfavorable para esta finalidad. Para dar cumplimiento a las tensiones exigidas para el mortero armado en la cáscara, el proyecto estructural define además la construcción de cuatro arcos de 30 x 15 cm, uno de borde en el extremo interior y tres interiores y una viga en el tope de hormigón armado de 30 x 10 cm. Los arcos debido a su mayor rigidez, conducirán el mayor por ciento de las cargas a los cimientos (Figura 3).

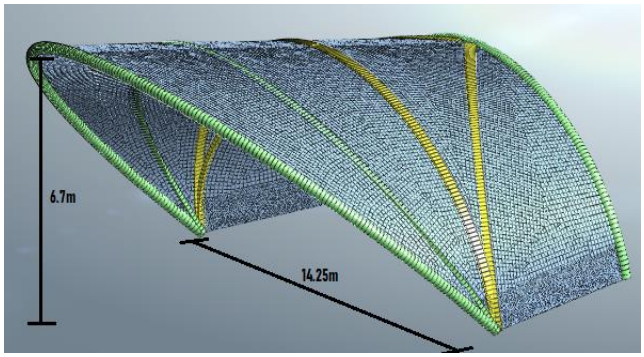



Figura 3: Distribución de arcos y vigas en el Motor-lobby. Fuente: Elaboración propia de autores

**Materiales.**

Debido a la cercanía del elemento con el mar, la agresividad del medio se clasifica en "muy alta", por lo que el hormigón a emplear tendrá una resistencia característica a compresión mínima a los 28 días de 30 MPa [4]. Teniendo en cuenta las características de la estructura y en la búsqueda de una mayor resistencia, se indica por proyecto el uso de hormigón con $f_c' = 35MPa$ y $E_c' = 27\,805$ MPa.

Para el caso del mortero armado (ferrocemento) se consideró la misma resistencia que para el hormigón y el módulo de deformación quedó determinado por el 80% del módulo del hormigón por lo que se considera $E_m' = 0{,}8E_c' = 25\,594$ MPa [3].

El refuerzo a emplear en la cáscara de mortero armado estará conformado por:

- Mallas de alambres de acero galvanizado de diámetro 1,06mm espaciados a 150 mm con tensión de fluencia ($f_y$) igual a 500 MPa y módulo elasticidad 200 000 MPa.
- Barras de PRFV de resistencia última igual a 800 MPa y módulo elasticidad 55 000 MPa.

**Condiciones de borde.**

Para la modelación y el diseño estructural se considera la lámina empotrada en el suelo y los arcos y la viga trabajando de manera monolítica con la lámina.

**Cargas.**

Fueron consideradas las cargas permanentes, de uso y ambiental de viento. Por su ubicación la obra se encuentra en: Zona 1, por lo que tomando como referencia la norma NC-46 2017 [5], no se requerirá la aplicación de diseño sismo resistente.

- ✓ **Carga permanente.**

Se consideró para la modelación de la estructura el peso propio de los elementos y una sobre carga permanentes por acabados, instalaciones, carpintería y decoración fija, estimadas a partir de la norma NC 283-2003 [6]. Resultando entonces el peso propio del mortero armado = $24\ kN/m^3$y la carga permanente sobreimpuesta = $0{,}5\ kN/m^2$, siendo la carga muerta total = $1{,}7\ kN/m^2$.

- ✓ **Carga de uso.**

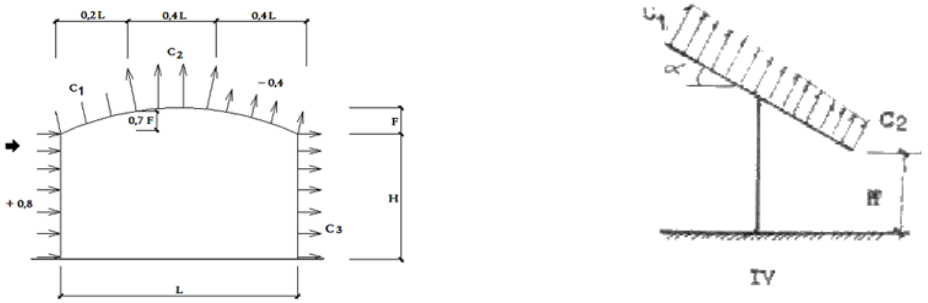
La carga de uso se define por la norma NC 284-2003 [7]. Resultando en el caso para una cubierta ligera inclinada = $0{,}5\ kN/m^2$.

✓ **Carga de viento.**

Para el análisis del comportamiento de la estructura ante las acciones del viento se empleó la norma cubana NC 285-2003 [8]. Las cargas de viento que afectarán a la estructura se determinan a partir de la ecuación de la carga unitaria característica total:

$$q = q_{10}.\,Ct.\,Cs.\,Ch.\,Cr.\,Cra.\,Cf\,[kN/m^2] \qquad (1)$$

Para el cálculo de la presión básica ($q_{10}$) se consideró zona 1 por lo que $q_{10}$=1,3 $kN/m^2$. La velocidad básica del viento se tomó con un período básico de recurrencia de 50 años para estructuras permanentes y con características normales de sensibilidad al viento, importancia económica y duración. Por otra parte, para los coeficientes dependientes de la ubicación de elementos u obras (región, topografía y altura), se tuvo en cuenta el coeficiente de recurrencia para un tiempo de recurrencia 50 años: Ct = 1,00. En el caso del coeficiente de topografía o de sitio (Cs) se midió la influencia de caracteres topográficos definidos, resultando de valor Cs =1,10. El coeficiente de altura (Ch) que se define a partir de la altura y características del terreno se fijó en Ch =0,87 debido a la categoría del espacio donde se ubicará la estructura, por ser una zona de terreno abierta, llano y cerca de la costa según se clasifica en la norma: Terreno Tipo A. El coeficiente de ráfaga se definió a partir de la tabla 6 de la norma. Cr=1,22. Producto de la complejidad geométrica de la losa fueron considerados los coeficientes de forma aproximada para la dirección frontal y lateral del viento (Figura 4):




a) b)

Figura 4: Coeficientes de forma para análsis de la carga de viento [8]
a) Dirección del viento en X y b) Dirección del viento Y (+).

Para la dirección del viento en X, se consideró la altura del elemento igual a 0, obteniéndose los valores de: $C_1$ = +0,56, $C_2$ = -1,09 y $C_3$ = -0,4.

En el caso de la dirección del viento en Y frontal los valores de coeficiente de forma fueron: $C_1$ = -1,10 y $C_2$ = -0,25. No se consideró la acción del viento en (-Y) debido a que detrás de la lámina se encuentra el Lobby y la edificación principal, por lo que no se espera que el viento actúe en ese sentido.

✓ **Combinaciones de Carga.**

Las combinaciones de cargas se aplicaron cumpliendo los requisitos de resistencia requerida en la norma [4]. (Tabla 1)

Tabla 1: Combinaciones de carga.

| E. L. ÚLTIMO | E. L. SERVICIO |
|---|---|
| $1,2D+1,6L_C$ | D+LC |
| $1,2D+0,5L_C+1,4W_{X(+)}$ | $D+W_{X(+)}$ |
| $1,2D+0,5L_C+1,4W_{X(-)}$ | $D+W_{X(-)}$ |
| $1,2D+0,5L_C+1,4W_Y$ | $D+W_Y$ |

**Definición de la malla de elementos finitos. Calibración.**

La calidad de la malla juega un papel importantísimo en la estabilidad y exactitud de los cálculos numéricos. Algunas de las propiedades asociadas con la calidad de una malla son, por ejemplo: la densidad y distribución de los nodos. Para llevar a cabo la calibración solo se considera la acción del peso propio de la cáscara y se toman como criterios de control dos parámetros en específico, número de elementos pobres y máxima deformación. Se define como elementos pobres a aquellos elementos de la malla triangulares con ángulos agudos menores a 30°, o cuadriláteros con ángulos obtusos mayores que 120° cuya rectangularidad es mayor que dos, que, por su geometría, no brindan estabilidad y exactitud en los resultados [9]. El programa los descarta del análisis automáticamente lo que conlleva a resultados inexactos trayendo consigo un incremento en el margen de error.

A partir de un tamaño máximo de malla de elementos finitos de 30 cm, se chequea la calidad de la misma, ajustando la amplitud mínima de los ángulos a 30° (Figura 5). Se proceden a evaluar los desplazamientos para los tamaños de malla de 30 cm, 20 cm, 10 cm y 5 cm, teniendo en cuenta además el número de elementos pobres (Figuras 6 y 7).

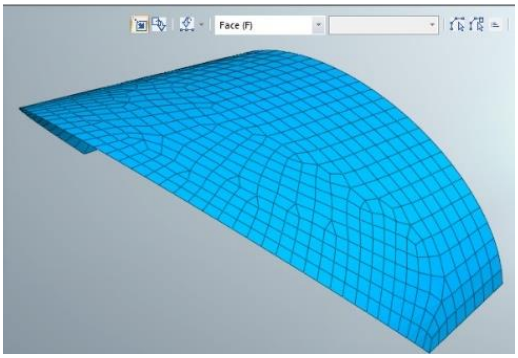
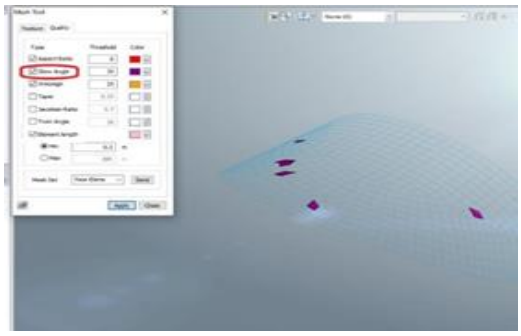


Figura 5: Definición de la malla


Figura 6: Elementos pobres para malla de 30 cm.

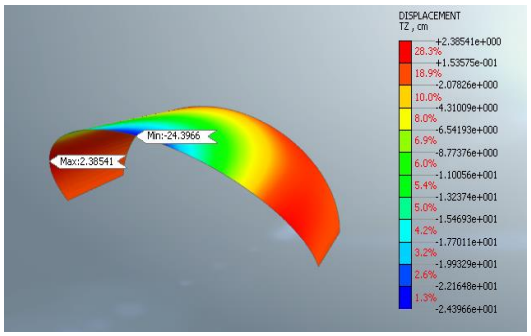


Figura 7**:** Desplazamiento máximo para una densidad de malla de 30 cm x 30 cm

La figura 6 muestra como el número de elementos pobres para la malla de 30 cm es muy pequeño, resultando un 0,92% de los 646 elementos que componen el mallado, inferior al 5% admitido, por lo que se considera aceptable el criterio y válido para el resto de las amplitudes de mallas [9].

Para verificar el criterio de deformación se procede a evaluar la variación en los errores relativos de los desplazamientos. Los resultados de los desplazamientos obtenidos, así como los errores relativos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Estudio de error relativo para las densidades de mallas analizadas

| Densidad de malla (cm) | Desplazamientos (cm) | Error relativo (%) |
|---|---|---|
| 30 x 30 | 24,396 | - |
| 20 x 20 | 24,460 | 0.26 |
| 10 x 10 | 24,509 | 0.19 |
| 5 x 5 | 24.510 | 0.008 |

Después de una valoración de los criterios antes tratados, teniendo en cuenta la pequeña diferencia entre los resultados obtenidos en la malla de 10 cm y la de 5 cm, se decide adoptar que la densidad de malla del modelo será de 10 cm, una malla menos densa y con resultados satisfactorios.

## 3. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.

**Análisis lineal estático.**

Como resultado del análisis se obtiene que la flecha máxima se produce, como es previsible, en el centro del arco de ferrocemento, punto donde se conjugan la existencia de una luz considerable y un voladizo en el sentido perpendicular. Para este punto la componente vertical máxima es de 39 mm (Figura 8), menor que la permisible establecida en L/240=59 mm.

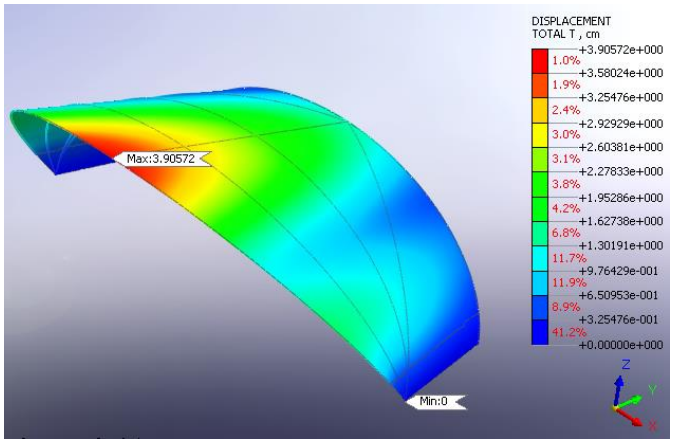
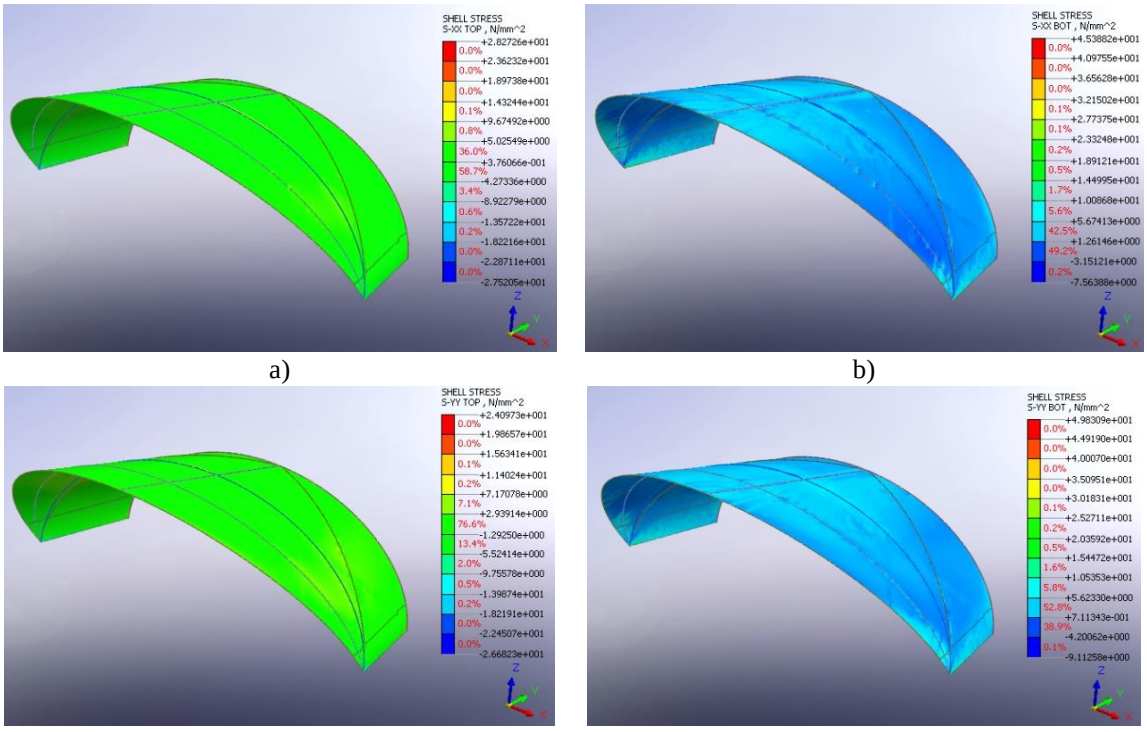



Figura 8: Gráfico de deformación de la estructura.

Para el caso de lámina se obtuvieron las tensiones características $\sigma_{xx}$ y $\sigma_{yy}$ (Figura 9), verificándose el cumplimiento de los esfuerzos permisibles para elementos de mortero armado (ferrocemento), 10 MPa en tracción y $0{,}45f_c' = 15{,}75MPa$ para la compresión [3, 10].




a) b)

c) d)

Figura 9: Mapa de tensiones normales en la lámina. a) Tensiones $\sigma_{xx}$ en el extremo superior de la membrana, b) Tensiones $\sigma_{xx}$ en el extremo inferior de la membrana, c) Tensiones $\sigma_{yy}$ en el extremo superior de la membrana y d) Tensiones $\sigma_{yy}$ en el extremo inferior de la membrana.

El análisis de las tensiones permite concluir que en el sentido longitudinal ($\sigma_{xx}$) estas se encuentran en un rango entre 9,67 MPa en tracción y 8,9 MPa en compresión, en el 98,9 % del área de la membrana. En el sentido transversal ($\sigma_{yy}$) las tensiones generales están en un rango entre 10 MPa en tracción y 4,2 MPa en compresión, igualmente en el 98,5 % del área de la membrana. Los máximos de tensiones se encuentran hacia las zonas de los apoyos por lo que se propone realizar un engrosamiento de la cáscara de 8 cm hasta alcanzar una altura de 1,0 m.

Los elementos que forman la viga, los arcos de hormigón armado y el arco de ferrocemento de la abertura se modelaron como elementos lineales debido a sus secciones transversales pequeñas con respecto a su longitud. En la tabla 3 se presenta un resumen de las solicitaciones máximas obtenidas en los arcos y viga a partir de los resultados de las envolventes de los esfuerzos.

Tabla 3: Resumen de solicitaciones máximas en los elementos.

| Elemento estructural | Axial (kN) | Cortante XZ (kN/m) | Cortante YZ (kN/m) | Momento flector en Z (kNm) |
|---|---|---|---|---|
| **Arco de mortero armado** | 37,7 | 8,31 | 18,5 | 31,6 |
| **Arcos de hormigón** | 56,4 | 67,3 | 53,8 | 76,1 |
| **Viga tope** | -50,2 | -9,2 | - | 2 |

**Análisis dinámico lineal. Estabilidad.**

A partir de lo establecido en la sección 318.2-19 [11] del ACI para estructuras laminares se realiza el chequeo por estabilidad. Este análisis consiste en la revisión de condiciones estructurales que generen cualquier perturbación donde se produzcan grandes desplazamientos, las cuales conlleven al vuelco o el colapso de la misma. Para ello se analiza la condición crítica de las cargas en el estado de servicio, dada por la combinación CP+CU. Como resultado se generan los denominados valores propios, los cuales

representan el tipo de estabilidad del sistema a partir de las diferentes formas de pandeo de la estructura, donde en dicho caso de estudio se arrojan diez variantes.

Tabla 4: Valores propios para cada modo de pandeo.

| REAL EIGENVALUES | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MODE NUMBER | EIGENVALUE | RADIANS | CYCLES | PREIOD | GENERALIZED MASS | GENERALIZED STIFFNESS | ORTHOGONALITY LOSS | ERROR MEASURE |
| 1 | -4.672195e+001 | 6.835346e+000 | 1.087879e+000 | 9.192198e-001 | -2.781830e-005 | 1.581525e+002 | 0.000000e+000 | 4.263892e-002 |
| 2 | -1.451658e+001 | 3.810063e+000 | 6.063904e-001 | 1.649103e+000 | -6.511097e-006 | 2.564334e+002 | 1.169307e+000 | 5.248671e-002 |
| 3 | -5.117932e+000 | 2.262285e+000 | 3.600538e-001 | 2.777363e+000 | 3.705681e+005 | 5.062148e+011 | 8.298710e-006 | 2.560295e-002 |
| 4 | 1.252059e+001 | 3.538445e+000 | 5.631610e-001 | 1.775691e+000 | 1.992371e+005 | 2.494566e+006 | 9.558655e-002 | 5.610494e-007 |
| 5 | 1.620936e+001 | 4.026085e+000 | 6.407713e-001 | 1.560619e+000 | 5.340890e+004 | 8.657239e+005 | 5.357968e-011 | 1.619163e-008 |
| 6 | 2.846969e+001 | 5.335700e+000 | 8.492030e-001 | 1.177575e+000 | 1.672602e+005 | 4.761847e+006 | 4.088405e-010 | 7.134682e-009 |
| 7 | 3.030677e+001 | 5.505159e+000 | 8.761732e-001 | 1.141327e+000 | 6.071726e+004 | 1.840144e+006 | 8.990096e-010 | 1.006816e-008 |
| 8 | 3.685570e+001 | 6.070889e+000 | 9.662121e-001 | 1.034969e+000 | 3.692244e+005 | 1.360802e+007 | 7.228997e-010 | 5.644532e-009 |
| 9 | 4.307095e+001 | 6.562846e+000 | 1.044509e+000 | 9.573873e-001 | 1.396520e+005 | 6.014946e+006 | 2.231173e-009 | 8.331340e-009 |
| 10 | 5.179953e+001 | 7.197189e+000 | 1.145468e+000 | 8.730055e-001 | 5.607456e+005 | 2.904636e+007 | 1.120991e-010 | 3.574195e-009 |

Los valores negativos se refieren a que las fuerzas estabilizadoras del sistema son mayores que las desestabilizadoras, por lo que no se tienen en cuenta en el análisis. Los valores positivos se minoran a partir de un factor de seguridad igual a seis, deduciéndose que aquellos resultados cercanos o menores a uno constituyen la perdida rápida de estabilidad de la estructura.[12]. Finalmente se concluye que la estructura cumple con el análisis dinámico lineal.

## 4. DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño de los elementos de mortero armado se realizó mediante el método de las Tensiones Admisibles, por lo que se usaron las combinaciones características de la estructura. Las combinaciones mayoradas se emplearon en el diseño por Estados Límites de los elementos de hormigón armado que contribuyen a rigidizar la estructura.

**Cáscara de mortero armado.**

Para el diseño de elementos de mortero armado reforzado con PRF las siguientes recomendaciones para el diseño conducen a un resultado satisfactorio [3, 10]:

a) Adoptar el diagrama esfuerzo - deformación lineal que caracteriza a los PRF.

b) La fracción de volumen de refuerzo ($V_{rl}$) en ambas direcciones, no debe ser inferior a 1,8 %.

c) La superficie específica total del refuerzo ($S_r$) no debe estar por debajo de 0,3 $cm^{-1}$.

d) Para obtener la superficie específica del refuerzo, ($S_r$) , no se precisa considerar el refuerzo de esqueleto, en caso de que exista; sin embargo, este refuerzo sí debe tenerse en cuenta para determinar la fracción de volumen de refuerzo ($V_{rl}$).

e) El recubrimiento mínimo neto recomendado para el refuerzo ha de ser de 3 mm, llegando a adoptar valores de 6 mm en zonas de elevada agresividad. Un valor menor puede emplearse si se utilizan como refuerzo las telas de PRF.

A partir de lo anterior se procede con el diseño en tensiones admisibles. La lámina de mortero armado está tensionada con unos valores máximos de 8,9 MPa en compresión y 10 MPa a tracción. Para estos esfuerzos se ha propuesto una lámina de 5 cm de espesor. Como resultado del diseño se obtiene un refuerzo de dos mallas de acero galvanizado Ø1,06 @ 25mm dispuestas a cada lado de la sección y acero de esqueleto de barras de PRFV de Ø10mm espaciadas cada 300 mm y colocados en tres camadas (Figura 10). Esta distribución garantiza valores de fracción de volumen ($V_{rl}$) y superficie específica ($S_r$) dentro de los parámetros establecidos (ecuaciones 2 y 3) y con ello el control de la abertura de fisuras por debajo de 0,1mm.

$$V_{rl} = \frac{Ar}{Am} = 0{,}0196 = 1{,}98\ \% > 1{,}86\ \% \qquad (2)$$

$$S_r = \frac{4V_r}{d_f} = 0{,}51\ cm^{-1} > 0{,}4\ cm^{-1} \qquad (3)$$

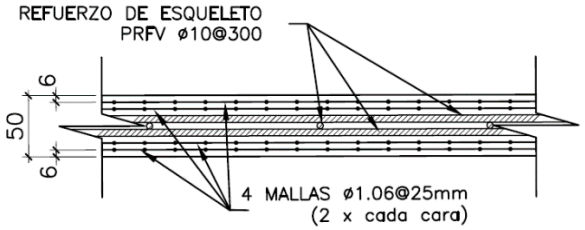



Figura 10: Distribución del refuerzo en la lámina de mortero armado de 5cm de espesor.

**Arco de mortero armado.**

El arco de mortero armado que aporta rigidez al borde libre que se produce en el extremo exterior de la cáscara se resuelve plegando la lámina y haciendo una sección cerrada con un núcleo de poliestireno expandido como se muestra en la figura 11. Las solicitaciones características que actúan en este elemento se representan en la tabla 5, agrupado los esfuerzos en los puntos críticos.

Tabla 5: Solicitaciones críticas en el arco de ferrocemento.

| Punto | Fuerza Axial (kN) | Momento Flector Z (kN/m) | Momento Flector Y (kN/m) |
|---|---|---|---|
| Centro del arco | -8.06 | 31.6 | -1.81 |
| Arranque 1 | 41.3 | -2.61 | -3.01 |
| Arranque 2 | 41.3 | -2.61 | -3.01 |

A partir de las solicitaciones obtenidas se determinan las tensiones máximas y mínimas, obteniéndose $\sigma_1$ = 5,5 MPa en tracción y $\sigma_2$ = -1,11 MPa en compresión. Finalmente se verifica que es posible mantener el mismo armado de la lámina descrito y calculado, ya que estas tensiones no superan la tensión resistente de la lámina de 14,8MPa. Los resultados del diseño se muestran en la figura 11.

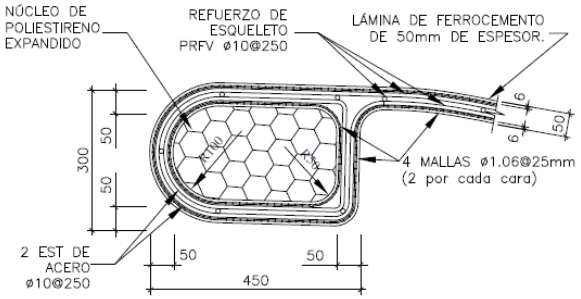



Figura 11**:** Distribución del refuerzo en el arco de mortero armado.

**Arcos y viga tope de hormigón armado con PRFV.**

Los arcos y viga tope de hormigón armado se diseñaron mediante el método de los Estados Límites, segunl lo que establece el código ACI 440.11 2022 [13]. Para los arcos, se tomaron como solicitaciones las máximas entre todos los elementos, obteniéndose un armado de 10 barras Ø12 de PRFV distribuidas en la sección. En la viga tope, se satisface el área de refuerzo requerida mediante 2 barras Ø12 de PRFV a cada cara de la sección. Para esconder estos elementos y lograr una superficie uniforme a la vista se predefinió

una membrana de ferrocemento de espesor 2,5 cm que envuelve al elemento, quedando en el interior el poliestireno de expandido como relleno la cual comienza 75 cm a cada lado de los elementos (Figuras 12 y 13).

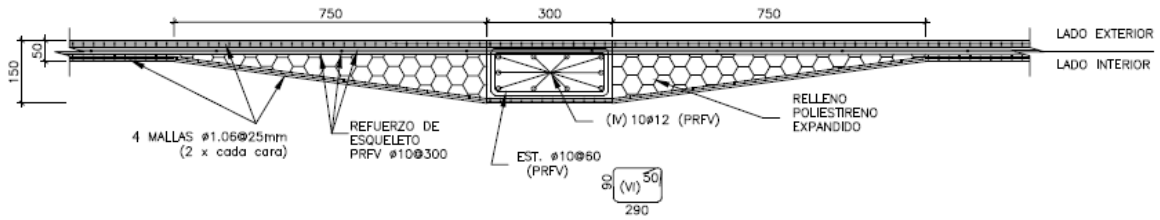



Figura 12: Sección transversal de los arcos de hormigón en conjunto con la lámina de ferrocemento.

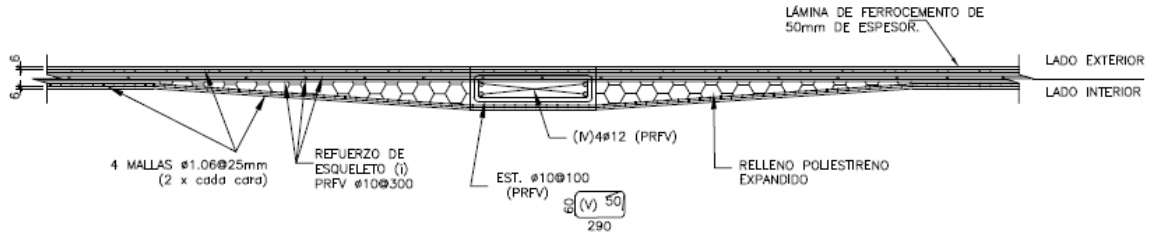



Figura 13: Sección transversal de la viga tope en conjunto con la lámina de ferrocemento.

**CONCLUSIONES.**

A partir del estudio de las características del ferrocemento se pusieron de manifiesto los beneficios que brinda en elementos de geometría atípica como son predominantemente en la arquitectura contemporánea, garantizando durabilidad y resistencia de las estructuras y permitiendo la disminución en los recubrimientos y espesores de las mismas.

El desarrollo de un modelo matemático-computacional en el software MIDAS FEA NX permitió el análisis del comportamiento de la estructura y el diseño de los elementos que la componen mediante el método de elementos finitos, quedando conformada la estructura por una lámina de 5cm de espesor, un arco de borde de ferrocemento de sección 450 x 300 mm, 5 arcos de hormigón armado de sección 300 x 150 mm y una viga tope de sección 300 x 100 mm. El diseño de los elementos estructurales lámina, arcos y viga, garantiza el cumplimiento del diseño por Tensiones Admisibles y los Estados Límites Últimos y de Servicio respectivamente

**REFERENCIAS.**

1. Buides, A.N.G., et al., *Ideas conceptuales. Plan General*. 2023, Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de La Habana. EPROB: La Habana. p. 37.
2. Wainshtok, H.R., *Ferrocemento, Diseño y Construcción.* 4ta ed. 2010, Riobamba, Ecuador. 284.
3. Wainshtok , H.R., J.A. Hernández ., and I. Díaz . *Calidad y durabilidad de las Construcciones. El uso de los PRF como refuerzo del hormigón armado y el ferrocemento.* . 2017, Valencia, España. 200.
4. NC-207, *Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón*. 2020, Oficina Nacional de Normalización: La Habana. Cuba.
5. NC-46, *Construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. 2017, Oficina Nacional de Normalización (NC): Ciudad de La Habana. p. 104.
6. NC-283, *Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construccion como carga de diseño*. 2003, Oficina Nacional de Normalización: Ciudad de La Habana. p. 11.

7. NC-284, *Edificaciones. Cargas de uso* 2003, Oficina Nacional de Normalización: Ciudad de La Habana. p. 12.
8. NC-285, *Carga de viento. Método de cálculo.* 2003, Oficina Nacional de Normalización: Ciudad de La Habana. p. 70.
9. NX, M.F., *Manual MIDAS FEA NX*. 2015.
10. Society, I.F., *Ferrocement Model Code*, in *Building Code Recommendations for Ferrocement*. 2001, Asian Institute of Technology: Thailand. p. 92.
11. ACI-318.2, *Criterios para el diseño de estructuras laminares.* . 2019, American Concrete Institute: Farmington Hills. EUA.
12. Kanta, *Análisis de estrctura laminar.* 2015.
13. ACI-440.11, *Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass FiberReinforced Polymer (GFRP) Bars-Code and Commentary*. 2022, American Concrete Institute.: Farmington Hills. EUA. p. 260.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# VI CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL EN CUBA

## MIPYME, GESTIÓN URBANA Y DESARROLLO LOCAL: DESAFÍOS ANTE EL DESARROLLO SOSTENIBLE

**Irina Duverger Johnston[1], Alicia Espinosa Gronzo[2], Rosa María Méndez Pérez[3]**

[1]Máster en Ciencias, Profesor Asistente, Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae
[1]e-mail: irinadu@civil.cujae.edu.cu
[2] Ing. Civil, Profesor Auxiliar, Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae,
[2]e-mail: alice@civil.cujae.edu.cu
[3] Máster en Ciencias, Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae,
[3]e-mail: rosa.mendez@mindus.gob.cu

**RESUMEN**

En el modelo de desarrollo socioeconómico que implementa el país, articulado con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible se definen nuevas formas de gestión de la economía: micro, medianas y pequeñas empresas, entre las cuales algunas se dedican a la actividad constructiva y la producción de materiales y tecnologías de la construcción. El deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos y la degradación de los suelos están identificados como parte de los problemas ambientales que afectan la calidad de vida de la población y de las prioridades a enfrentar por las estrategias de desarrollo locales. En este artículo, se identifican los desafíos a enfrentar por las mipymes como actores económicos del desarrollo local en el contexto de la gestión urbana a partir de los retos que enfrentan las ciudades y territorios, derivados de la realidad actual y los requerimientos sobre el desarrollo sostenible. Basados en el enfoque dialéctico materialista, se aplicaron métodos de la investigación científica: histórico-lógico, analítico-sintético, inductivo-deductivo y métodos empíricos como el análisis documental y la observación participante de las docentes, en la disciplina ciencias empresariales, así como, especialistas de: ordenamiento territorial, urbanismo y gestión del proceso inversionista.

**PALABRAS CLAVES:** micro, medias y pequeñas empresas, gestión urbana, desarrollo local, actividad constructiva, desarrollo sostenible.

## MICROCURRICULUM, URBAN GOVERNANCE AND LOCAL DEVELOPMENT

**ABSTRACT**

At the Cuban socioeconomic development model articulated with 2030 Agenda and Sustainable Development Goals were defined new form of economic management: micro, smaller and medium-size enterprises, some of them dedicated to constructions activities and local production of constructions materials and technologies. Deteriorating sanitary conditions in human settlements and soil degradation are identified in Cuba as environmental issues, affecting the quality of life of its inhabitants. In this article, were identified the challenges facing by the local enterprises as an economic stakeholders for urban governance, derived from the current urban situation and the requirements for sustainable development. Based on dialectic materialistic approach were applied research methods such as history-logic, analytic-synthetic, inductive-deductive and empirical methods such as documental analysis and professors' participatory observation in enterprises discipline and as territorial and urban planning expertise as well as investment's manager.

**KEY WORDS:** micro small and medium enterprises, urban governance, local development, building construction, sustainable development.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Política de Desarrollo Territorial del País se corresponde con el Lineamiento 17 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016 – 2021, que expresa: Impulsar el desarrollo de los territorios a partir de la estrategia del país, de modo que se fortalezcan los municipios como instancia fundamental, con la autonomía necesaria, sustentables, con una sólida base económico-productiva, y se reduzcan las principales desproporciones entre estos, aprovechando sus potencialidades [1]. Lo cual fue ratificado en los lineamientos del Modelo de Gestión Económica para el desarrollo de los territorios (Lineamientos 14 al 16) [2].

En el modelo de desarrollo económico y social de Cuba al 2030 [2] el desarrollo local constituye parte de la Política para Impulsar el Desarrollo Territorial [1], en la cual:

Se define al *desarrollo local* (DL) *como un proceso esencialmente endógeno, participativo, innovador y de articulación de intereses entre actores, territorios y* escala geoespacial *(municipal, provincial y sectorial/nacional). Se sustenta en el liderazgo de los gobiernos municipales y provinciales para la gestión de sus estrategias de desarrollo dirigidas, desde la gestión del conocimiento y la innovación, al fomento de proyectos que generen transformaciones económico-productivas, socioculturales, ambientales e institucionales, con el objetivo de elevar la calidad de vida de la población.*

A *los proyectos de desarrollo local* (PDL) se les *reconocen como un conjunto de recursos, esfuerzos y acciones que tienen el propósito de transformar una situación existente a otra deseada, que contribuya al desarrollo de los municipios, provincias y comunidades donde actúa, e impacte en la calidad de vida de la población. En su diseño e implementación debe primar el criterio de potenciar las capacidades de los grupos y actores participantes, aprovechar los recursos endógenos en la solución de las problemáticas planteadas y el carácter participativo de su gestión.*

*La Estrategia de Desarrollo Municipal* (EDM) se concibe como *un instrumento integrador, que contribuye a orientar la gestión del gobierno municipal en función de las prioridades definidas a partir de los intereses nacionales y territoriales. Desde su diseño y gestión articula los diagnósticos y proyecciones que se definan por otros instrumentos de planificación, fundamentalmente por el plan de ordenamiento territorial y urbano.*

Las micro, pequeñas y medianas empresas, en lo adelante mipymes, aparecen con el proceso de perfeccionamiento de los actores económicos de la economía cubana, como una nueva forma de gestión para la diversificación de la economía nacional [3]. Surgen en respuesta a una de las principales transformaciones para la actualización del modelo de desarrollo económico y social de Cuba al 2030: reconocer y diversificar diferentes formas de propiedad y gestión adecuadamente interrelacionadas [2], declaradas en la Constitución de la República [4]. Forman parte de la gestión estratégica del desarrollo local a partir de la implementación de la Política de Desarrollo Territorial del País, componentes de la base económico-productiva de los municipios [1] [2], y como tal aprovechan sus potencialidades y aportan a la contribución territorial [3].

El Decreto-Ley 88 de 2024 [5] facilita la inserción de las mipymes en el ordenamiento jurídico como un actor complementario que participa en la transformación productiva, comercial y de servicios del país. Definidas como aquellas unidades económicas con personalidad jurídica que poseen un número limitado de personas ocupadas y características propias, y que tienen como objeto fundamental desarrollar la producción de bienes y la prestación de servicios que satisfagan necesidades de la sociedad y contribuyan al desarrollo del país.
Entre los programas que integran el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030 (PNDES) destaca el denominado “Desarrollo territorial sostenible” que incluye varios proyectos, entre ellos uno centrado en “Las competencias de los municipios en Cuba como expresión del proceso de

descentralización". A través de él se avanza en la propuesta de un marco de actuación que permite implementar paulatinamente la autonomía concedida a los municipios. Avanza el proceso tendente a fortalecer el ecosistema empresarial municipal, tanto de empresas públicas como privadas y cooperativas. Han crecido considerablemente las pequeñas y medianas empresas privadas, distribuidas de forma muy heterogénea en los 168 municipios [6]. En este contexto de descentralización actores locales deben gestionar el conjunto de estrategias, políticas públicas, programas y proyectos que le dan contenido al desarrollo local [1].

El Decreto 33 del 2021 [7] define, en su Artículo 5, como actores locales a las personas naturales y jurídicas, estatales y no estatales, con potencialidades de intervenir en la gestión y transformación del territorio para su desarrollo. En el Artículo 8.1 declara al plan de ordenamiento territorial y urbano como uno de los instrumentos de planificación que debe considerar el Consejo de la Administración Municipal para la elaboración, implementación, evaluación y actualización de las EDM. En las cuales se coordinan y concilian los intereses de los ámbitos municipal, provincial y nacional Artículo 8.1, teniendo en cuenta desde lo municipal las potencialidades y capacidades propias que satisfagan demandas y expectativas de la población, que son identificadas, decididas e implementadas por el municipio, principalmente, con los recursos de que disponen; así como las relaciones intermunicipales que se establezcan, conforme con la legislación vigente Artículo 8.1.a.

El municipio constituye el espacio donde se localizan y gestan los procesos y acciones, donde están contenidas las comunidades y barrios como componentes claves de la dinámica social y económica. Es allí donde conviven tanto el gobierno –o sea, las autoridades que tienen la responsabilidad de coordinar y gestionar el desarrollo del territorio–, los actores encargados de prestar los servicios públicos y de producir los bienes necesarios, así como, la población, merecedora y beneficiaria de todo lo que se debe hacer en términos de prosperidad [8]. El municipio, es también, el espacio donde se gestan las transformaciones de las ciudades y el resto de los asentamientos humanos que estructuran el territorio nacional, proceso denominado gestión urbana.

La Política Inversionista de Cuba demanda:

> *Elevar la jerarquía del Esquema Nacional del Ordenamiento Territorial* (ENOT) *y de los planes de Ordenamiento Territorial y Urbano, su integración con los planes de desarrollo de la economía a mediano y largo plazos, incluidas las inversiones. Garantizar la profundidad y agilidad en los procesos de consulta. Fortalecer el enfrentamiento a las ilegalidades, incluido la erradicación inmediata de las que surgen nuevas.* [2]

El ENOT es un instrumento de planificación de la economía nacional, complemento espacial determinante del PNDES, que implementa las acciones estratégicas del Plan de Estado para el enfrentamiento al Cambio Climático "Tarea Vida", de la Nueva Agenda Urbana (NAU) y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [9]. La implementación de la NAU contribuye al cumplimiento del ODS 11 de la Agenda 2030, hacer ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [10], la cual deviene política urbana a nivel local, cuya implementación realizan los actores y gestores municipales.

La Ley 145/2022 "Del ordenamiento territorial y urbano y la gestión del suelo" [11] junto al Plan de Estado para la implementación de la NAU en Cuba y el ENOT integran la Política Urbana Nacional que se concibe como plataforma que articula a todos los actores nacionales y locales desde sus competencias, en el logro de un objetivo común Desarrollo Urbano Sostenible [10].

En su Artículo 2 la Ley 145/2022 [11] dispone: "El ordenamiento urbano procura asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, en correspondencia con los procesos asociados a la urbanización y a su estructuración interna.". El cual estudia el hábitat humano como uso predominante en los asentamientos humanos, para lo cual analiza variables tales como: la población, su distribución espacial y el uso de suelo. El Artículo 3.1 dispone "El suelo, en el ordenamiento territorial y urbano y su gestión, como recurso finito, se ordena y delimita para servir de soporte a la actividad agropecuaria, forestal y minera, a las edificaciones, las infraestructuras técnicas, el equipamiento y los espacios públicos o se protege de la urbanización y de actividades no afines, según su vocación". En el apartado 2 plantea: "La gestión del suelo, como conjunto de procesos e instrumentos jurídicos, administrativos y técnicos, está

dirigida a ocupar y utilizar de manera racional y sostenible el suelo para la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad y su desarrollo".

En la Política para las construcciones, viviendas y recursos hidráulicos se demanda:

> *Mantener la atención prioritaria al aseguramiento del Programa de Viviendas a nivel municipal, incrementando la producción local y la comercialización de materiales de la construcción, empleando las materias primas y tecnologías disponibles que permitan aumentar la participación popular.*
> *Recuperar viviendas que se emplean en funciones estatales, así como inmuebles que pueden asumir funciones habitacionales. Priorizar la construcción, conservación y rehabilitación de viviendas en el campo, teniendo en cuenta la necesidad de mejorar las condiciones de vida, las particularidades que hacen más compleja esta actividad en la zona rural y estimular la natalidad, con el objetivo de contribuir al completamiento y estabilidad de la fuerza de trabajo en el sector agroalimentario.*
> *Mantener y priorizar el Programa Nacional de la Vivienda de forma integral, como parte de la política aprobada, que abarque las directivas principales de la construcción, las formas de gestión para la producción, incluidas la no estatal y por esfuerzo propio, la rehabilitación, la conservación de viviendas, la transformación del fondo con condiciones más desfavorables y las urbanizaciones.*
> *Definir las prioridades para resolver el déficit habitacional, teniendo en cuenta un mayor aprovechamiento del suelo y el uso de tecnologías más eficientes.*
> *Fortalecer el sistema de Planificación Física* [actualmente, del Ordenamiento Territorial y Urbanismo] *y de la Vivienda a todas las instancias. Perfeccionar, simplificar e informatizar los procesos relacionados con los trámites de la vivienda* [2].

En la gestión urbana y en el desarrollo local intervienen diversos actores económicos y sociales, posibles egresados de la ingeniería civil que requieren comprender los complejos procesos urbanos y locales para la toma de decisiones a nivel de ciudad y del territorio, ya sea este municipal, provincial o nacional, contribuyendo a su desarrollo sostenible [12]. La posición que se defiende en el presente trabajo es la necesidad de la comprensión de estos procesos la cual debe iniciarse desde la actuación de los actores y gestores urbanos.

Partiendo de lo anterior, en este trabajo se reflexiona sobre los desafíos a enfrentar por las mipymes como actores económicos del desarrollo local en el contexto de la gestión urbana a partir de los retos que enfrentan las ciudades y territorios, derivados de la realidad actual y los requerimientos sobre el desarrollo sostenible. Realizado bajo el enfoque dialéctico materialista, se emplearon métodos teóricos y empíricos, donde se destaca la observación participante de las autoras como docentes de la carrera de ingeniería civil en las disciplinas: principal integradora y ciencias empresariales; así como, especialista en ordenamiento territorial, urbanismo y gestión del proceso inversionista.

## 2. DESARROLLO

### Desafíos para el desarrollo local

A decir de Fernández, Guzón y Jover [6] la adecuada selección de las personas que pueden desempeñarse como intendentes, y en general de los funcionarios públicos merece mayor atención en la gestión del desarrollo local. Por lo cual, estos autores, enfatizan en la creación de capacidades a ese nivel. Consideran también necesario avanzar en la implicación del conjunto de actores que operan en los municipios, comunidades y consejos populares. Así como, multiplicar los procesos de formación, según las particularidades y potencialidades territoriales, tanto de actores como de gestores.

Se han incorporado las mipymes como actores económicos del DL que implementan las herramientas de gestión de las EDM: los PDL. Entre estos actores han surgido, según datos del Ministerio de Economía y Planificación [13] [14] las mipymes destinadas a actividades constructivas de: servicios de construcción; instalación, mantenimiento y reparación de sistemas hidráulicos y de climatización; actividades de

paisajismo y mantenimiento de áreas verdes; producción de diversos materiales de la construcción: pinturas y barnices, baldosas, losas y bloques (hormigón, cemento y yeso), artículos refractarios; fabricación de vidrio y productos de vidrio; servicios de desbroce, chapea de marabú y otras plantas indeseables; instalación, reparación y mantenimiento a equipos de bombeo y conductores hidráulicos; e, instalación de sistemas eléctricos.

Muchas de estas mipymes, según datos del MEP [14] se encuentran localizadas en los municipios cabeceras provinciales, incidiendo en la transformación de las ciudades capitales de provincia y los asentamientos humanos aledaños. Los territorios con mayor aparición de estos tipos de empresas son: La Habana, Artemisa, Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Santiago de Cuba y Holguín. Existe una mayor concentración en La Habana, Matanzas y Villa Clara y en menor medida en Holguín y Santiago de Cuba. La otra actividad con mayor nivel de aparición es la destinada a la producción y oferta de alimentos, las cuales directamente no demandan fuerza de trabajo calificada en la actividad constructiva, pero sí en el diseño y ejecución de los establecimientos, interviniendo de esta forma favorable o desfavorablemente en la modificación de la morfología urbana y arquitectónica, así como, en la tipología urbana, arquitectónica y estructural de las edificaciones.

**Prioridades para la gestión urbana**

En la Estrategia Ambiental Nacional de Cuba [15] se identifican como parte de los problemas ambientales a la degradación de los suelos (1997, 2007, 2010, 2015 y 2020) y al deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos (1997, 2015 y 2020) entre otros que afectan la calidad de vida de la población. La degradación de los suelos tiene entre sus factores la acción antrópica, con el impacto producido por y en áreas densamente pobladas, las alteraciones a la salud y la calidad de vida de la población, así como, el efecto de los cambios globales, en particular el cambio climático. Cuba tiene un alto grado de urbanización, según último Censo de población y viviendas el 76.8 % de su población es urbana; al cierre de 2020 el 21,3 % tiene 60 años o más y la población del país decreció en números absolutos [9].

Duverger y Álvarez [16] [17] identificaban algunas de las prioridades que las ciudades cubanas debían afrontar, y que aún persisten en el 2024, entre ellas:

> *efectos del cambio climático; incidencia del envejecimiento de la población; cambios económicos: creación de empleos por cuenta propia, reorganización de la agricultura, reestructuración azucarera, desarrollo del turismo, entre otros; promoción del desarrollo endógeno de municipios y ciudades; magnitud del problema habitacional —incluyendo la urbanización— y su implementación; crecimiento excesivo en área de las grandes ciudades; balance apropiado entre nueva construcción, mantenimiento y reconstrucción; necesidad de detener el deterioro urbano; integración urbana, incluyendo los nuevos centros de ciudad; rehabilitación de las redes infraestructurales: acueducto, alcantarillado, viales, electricidad, telefonía y comunicaciones; gestión integrada de los residuales sólidos; movilidad de todo tipo, incluyendo la peatonal; promoción, ejecución, uso y cuidado de los espacios públicos, entre otros.*

Los PDL como herramientas en las estrategias de desarrollo municipal para la gestión local del patrimonio cultural [8] tanto urbano como rural, construido y edilicio tienen incidencias en las ciudades y el resto de asentamientos humanos. Cuba cuenta con ciudades con declaratorias como patrimonio cultural de diversa índole a lo cual también hay que prestar atención, desde la formación.

Para enfrentar estas prioridades urbanas se requiere de la participación, institucional y social, de múltiples actores urbanos definidos en la Ley 145/2022 [11] en su Artículo 95: órganos locales del Poder Popular; delegaciones de instituciones de otros niveles de subordinación; entidades económicas, productivas y de servicios, y otros organismos e instituciones cuya actividad incida en el ordenamiento territorial y urbano; universidades, institutos y centros de investigación científicos enclavados en el territorio objeto de análisis; medios de comunicación; sociedad civil; población.

**Desafíos para las MIPYMES ante las demandas de la sociedad**

Desde la Política para el desarrollo territorial [1] se demanda a las mipymes, en el caso de aquellas relacionadas con la actividad constructiva, la participación coordinada en las actividades de interés municipal, entendiendo como tales aquellas relacionadas con los potenciales humanos y de recursos materiales, así como, el fomento de las capacidades tecnológicas internas instaladas que satisfagan las demandas y las expectativas de la población local en cuanto a la construcción y conservación del fondo edificado habitacional y el mejoramiento de las condiciones de higiénicas de la población. Se requiere, igualmente, que estén integradas con actores estatales y no estatales sobre la base de encadenamientos productivos, teniendo en cuenta las prioridades territoriales y la recuperación de valores patrimoniales en las ciudades históricas para lograr urbanizaciones, asentamientos humanos y el desarrollo local sostenibles.

De ahí que los proyectos de desarrollo local en los que participen las mipymes de la actividad constructiva se puedan clasificar en económicos – productivos: generadores bienes, con la producción de implementos para el trabajo artesanal, y desarrolladores de servicios técnicos constructivos que se destinan al beneficio local de forma sostenible. Todo lo anterior teniendo en cuenta los talentos y potencialidades locales definidos en la EDM y la preservación de aquellas zonas protección definidas en el plan de ordenamiento territorial y urbano [11]. De ahí que más allá del conocimiento y gestión de la permisiología asociada al proceso inversionista [18] y a la responsabilidad social sobre el aporte a la contribución territorial [5] es esencial el conocimiento y manejo de las políticas públicas urbanas locales como expresión del plan de ordenamiento territorial y urbano para una eficaz participación en la gestión urbana [11].

## 3. CONCLUSIONES

Luego de analizar el marco normativo asociado al desarrollo local, las mipymes y la gestión urbana, de revisar las prioridades urbanas y los problemas ambientales asociados a las ciudades y asentamientos humanos se concluye que: la implementación de transformaciones en el modelo económico y social cubano, así como la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la población en los asentamientos humanos demandan la participación articulada de los diversos actores y gestores urbanos y locales.

## RECONOCIMIENTOS

Las autoras desean agradecer a todos los estudiantes, profesores y especialistas, que directa o indirectamente, han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

[1] MEP. *Política para impulsar el desarrollo territorial* [en línea]. La Habana. Ministerio de Economía y Planificación [ref. de 4 de agosto 2020]. Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu/sites/default/files/Documentos/POLITICA%20PARA%20IMPULSAR%20EL%20DESARROLLO%20TERRITORIAL.pdf.
[2] PCC**.** *Conceptualizción del modelo económico y social del desarrollo socialista. Lineamientos de la política ec onómica y social del partido y la revolución para el períod 2021-2026.* La Habana: Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2020. Disponible en Web: https://www.pcc.cu/conceptualizacion-del-modelo-economico-y-social-cubano-de-desarrollo-socialista
[3] MARTÍNEZ MOLINA, Julio; CONDE SUÁREZ, Liz. "Novedades en el perfeccionamiento de los actores económicos en Cuba". Periódico Granma, 18 de agosto de 2021. Disponible en Web: http://www.granma.cu
[4] ANPP. *Constitución de la República de Cuba*. La Habana: Gaceta Oficial de la República GOC-2019-406-Ex 5. 2019. Disponible en Web: https://www.granma.cu/pdf.
[5] CONSEJO DE ESTADO. Decreto-Ley 88/2024 “Sobre las micro, pequeñas y medianas empresas” (GOC-2024-440-O78) Disponible en Web: https://www.gacetaoficial.gob.cu
[6] FERNÁNDEZ, Aurora, GUZÓN, Ada y NÚÑEZ, Jorge. "*El desarrollo local en Cuba: institucionalización y desafíos*". *Revista Iberoamericana de Gobierno Local*, 2023, núm. 24, ISSN: 2173-8254. Disponible en Web: https://revista.cigob.net/download/f28d24de-59a8-4cd5-9796-3d79289ac18f

[7] CONSEJO DE MINISTROS. Decreto No. 33/2021"Para la Gestión Estratégica del Desarrollo Territorial", de 11 de marzo de 2021 [ref. de 4 de octubre 2024]. Disponible en Web: https://www.gacetaoficial.gob.cu
[8] CASTRO PREMIER, Mailyn Esther. "Las estrategias de desarrollo municipal, instrumento clave para la gestión local del patrimonio cultural". *Revista Arquitectura y Urbanismo*, 2020, vol. 41, núm. 3, pp. 67 - 75. Disponible en Web: https://rau.cujae.edu.cu
[9] MARICHAL, Anelis María. "*Esquema de Nacional de Ordenamiento Territorial. Retos y oportunidades*". *Revista Planificación Física-Cuba*, 2017.
[10] INOTU. *Política Urbana Nacional en Cuba* [en línea]. La Habana. [ref. de 16 de agosto 2021]. Disponible en Web: https://www.inotu.gob.cu/
[11] ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR. Ley 145/2021 "Del Ordenamiento Territorial y Urbano y la Gestión del Suelo". *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. La Habana. Cuba. 2022. Disponible en Web: https://www.minjus.gob.cu
[12] DUVERGER, Irina, ESPINOSA, Alicia. "Microcurrículo, gestión urbana y desarrollo local". VI Congreso Educación Extensión Universitaria. 2I Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana. Cuba. 2024.
[13] MEP. *Listado de las 103 muevas mipymes y CNA*. [ref. de 24 de noviembre 2021] Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu
[14] MEP. *Listado de muevas mipymes y CNA*. [ref. de 28 de abril 2022] Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu
[15] CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025* [en línea]. La Habana. [ref. de 27 de agosto de 2024]. Disponible en Web: https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional/.
[16] DUVERGER, Irina. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental" en *Curso de Ordenamiento Territorial y Urbanismo*. La Habana: Editorial Academia, 2011. 16 pp. ISBN 978-959-270-203-5 [Segunda parte].
[17] DUVERGER, Irina y ÁLVAREZ, Concepción. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental". *Planificación Física-Cuba*, núm. 17, 2013, ISSN 0138-6239.
[18] CONSEJO DE MINISTROS. Decreto No. 327/2014 "Reglamento del proceso inversionista" 23 de enero de 2015 Disponible en Web: https://www.gacetaoficial.gob.cu

**Sobre las autoras**

M. Sc. Arq. Irina Duverger Johnston
Centro de Estudios para la Arquitectura y la Construcción Tropical (CECAT) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae) Profesor Asistente, Profesor Principal para escuelas ramales. Es graduada de: Arquitectura, por el Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella" (ISPJAM), de la Universidad de Oriente; de Especialista de Posgrado en Evaluación de Impacto de la Minería y la Construcción en el medioambiente, por el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Antonio Núñez Jiménez" (ISMMM); y, de Máster en Ciencias en Gestión Ambiental, Mención Evaluación de Impacto Ambiental, por el Instituto de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InsTEC) de la Universidad de La Habana. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC), de la Sociedad Cubana de Geografía (SCG), de la Asociación Nacional de Contadores y Economistas de Cuba (ANEC) y la Asociación de Pedagogos de Cuba (APC).

Ing. Alicia Espinosa Gronzo
Centro de Estudios para la Arquitectura y la Construcción Tropical (CECAT) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae) Profesor Auxiliar, se desempeña como Metodóloga. Es graduada de: Ingeniera Civil, por la Cujae. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC).

M. Sc. Ing. Rosa María Méndez Pérez
Dirección de Inversiones del Ministerio de Industrias. Profesor Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae). Es graduada de: Ingeniera Civil, por la Cujae. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN CON REFUERZO HÍBRIDO ACERO-PRF EN SITUACIÓN DE INCENDIO.

**Ing. Michael R. MackchaserVedey[1], Dra. Ing. Isel del C. Díaz Pérez[2]**

[1,2]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba.
[1]e-mail: mrobmackv@civil.cujae.edu.cu, [2]iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El empleo de barras de polímeros reforzados con fibras (PRF) como refuerzo principal en estructuras de hormigón ha aumentado considerablemente en las últimas tres décadas. Su elevada relación resistencia-peso y la no corrosión son propiedades que lo hacen competitivo ante el refuerzo tradicional de acero. Sin embargo, a elevadas temperaturas las barras pierden resistencia y rigidez a consecuencia de la degradación de la matriz y consecuentemente los elementos estructurales sufren una disminución en la capacidad resistente, así como pérdida de adherencia entre la barra y el hormigón. El empleo de refuerzo híbrido de acero y PRF constituye una solución factible para aumentar la resistencia al fuego de vigas de hormigón armado. En el presente trabajo se realiza el análisis de vigas con diferentes cuantías de refuerzo híbrido acero y polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) buscando relaciones que contribuyan a incrementar la resistencia a flexión de las mismas. Los resultados demuestran que al incluir acero en la sección se producen incrementos en la resistencia a flexión a elevadas temperaturas, estando condicionada esta influencia por la posición que ocupa cada refuerzo en la sección.

**PALABRAS CLAVES:** hormigón armado, PRFV, refuerzo híbrido, resistencia al fuego, vigas

# STUDY OF THE DEGRADATION OF THE FLEXURAL RESISTANCE OF CONCRETE BEAMS WITH STEEL-FRP HYBRID REINFORCEMENT IN A FIRE SITUATION.

## ABSTRACT

The use of fiber-reinforced polymer (FRP) bars as the main reinforcement in concrete structures has increased considerably in the last three decades. Its high strength-to-weight ratio and non-corrosion properties make it competitive with traditional steel reinforcement. However, at high temperatures the bars lose strength and stiffness as a result of matrix degradation and consequently the structural elements suffer a decrease in the resistance capacity, as well as loss of adhesion between the bar and the concrete. The use of hybrid reinforcement of steel and FRP constitutes a feasible solution to increase the fire resistance of reinforced concrete beams. In this work, the analysis of beams with different amounts of hybrid reinforcement of steel and fiberglass-reinforced polymer (FRP) is carried out, looking for relationships that contribute to increasing their flexural strength. The results show that the inclusion of steel in the section produces increases in the bending moment capacity at high temperatures, this influence being conditioned by the position occupied by each reinforcement in the section.

**KEY WORDS:** reinforced concrete, GFRP, hybrid reinforcement, fire resistance, beams.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de barras de polímeros reforzados con fibras (PRF) como refuerzo principal en estructuras de hormigón ha aumentado considerablemente en las últimas tres décadas. La alta relación fuerza-peso y la resistencia a la corrosión son sus características más interesantes, lo que las hace más buscadas en el diseño y construcción de edificios en ambientes agresivos, particularmente en estructuras en alta mar, puentes y estacionamientos donde la corrosión puede causar el deterioro de la resistencia de refuerzo y serviciabilidad de toda la estructura. Por otro lado, el bajo módulo de elasticidad de las barras de PRF puede restringir su aplicabilidad y violentar los límites de servicio de estructuras sometidas a altas cargas de servicio, mientras que, la baja resistencia al fuego puede no satisfacer los requisitos de resistencia de las estructuras propensas al fuego [1].

La exposición a elevadas temperaturas de los materiales, degenera sus características físicas y químicas, y causa la reducción de la resistencia y la rigidez de los elementos estructurales y, por consiguiente, su rotura localizada o colapso progresivo [2], por tanto, es esencial conocer la resistencia al fuego de los mismos para predecir el comportamiento de los elementos estructurales en situación de incendio.

Estudios realizados en vigas de hormigón armado con PRF [3] demuestran que en situación de incendio estos elementos sufren una pérdida de resistencia y rigidez significativa en comparación con el acero. Entre los principales factores que influyen en la resistencia al fuego están el recubrimiento, el diámetro de las barras, así como el peralto de los elementos [4, 5].

Una posible solución a este problema lo ofrece el considerar la combinación híbrida de refuerzo longitudinal de PRF y acero como refuerzo de tracción principal. La inclusión del acero al refuerzo con PRF permite un incremento de las propiedades mecánicas de las secciones donde se utilicen ambos materiales, esto se debe a que se logra un trabajo en conjunto entre ellos [1, 6, 7], permitiendo el aprovechamiento de las propiedades de cada uno, el acero brinda la ductilidad deseada y mayor resistencia al fuego en todas las estructuras, mientras que el PRF brinda una elevada resistencia a tracción y durabilidad, conformándose así un elemento con mejores prestaciones. La existencia de ambos materiales en la sección permite variar la disposición del refuerzo en función de los agentes externos que actúan sobre la estructura. Bajo la influencia de las altas temperaturas al colocar el acero en la camada inferior existe un incremento de la capacidad resistente del elemento debido a que este presenta mejores propiedades para resistir las mismas, mientras que ante la influencia de ambientes agresivos el PRF puede ocupar esta posición gracias a su alta resistencia a la corrosión [8, 9]. En la actualidad son pocos los estudios sobre el tema [4] donde se combinan ambos refuerzos y en su mayoría los consideran en distintas camadas y no distribuidos de manera combinada.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia del refuerzo híbrido de acero y PRFV en la degradación de la resistencia a momento flector en vigas de hormigón armado en situación de incendio mediante un modelo matemático para diseñar el refuerzo híbrido de una viga de hormigón armado en situación de incendio, considerando la posible distribución del refuerzo en dos camadas dentro de la sección transversal. El método se establece sobre la base de las hipótesis y recomendaciones establecidas para el diseño tanto con acero como con PRF.

## 2. MOMENTO FLECTOR EN VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO CON REFUERZO HÍBRIDO EN SITUACIÓN DE INCENDIO

En el diseño de estructuras en situación de incendio, debe verificarse que la resistencia de la estructura (o parte de ella) sea superior a la severidad del incendio a la que se expone. Los modelos para la verificación

de la seguridad estructural en situación de incendio, no difieren de aquellos establecidos a temperatura ambiente. Sin embargo, el diseño a elevadas temperaturas es más complejo debido a que la respuesta estructural en situación de incendio está íntimamente relacionada a la respuesta térmica de los elementos y consecuentemente con la respuesta térmica de los materiales [2].

**2.1 Metodología para el diseño a elevada temperatura de secciones rectangulares sometidas a flexión simple con refuerzo híbrido.**

***Notación empleada***

$M_{n\theta}$: Momento nominal resistente a elevada temperatura.

$f'_{c,\theta}$: Resistencia a compresión reducida del hormigón a elevada temperatura.

$a_{si}$: Área total de las barras longitudinales de acero en tracción.

$f_{si,\theta}$:Tensión real de trabajo de las barras longitudinales de acero en tracción reducida a elevadas temperaturas.

$f_{yi,\theta}$:Resistencia especificada a la fluencia de las barras de acero reducida a temperatura elevada.

$d_{ss}$: Altura efectiva de la sección para las barras de acero.

$E_{si,\theta}$: Módulo de elasticidad a tracción reducida del refuerzo de acero a elevada temperatura.

$\varepsilon_{s,\theta}$: Deformación de la barra de acero reducida a elevada temperatura.

$\beta_1$: Coeficiente asociado a la profundidad del bloque rectangular equivalente para diseños hiperreforzados.

c: Profundidad de la línea neutra para el estado límite de resistencia, medida a partir de la fibra más comprimida del hormigón.

b: ancho de la sección rectangular del hormigón.

$a_{fi}$: Área total de las barras longitudinales de PRF en tracción.

$f_{ffi,\theta}$:Tensión real de trabajo de las barras longitudinales de PRF en tracción reducida a elevadas temperaturas.

$f_{fui,\theta}$:Tensión última de trabajo de las barras longitudinales de PRF en tracción reducida a elevadas temperaturas.

$d_{ff}$: Altura efectiva de la sección para las barras de PRF.

$E_{fi,\theta}$: Módulo de elasticidad a tracción reducida del refuerzo PRF a elevada temperatura.

$\varepsilon_{s,\theta}$: Deformación de la barra de PRF reducida a elevada temperatura.

Se propone una metodología para el cálculo del momento flector teniendo en cuenta la degradación en la resistencia del refuerzo debido a las temperaturas elevadas, así como la disminución en las dimensiones de la sección transversal según el Método de la isoterma 500ºC, tomando como referencia los trabajos de Albuquerque, G. [10] y Díaz, I. [4] en vigas de hormigón armado con acero y PRFV, respectivamente. Tanto el momento resistente como la profundidad de línea neutra se determinan en función del tipo de fallo, a partir de las expresiones establecidas en el diseño a temperatura ambiente. El comportamiento de ambos refuerzos permite reconocer cuatro posibles casos en el desarrollo del modelo analítico:

**Caso 1:** El acero fluye y el PRF alcanza su tensión última.

- $\varepsilon_s > \varepsilon_y, \quad f_s = f_y$
- $\varepsilon_f > \varepsilon_{fu}, \quad f_f = f_{fu}$

$$0{,}85 \cdot f'_{c,\theta} \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot f_{yi,\theta}) + \sum (a_{fi} \cdot f_{fui,\theta}) \quad \textbf{(1)}$$

$$M_{n\theta} = \sum (a_{si} f_{yi,\theta}) \cdot (d_{ss} - \frac{\beta_1 c}{2}) + \sum (a_{fi} f_{fui,\theta}) \cdot (d_{ff} - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad \textbf{(2)}$$

**Caso 2:** El acero no se encuentre en fluencia y el PRF alcanza su máxima deformación garantizando un diseño hiporreforzado.

- $\varepsilon_s < \varepsilon_y, \quad f_s = E_s \cdot \varepsilon_s$
- $\varepsilon_f > \varepsilon_{fu}, f_f = f_{fu}$

$$0{,}85 \cdot f'_{c,\theta} \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot E_{si,\theta} \cdot \varepsilon_{si,\theta}) + \sum (a_{fi} \cdot f_{fui,\theta}) \quad \textbf{(3a)}$$

Sustituyendo la deformación en función de la deformación del hormigón (compatibilidad de deformaciones:

$$0{,}85 \cdot f'_{c,\theta} \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot E_{si,\theta} \cdot 0{,}003 \cdot \frac{d_{ss} - c}{c}) + \sum (a_{fi} \cdot f_{fui,\theta}) \quad \textbf{(3b)}$$

La solución del binomio brinda dos valores, por lo tanto, se selecciona aquel que sea más lógico (valor menor que 0,375d).

$$M_{n\theta} = \sum (a_{si} f_{si,\theta}) \cdot (d_{ss} - \frac{\beta_1 c}{2}) + \sum (a_{fi} f_{fui,\theta}) \cdot (d_{ff} - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad \textbf{(4)}$$

**Caso 3:** El acero se encuentre en fluencia y el PRF no alcanza su máxima deformación, lo que se corresponde con un diseño hiperreforzado.

- $\varepsilon_s > \varepsilon_y, \quad f_s = f_y$
- $\varepsilon_f < \varepsilon_{fu}, \quad f_f = E_f \cdot \varepsilon_f$

$$0{,}85 \cdot f'_{c,\theta} \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot f_{yi,\theta}) + \sum (a_{fi} \cdot E_{fi,\theta} \cdot \varepsilon_{fi,\theta}) \quad \textbf{(5a)}$$

Sustituyendo la deformación en función de la deformación del hormigón (compatibilidad de deformaciones:

$$0{,}85 \cdot f'_{c,\theta} \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot f_{yi,\theta}) + \sum (a_{fi} \cdot E_{fi,\theta} \cdot 0{,}003 \cdot \frac{d_{ff} - c}{c}) \quad \textbf{(5b)}$$

$$M_{n\theta} = \sum (a_{si} f_{yi,\theta}) \cdot (d_{ss} - \frac{\beta_1 c}{2}) + \sum (a_{fi} f_{ffi,\theta}) \cdot (d_{ff} - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad \textbf{(6)}$$

**Caso 4:** El acero no se encuentre en fluencia y el PRF no alcanza su máxima deformación, lo que se corresponde con un diseño hiperreforzado.

- $\varepsilon_s < \varepsilon_y, \quad f_s = E_s \cdot \varepsilon_s$
- $\varepsilon_f < \varepsilon_{fu}, \quad f_f = E_f \cdot \varepsilon_f$

$$0{,}85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot E_{si,\theta} \cdot \varepsilon_{si,\theta}) + \sum (a_{fi} \cdot E_{fi,\theta} \cdot \varepsilon_{fi,\theta}) \quad \textbf{(7a)}$$

Sustituyendo la deformación de ambos refuerzos en función de la deformación del hormigón (compatibilidad de deformaciones:

$$0{,}85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = \sum (a_{si} \cdot E_{si,\theta} \cdot 0{,}003 \cdot \frac{d_{ss} - c}{c}) + \sum (a_{fi} \cdot E_{fi,\theta} \cdot 0{,}003 \cdot \frac{d_{ff} - c}{c}) \quad \textbf{(7b)}$$

$$M_{n\theta} = \sum (a_{si} f_{si,\theta}) \cdot (d_{ss} - \frac{\beta_1 c}{2}) + \sum (a_{fi} f_{ffi,\theta}) \cdot (d_{ff} - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad \textbf{(8)}$$

Como es evidente, el valor de momento flector degradado depende de la tensión que posea cada barra y las distancias de las mismas hacia el centro de la profundidad del bloque rectangular, aspectos que, a su vez, están influenciados por los efectos de la temperatura en las propiedades de los materiales y marcan la diferencia entre los diseños a temperatura ambiente y a elevadas temperaturas.

**Efecto de la temperatura en la resistencia de los materiales.**

En el caso del hormigón se utilizará el método de la isoterma 500ºC [11]. Este método simula la descomposición de la resistencia del hormigón calentado a partir de la reducción de la zona resistente. La región "desechada" es aquella en la que la temperatura en el hormigón es superior a 500°C, ya que se supone que en esta condición el material está demasiado dañado debido a la acción del fuego. Este análisis conlleva a considerar una sección de dimensiones reducidas, aquella rodeada por la isoterma de 500°C, también referida en alguna literatura como efectiva o residual.

La resistencia a la compresión característica del hormigón presente en la región efectiva se admite igual a la considerada a temperatura ambiente.

$$f'_{c\theta} = f'_c \quad \textbf{(9)}$$

En el caso del refuerzo se determina la fuerza que aporta cada barra, teniendo en cuenta mediante los coeficientes $k_{s,\theta i}$ [11] o $k_{f,\theta i}$ [12, 13]según el tipo de refuerzo, acero o PRF respectivamente, el grado de degradación que sufre cada una según la posición que ocupa en la sección transversal.

$$f_{s\theta} = k_{s,\theta i} \cdot f_s \quad \textbf{(10)}$$

$$f_{fu\theta} = k_{f,\theta i} \cdot f_{fu} \quad \textbf{(11)}$$

**Validación de la propuesta**

Para validar la metodología propuesta se decide aplicar la misma a una viga de hormigón armado con PRFV y sus resultados son comparados con los obtenidos en la investigación realizada por Yu and Kódur [9].

Los autores, a partir de un modelo desarrollado y validado por ellos mismos llevan a cabo un estudio paramétrico con el objetivo de evaluar la influencia de factores como el tipo de refuerzo y recubrimiento en el comportamiento de vigas de hormigón armado con PRF en situación de incendio. Para el estudio consideran una viga típica de hormigón armado de sección transversal de 305 x 533 mm y 6,01 m de luz, variando los parámetros antes mencionados, lo que condujo a un total de seis tipos de vigas diferentes. La viga seleccionada estaba armada con barras de PRFV y acero distribuidas en dos camadas (viga VI) cuyas propiedades se muestran en la Tabla 1**.**

Tabla 1 Propiedades de la viga ensayada [9]

| | |
|---|---|
| Dimensiones [mm] | 305 x 533 |
| Recubrimiento neto[mm] | 38 |
| Refuerzo acero en tracción [mm] | 4 Ø 16 |
| Refuerzo PRFV en tracción [mm] | 4 Ø 16 |
| Resistencia a compresión del hormigón $(f'_c)$[MPa] | 34,5 |
| Resistencia de diseño a tracción del refuerzo de acero $(f_y)$ [MPa] | 413 |
| Resistencia de diseño a tracción del refuerzo PRFV$(f_{fu})$[MPa] | 620 |
| Módulo de elasticidad a tracción del refuerzo de acero $(E_s)$[MPa] | 200 000 |
| Módulo de elasticidad a tracción del refuerzo PRFV$(E_{fu})$[MPa] | 44 800 |
| Fuego | ASTM E 119 |

Partiendo de las temperaturas obtenidas en la sección mediante el análisis térmico realizado con SuperTempcalc, y considerando las expresiones propuestas para el cálculo de las resultantes en fuerzas de ambos materiales, se obtiene la curva de degradación de la resistencia a momento flector en función del tiempo. Los resultados de la comparación se muestran en la figura 1.

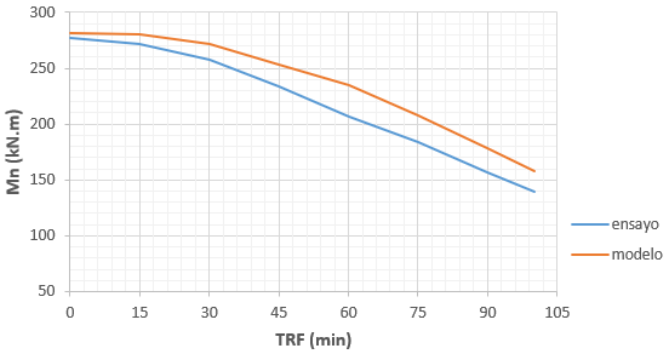
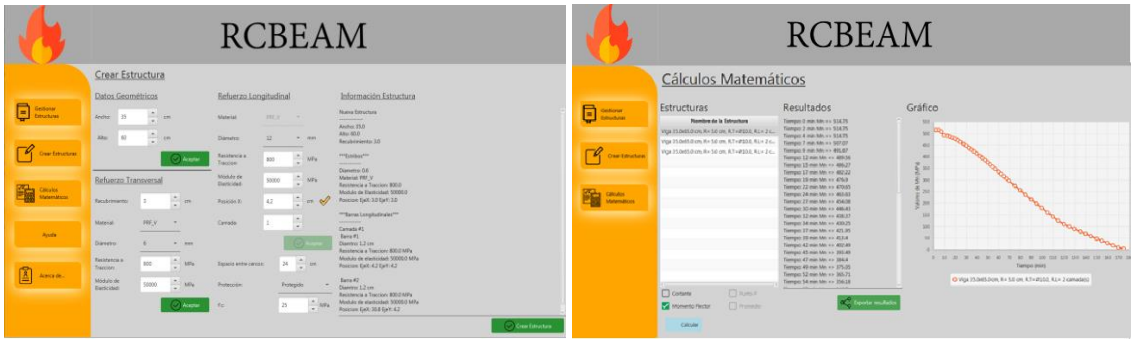



**Figura 1:** Degradación de la resistencia a momento flector en viga con refuerzo híbrido acero -PRFV

Los gráficos muestran una adecuada correspondencia entre los valores de momentos obtenidos. A temperatura ambiente, se obtiene un error relativo del 1%, correspondiente a valores de momentos de 281.6 $kN \cdot m$ y 277.01 $kN \cdot m$, en el caso del modelo y el ensayo respectivamente. Mientras que el fallo de la viga producto a las elevadas temperaturas, según los resultados mostrados en la investigación, tiene lugar a los 100 minutos, lo cual se corresponde con un momento aproximado de 140 $kN \cdot m$, en tanto, el momento obtenido en el modelo, para el mismo tiempo de exposición, es igual a 158.32 $kN \cdot m$, obteniéndose un error relativo del 11 % el cual se considera aceptable en términos de temperatura [4, 14], y [15]. En ambos casos se observa desde las etapas iniciales de exposición al fuego una rápida degradación de la capacidad de momento la cual está dada por la descomposición de la matriz polimérica, instante a partir del cual, la caída se hace más leve, pues el acero, encargado de continuar tomando los esfuerzos de tracción, continúa degradándose, pero de una manera más lenta. Este resultado valida la efectividad del método propuesto para predecir la resistencia a flexión de la viga de hormigón armado con refuerzo híbrido de acero y PRFV en situación de incendio.

### 2.2 Automatización del cálculo.

Teniendo en cuenta la complejidad matemática del proceso y procurando el análisis de múltiples variantes se decide emplear la herramienta computacional RCBEAM (Figura 2), creada por los autores, capaz de realizar el análisis estructural de secciones de vigas de hormigón con PRFV y acero en situación de incendio y a temperatura ambiente a partir de los resultados emitidos por el módulo de análisis térmico de SuperTempcalc y validada en estudios anteriores[4]. La misma fue perfeccionada para el refuerzo híbrido sobre la base de la metodología propuestas para este fin.




a) Ventana entrada de datos b) Ventana de cálculos y resultados

**Figura 2:** Programa RCBEAM. a) Ventana entrada de datos y b) Ventana de cálculos y resultados

El programa se apoya en una base de datos en Microsoft Excel (fichero *.csv)*, integrada por las salidas en igual formato de los resultados del SuperTempcalc. A partir de ahí se genera un mallado en la sección procurando correspondencia con los criterios seguidos por dicho programa en la discretización automatizada del dominio y se desarrolla un algoritmo que permite identificar el número y la temperatura correspondiente a cada nodo. La temperatura media de cada elemento finito se determina a partir de los valores de temperatura de cada uno de los cuatro nodos que lo definen, en cada tiempo de exposición al fuego considerado. El incendio se modeló a través de la curva estándar de temperatura-tiempo ISO 834 (1990).

## 3. RESULTADOS

Para el estudio se consideró una misma viga de sección transversal rectangular de dimensiones b=300mm y h=500mm, con seis armados híbridos diferentes tal como se muestra en la figura 3. Las distribuciones de ambos refuerzos estuvieron dadas teniendo en cuenta las diferentes combinaciones que podían tener estos a partir de fijar ocho barras totales y tomando en consideración las posibles distribuciones de los mismos, en cumplimiento de los criterios existentes para ello (distribución simétrica, separación horizontal, alineación de las barras dispuestas en diferentes camadas). Se fijaron relaciones entre las áreas de refuerzo ($A_f/A_s$) igual a 1 (variantes 3 y 4), a 0,33 (variantes 5 y 6) y 3 (variantes 7 y 8), diferenciadas por la posición del refuerzo en la sección transversal. Las variantes 1 y 2, armadas con 8Ø16 de acero y 8Ø16 de PRFV respectivamente, se crearon como patrones de comparación.

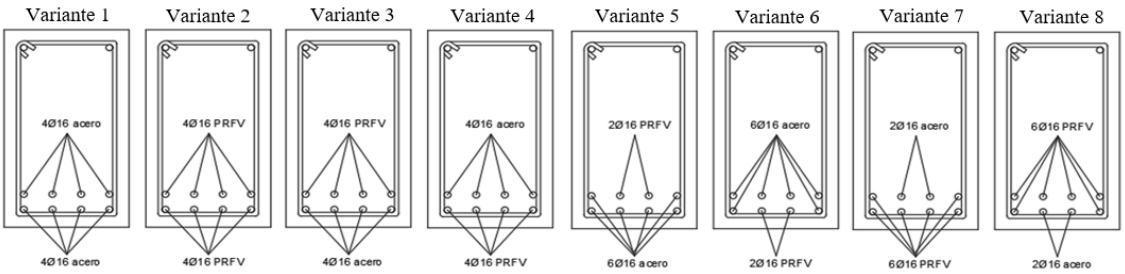



**Figura 3:** Configuraciones de armados consideradas en el diseño

Las propiedades del hormigón, acero y PRFV se muestran a continuación:

Resistencia y densidad el hormigón: $f'_C = 25\text{MPa};\ \beta_1 = 0{,}85$

Características mecánicas del acero:
- $f_y = 300\text{MPa}$
- $E_s = 200000\text{MPa}$

Características mecánicas del PRFV:
- $f^*_{fu} = 800\text{MPa}$
- $E_f = 50000\text{MPa}$
- $C_E = 0{,}8$ sin contacto con el suelo

Recubrimiento ($r_n$): 30mm

### 3.1 Evaluación de la degradación de la resistencia

Los datos fueron introducidos en el programa RCBEAM y se obtuvieron las curvas de degradación del momento resistente a elevadas temperaturas en función del tiempo de resistencia al fuego (TRF) del elemento para el análisis de las variantes de refuerzo propuestas. El análisis de la influencia de la relación área de acero vs área de PRFV se realizó evaluando los momentos para las variantes 2 (PRFV total), 4 ($A_f/A_s = 1$), 6 ($A_f/A_s = 0{,}33$) y 7 ($A_f/A_s = 3$). Los tres últimos casos se corresponden con las barras

de PRFV dispuestas en su mayoría hacia las fibras más expuestas al fuego. Los resultados del análisis se muestran en la figura 4.

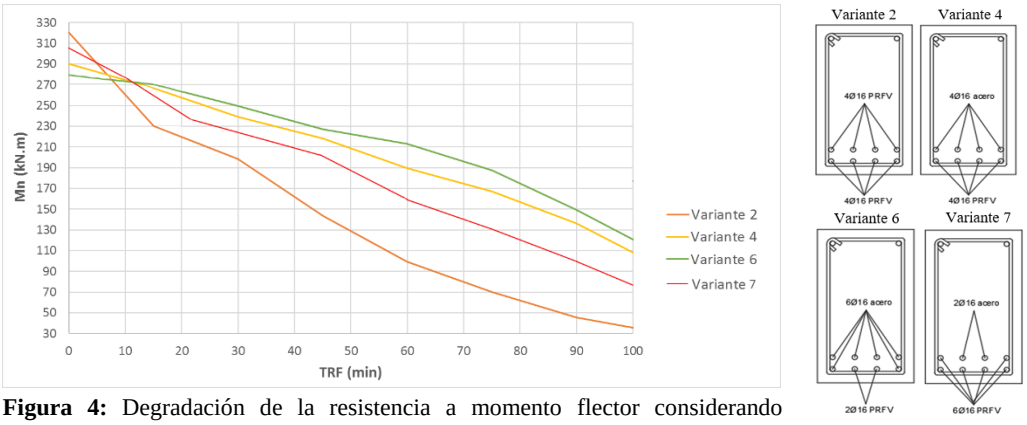



**Figura 4:** Degradación de la resistencia a momento flector considerando diferentes cuantías de PRFV.

A partir del análisis de los gráficos se puede observar cómo en todos los casos existe una caída de la capacidad resistente de la sección puesto que las barras de PRFV que componen el refuerzo híbrido se encuentran en la primera camada y reciben directamente el calor, siendo más brusca, como era de esperarse, en la viga totalmente armada con PRFV (variante 2) y más suave en aquella donde predominan las barras de acero (variante 6). Resulta evidente como al incluir acero como parte del refuerzo el elemento analizado tiene una mejor respuesta ante las elevadas temperaturas. Puede observarse que al incluir solo dos barras de acero en la segunda hilera (zona menos caliente), variante 7, la degradación de la resistencia del elemento es menor, alcanzándose diferencias máximas con respecto a la viga armada totalmente con PRFV del 43% a los 45 min aproximadamente.

De igual forma, se aprecia como a temperatura ambiente (TRF=0) la inclusión de barras de acero en la sección provoca una disminución en el momento resistente llegando a alcanzarse una disminución del 14 % para la sección con predominio de acero ($A_f/A_s = 0{,}33$). Cuando existe igual número de barras de ambos refuerzos (variante 4) la sección exhibe un incremento en su capacidad superior al 50% después de 30 min bajo la acción de la temperatura, siendo este el tiempo mínimo requerido reconocido por las normas para viviendas y edificaciones de menos de 6m de altura [11].

Tal como se ha demostrado la relación entre ambos refuerzos tiene una influencia significativa en la degradación de la resistencia a momento flector en vigas de hormigón armado. Sin embargo, esta influencia puede estar condicionada por la posición que ocupa cada refuerzo considerado en la sección, si se tiene en cuenta que el grado de degradación que sufre cada barra está dado, además de por el material, por la posición que esta ocupa en la sección transversal. Por esta razón se decide incluir en el análisis las variantes 3, 5 y 8, con iguales relaciones de cuantías a las ya analizadas, pero con diferentes distribuciones de los refuerzos (Figura 5).

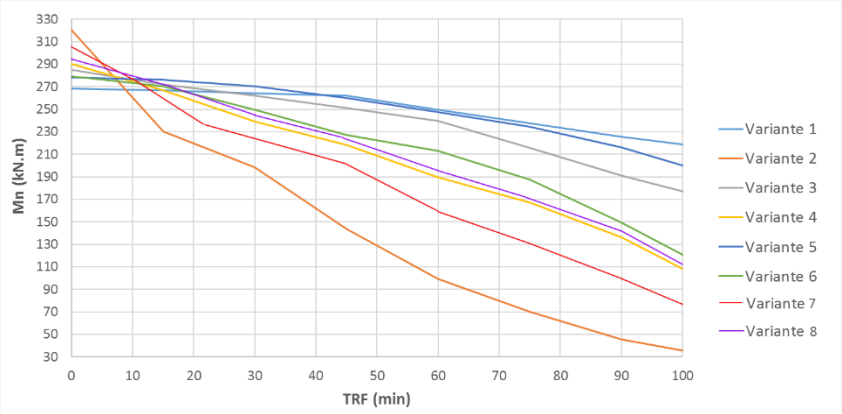



**Figura 5:** Degradación de la resistencia a momento flector para todas las variantes analizadas

Se puede apreciar que la viga de hormigón armado reforzada con barras de PRFV, a temperatura ambiente, es la variante con mayor capacidad resistente a flexión, sin embargo, también la que presenta mayor degradación a elevadas temperaturas. En el caso de la variante de viga reforzada con barras de acero, la degradación es mucho más suave como era de esperar. Debe destacarse que todas las variantes con refuerzo híbrido alcanzan resistencias superiores a temperatura ambiente que la variante de viga reforzada solo con barras de acero lo que permite confirmar la ganancia en resistencia que aporta el PRFV en la sección.

El análisis de variantes con iguales relaciones de cuantías: variantes 3 y 4 ($A_f/A_s = 1$), variantes 5 y 6 ($A_f/A_s = 0{,}33$) y variantes 7 y 8 ($A_f/A_s = 3$) y, muestra que aquellas donde la mayoría de las barras de PRFV se encuentran en la segunda camada más alejadas del calor tiene un mejor comportamiento, lo que viene a confirmar la importancia de la posición de las barras en la sección. Una comparación entre los momentos alcanzados a los 45 min arroja diferencias del 22%, 14% y 12% para las relaciones de 1; 0,33 y 3 respectivamente.

Entre las variantes híbridas analizadas la número cinco, con relación de cuantías ($A_f/A_s = 0.33$), es la que presenta mayor momento resistente, muy similar a la sección reforzada solo con acero, ya que solo tiene dos barras de PRFV y además están en el centro de la camada. Esta sección presenta mayor resistencia a temperatura ambiente por su combinación de refuerzo híbrido y se mantiene bastante estable hasta los 45 minutos, donde a una temperatura de 67°C comienzan a ocurrir la disminución de la resistencia de la viga.

La curva de degradación correspondiente a la variante 3, con iguales cantidades de refuerzo dispuestos de manera tal que el acero esté ubicado hacia las zonas más calientes (1ra hilera), evidencia una notable mejoría en la respuesta de la sección en términos de momento a elevadas temperaturas. Con esta distribución se alcanzan incrementos en la capacidad resistente a flexión del 75% con respecto a la viga armada con PRFV pasados 30min de iniciado el incendio.

## 4. CONCLUSIONES

El estudio realizado de la degradación de momento flector en una viga de hormigón de 30 x 50 cm, armada con refuerzo híbrido de acero y PRFV, ambos de Ø16mm, permite concluir que a medida que aumenta el área de acero y disminuye la de PRFV se observa un incremento en la resistencia momento flector de la viga en situación de incendio, sin embargo, disminuye la capacidad de la misma a temperatura ambiente.

La disposición de las barras en la sección transversal de la viga también es un factor influyente en la degradación la resistencia a momento flector, resultando conveniente para iguales relaciones de cuantía colocar las barras de PRFV alejadas de las caras más calientes de la sección.

Una relación entre ambos refuerzos $A_f/A_s = 1$, con las barras de PRFV colocadas hacia el interior de la sección y el acero hacia las caras extremas, puede ser recomendada ya que garantiza un incremento notable en la capacidad resistente a flexión de la viga a elevadas temperaturas, así como una buena resistencia a temperatura ambiente.

**REFERENCIAS**

1. Al-Thairy, H., *A simplified method for steady state and transient state thermal analysis of hybrid steel and FRP RC beams at fire.* Case Studies in Construction Materials, 2020. **13**: p. e00465.
2. Pardo, Y.L., *Bases Conceptuales, Metodológicas y de Cálculo para el Diseño Estructural en Situaciones de Incendio en Cuba.* Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 2018. **8**(1).
3. Vedey, M.M. and I.d.C.D. Perez, *BARRAS DE POLIMEROS REFORZADO CON FIBRAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO. REVISIÓN.* Revista Ciencia y Construcción, 2021. **2**(3): p. 93-107.
4. Díaz Pérez, I.d.C., *Determinación de la degradación de las resistencias a momento flector y cortante en vigas de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras en situación de incendio*, in *Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras*. 2021, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
5. Nasreen, M.K., *Numerical Study of FRP Reinforced Concrete under Fire Exposure.* International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2016. **Vol. 5**(Issue 9): p. 10.
6. Kim, S. and S. Kim, *Flexural behavior of concrete beams with steel bar and FRP reinforcement.* Journal of asian architecture and building engineering, 2019. **18**(2): p. 89-97.
7. Sun, Z., et al., *Experimental study on the flexural behavior of concrete beams reinforced with bundled hybrid steel/FRP bars.* Engineering Structures, 2019. **197**: p. 109443.
8. Rafi, M.M. and A. Nadjai, *Numerical modelling of carbon fibre-reinforced polymer and hybrid reinforced concrete beams in fire.* Fire and materials, 2013. **37**(5): p. 374-390.
9. Yu, B. and V. Kódur, *Factors governing the fire response of concrete beams reinforced with FRP rebars.* Composite Structures, 2013. **100**: p. 257–269.
10. Albuquerque, G.B., *Dimensionamiento de vigas de concreto armado en situación de incendio.*, in *Engenharia de Estruturas*. 2012, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo p. 246.
11. UNE-EN 1992-1-2, *Proyecto de estructuras de hormigón*, in *Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*. 2011, AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación: Madrid. España. p. 101.
12. Nadjai, A., D. Talamona, and F. Ali. *Fire perfomance of concrete beams reinforced with FRP bars.* in *International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures* 2005. International Institute for FRP in Construction.
13. Rafi, M., A. Nadjai, and F. Alí, *Finite Element Modeling of Carbon Fiber-Reniforced Polymer Reinforced Concrete Beams under Elevated Temperatures.* ACI Structural Journal, 2008. **Vol 105**: p. 10.
14. Larrua, Y., *Comportamiento termo-estructural y diseño de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio.*, in *Departamento de Construcciones*. 2016, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. p. 226.
15. Fundora Gutiérrez, G., *EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL EMPLEO DE UN REFUERZO HÍBRIDO DE ACERO Y POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO (PRFV) EN LA DEGRADACIÓN DE LA RESISTENCIA A MOMENTO FLECTOR DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO EN SITUACIÓN DE INCENDIO.*, in *Departamento de Estructuras*. 2021, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. p. 81.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SHOWCRETE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AISLADOS DE HORMIGÓN ARMADO.
## Showcrete FRP v1.0.6

**MSc. Ing. Pedro Juan Piedrahita Pérez[1], Ing. Javier del Sol Pérez[2], Dra. Ing. Isel Díaz Pérez[3]**

[2]Pyme πlares Construcciones. SRL, Calle 58b No 4531ª e/ 45 y 47, Playa, La Habana, Cuba.
[3]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 #11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba.
[1]e-mail: piedracivil@gmail.com, [2]jdelsol.cu@gmail.com, [3]iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Showcrete FRP es un software que constituye una herramienta práctica para complementar el diseño estructural de elementos aislados de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras (PRF). La resistencia a la corrosión y sustancias químicas, bajo peso y elevada durabilidad, entre otras, constituyen ventajas de este refuerzo con respecto al acero que lo convierten en una excelente alternativa a tener en cuenta en el campo de la construcción. Aun cuando las investigaciones y comercialización de estos materiales comenzaron a crecer notablemente a partir de 1980 y existen códigos y normas que regulan los modelos para el diseño, en la actualidad no existe un software que facilite el diseño de elementos estructurales de hormigón armado con PRF. Showcrete FRP permite al ingeniero civil diseñar elementos solicitados a flexión y flexo-compresión de una forma muy fácil, rápida y eficaz, realizando diseños racionales que cumplen con las normativas del código ACI 440.1R-2021 (American Concrete Institute).

**PALABRAS CLAVES:** diseño estructural, hormigón armado, Showcrete, PRF.

**ABSTRACT**

Showcrete FRP is a software that is a practical tool to complement the structural design of isolated elements of reinforced concrete with fiber-reinforced polymer (FRP) bars. Resistance to corrosion and chemicals, low weight and high durability, among others, are advantages of this reinforcement with respect to steel that make it an excellent alternative to consider in the field of construction. Although research and marketing of these materials began to grow significantly from 1980 and there are codes and standards that regulate the models for design, currently there is no software that facilitates the design of structural elements of reinforced concrete with FRP. Showcrete FRP allows the civil engineer to design elements subject to bending and flexo-compression in a very easy, fast and efficient way, creating rational designs that comply with the regulations of the ACI 440.1R-2021 code (American Concrete Institute).

**KEY WORDS:** structural design, reinforced concrete, Showcrete, FRP.

## 1 INTRODUCCIÓN

El polímero reforzado con fibras (PRF) es un material compuesto que aventaja al acero debido fundamentalmente a su alta resistencia a la corrosión y su elevada relación resistencia - peso. En general, el uso de este material, puede resultar competitivo económicamente al ser su resistencia a la tracción al menos dos veces mayor respecto a la del acero, poseer entre una cuarta y una décima parte de su peso y contar con una probada estabilidad anticorrosiva, y transparencia magnética, así como, reducir los costos de mantenimiento de las obras en más del 80% a largo plazo. Sin embargo, también exhibe desventajas que pueden llegar a limitar su uso en la construcción como refuerzo del hormigón entre las que pueden citarse: que no alcanza fluir antes de la ruptura (colapso frágil), presenta bajo módulo de elasticidad, tiene menor resistencia a compresión que a tracción y baja resistencia a las elevadas temperaturas debido en gran medida a la composición de sus materiales.

El análisis de los elementos armados con PRF sometidos a flexión simple y compuesta exige una adecuación de los modelos analíticos existentes para el diseño con acero, respetando las invariantes de los procesos de análisis a nivel de sección, y reconociendo en ellas la integración de las ecuaciones de equilibrio, las leyes de compatibilidad de las deformaciones, condicionadas a la aceptación de una adherencia perfecta entre ambos materiales, y las leyes constitutivas, tanto del hormigón como del refuerzo de PRF [1]. Los datos experimentales sobre elementos de hormigón reforzados con barras de PRF muestran que la capacidad de flexión puede calcularse en base a hipótesis similares a las concebidas para elementos reforzados con barras de acero, teniendo en cuenta la relación tensión-deformación lineal de estos materiales de PRF [2].

Debido al comportamiento no dúctil tanto del refuerzo PRF como del hormigón, los modos de falla por flexión de las secciones de hormigón armado con PRF son frágiles por naturaleza. La capacidad de flexión de estos elementos dependerá fundamentalmente del tipo de fallo.

Existen dos posibles modos de falla a flexión de una sección de hormigón reforzada con barras de PRF (Manual de diseño. RCS con FRP Canadá, 2007):

- Falla por compresión controlada ($\varepsilon'_c = \varepsilon'_{cu} = 0{,}003$, y $\varepsilon_f < \varepsilon_{fu}$).
- Fallo por tracción controlada ($\varepsilon'_c < 0{,}003$ y $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu}$).

Por otro lado, cuando se usa PRF como refuerzo de corte, es necesario reconocer que estos tienen una alta resistencia a la tracción y no tienen límite de fluencia, poseen un módulo de elasticidad relativamente bajo, la resistencia transversal a los esfuerzos de corte es realmente baja y la resistencia a la tracción en la zona en que la barra es doblada es sensiblemente menor a la que la misma barra garantiza en su porción recta [3, 4]. Como consecuencia, la capacidad a cortante en secciones de hormigón armado con PRF se espera sea diferente de aquellas reforzadas con acero convencional.

Asimismo, numerosas investigaciones realizadas en las dos últimas décadas confirman que los elementos de hormigón reforzados con barras de PRF presentan, en general, una menor rigidez una vez que comienzan a fisurarse, si se les compara con aquellos reforzados con barras de acero. Por esta razón es frecuente que la deformación (flecha) bajo cargas de servicio sea el criterio que gobierne en tales diseños, especialmente cuando se decida utilizar la condición que, como ya se ha adelantado, se relaciona con fallos más frágiles por la ruptura del refuerzo, antes que por el aplastamiento del hormigón [1, 2].

Showcrete es un software que constituye una herramienta práctica para complementar el diseño estructural de elementos aislados de hormigón armado con PRF, con independencia del tipo de fibra empleada: fibras de vidrio (PRFV), fibras de carbón (PRFC), fibras de aramida (PRFA) o fibras de basalto (PRFB).

Con este software el ingeniero civil puede diseñar vigas, columnas, losas, entre otros elementos que se encuentren sometidos a los estados límites últimos de flexión, flexo-compresión y cortante y los estados límites de servicios de fluencia y fatiga, deformación y fisuración, de acuerdo a los requisitos normativos del código ACI-440-2021.

Este software cuenta con 6 módulos independientes que permiten al ingeniero civil desarrollar el cálculo de elementos aislados de hormigón armado (Figura 1), la presente versión permite:

- Cálculo de refuerzo longitudinal en elementos solicitados a flexión.
- Cálculo de refuerzo longitudinal en elementos solicitados a flexo-compresión.
- Cálculo de espaciamiento de cercos en elementos solicitados a cortante.
- Cálculo de deformación en elementos solicitados a flexión.
- Cálculo de abertura de fisuras en elementos solicitados a flexión.
- Revisión y chequeo de elementos sometidos al estado límite de fluencia y fatiga

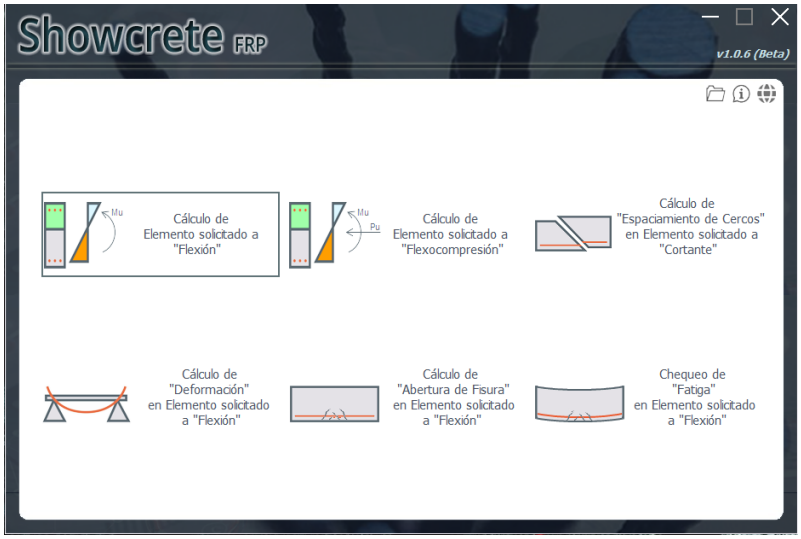



**Figura 1**: Ventana principal

## 2 DESARROLLO

### 2.1 – Cálculo de elementos solicitados a flexión

En esta sección el programa calcula el área de refuerzo necesaria a tracción para una sección específica del elemento analizado, para ello se debe definir el momento flector de diseño en dicha sección además de sus dimensiones y las características de los materiales a utilizar. De igual forma, el proyectista podrá decidir el tipo de diseño a acometer, hipo-reforzado o hiper-reforzado, en función de las exigencias de su estructura.

En los resultados se muestran el área de refuerzo calculada, así como el área mínima en cumplimiento de los requisitos establecidos en el ACI 440.1R, 2021. Además, muestra todos los datos iniciales que el usuario introduce en el mismo, así como datos del proceso de cálculo (forma de la sección, profundidad de la línea neutra, propiedades del fallo balanceado y deformación del PRF).

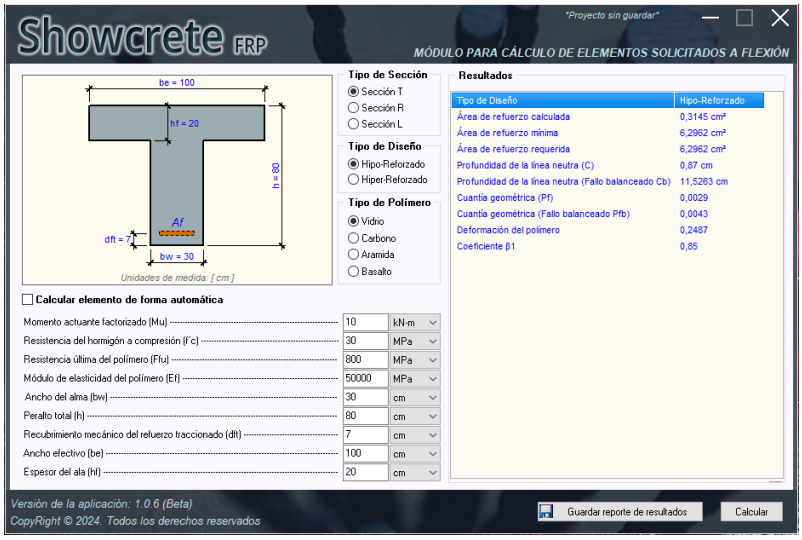



**Figura 2:** Ventana diseño a flexión

### 2.2 - Cálculo elementos solicitados a flexo-compresión

La metodología seguida para el desarrollo del programa parte de las siguientes consideraciones y supuestos [2]:

- La resistencia de una sección transversal de elemento de hormigón armado con barras de PRFV sometido a flexión combinada, se puede calcular mediante el cumplimiento de la compatibilidad de deformaciones.

- La armadura longitudinal de PRFV se considera efectiva sólo a tracción. La deformación de diseño máxima a la tracción de barras longitudinales debe ser inferior para limitar las deflexiones laterales.

- El área de la armadura de PRF a compresión se desprecia en los cálculos pudiendo sustituirse, en caso de que el proyectista así lo desee, por un área equivalente de hormigón como si las barras de PRF en compresión no estuvieran presentes en la sección transversal.

Se propone un diseño simétrico para una sección específica del elemento analizado, para ello se debe definir el momento flector y la carga axial que solicitan al elemento, además de sus dimensiones y de las características de los materiales a utilizar. Se precisará también si tener en cuenta o no el efecto de la posible pérdida de estabilidad del elemento.

Los resultados son mostrados en la pantalla principal e incluyen todos los datos del proceso de cálculo (forma de la sección, profundidad de la línea neutra, características de la falla balanceada, excentricidades) (Figura 3).

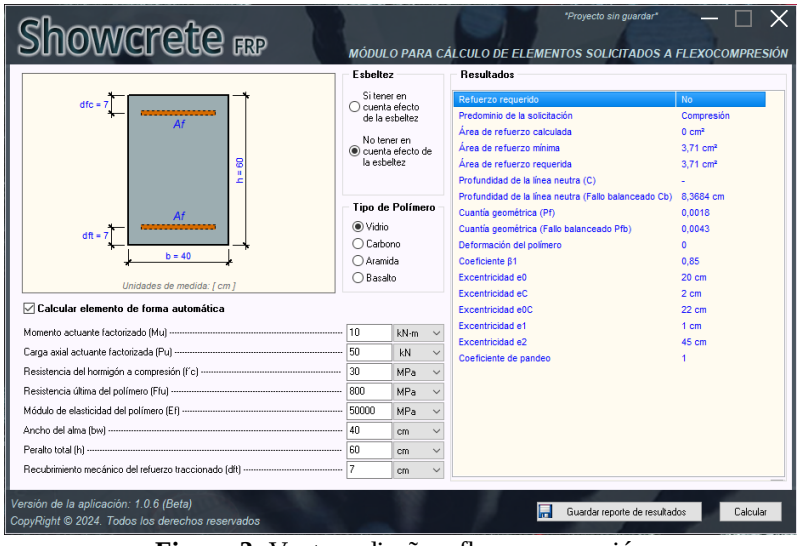



**Figura 3:** Ventana diseño a flexo-compresión

### 2.3 - Cálculo de elementos solicitados a cortante.

En esta sección el programa calcula el espaciamiento de los estribos para una sección específica del elemento analizado. Durante las evaluaciones que corresponden a este estado límite deben considerarse los detalles siguientes acerca de esta tipología de refuerzo [2]:

- La resistencia a cortante provista por el hormigón a compresión es menor cuando se emplean barras de PRF como refuerzo longitudinal y se determina en función de la profundidad de la línea neutra ($k_s$) (ecuación 1), ya que, al poseer menor rigidez, una vez iniciada la fisuración, el equilibrio se alcanza a una profundidad de la línea neutra inferior.

$$V_c = (0{,}40k_s)\sqrt{f_c'}\,b_w d \qquad (1)$$

Donde:

$k_s$: Profundidad relativa de la línea neutra de la sección fisurada

$f_c'$: resistencia a compresión del hormigón

$b_w$: ancho del alma de la sección

$d$: peralto efectivo de la sección

- A pesar de garantizar una elevada resistencia a la tracción, su resistencia transversal a los esfuerzos de corte es realmente baja.

- La resistencia a la tracción en la zona en que la barra es doblada es sensiblemente menor a la que la misma barra garantiza en su porción recta.

El usuario tiene la posibilidad de introducir el cortante de diseño en dicha sección, además de sus dimensiones y de las características de los materiales a utilizar, se definirá también el diámetro de las barras a utilizar en los estribos y la cantidad de patas en el sentido que se analiza.

En los resultados se muestran el espaciamiento calculado, el espaciamiento mínimo requerido además de otros datos que pudieran resultar de interés. El espaciamiento calculado corresponde a estribos perpendiculares al eje del elemento (Figura 4).

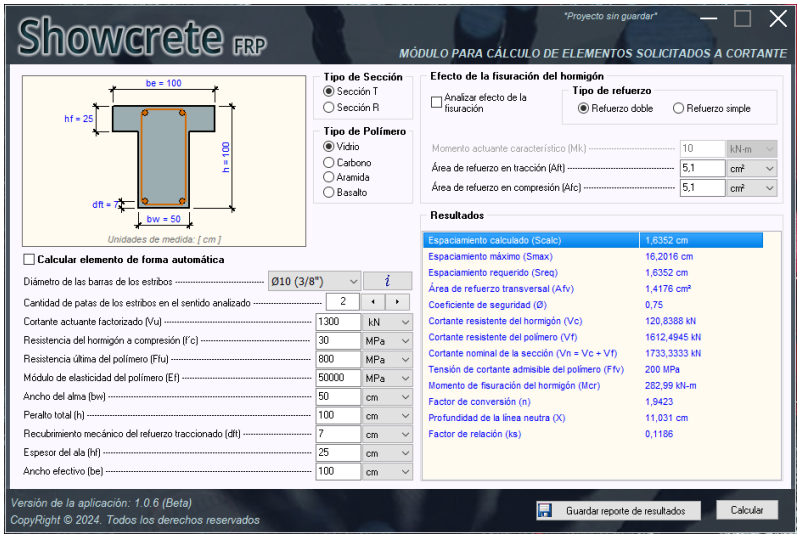



**Figura 4:** Ventana diseño a cortante

### 2.4 - Cálculo de deformación (flecha) en elementos solicitados a flexión.

En esta sección la aplicación calcula las flechas instantáneas y diferidas a lo largo del tiempo para elementos que trabajan a flexión sometidos a cargas uniformemente distribuidas. Se deberán definir previamente los momentos flectores asociados a las cargas de corta y larga duración en la sección crítica según las condiciones de apoyo del elemento, las dimensiones de la sección y las características de los materiales utilizados. En el cálculo de la flecha total se tienen en cuenta la acción diferida de las cargas y el aporte del refuerzo a la rigidez de la sección transversal.

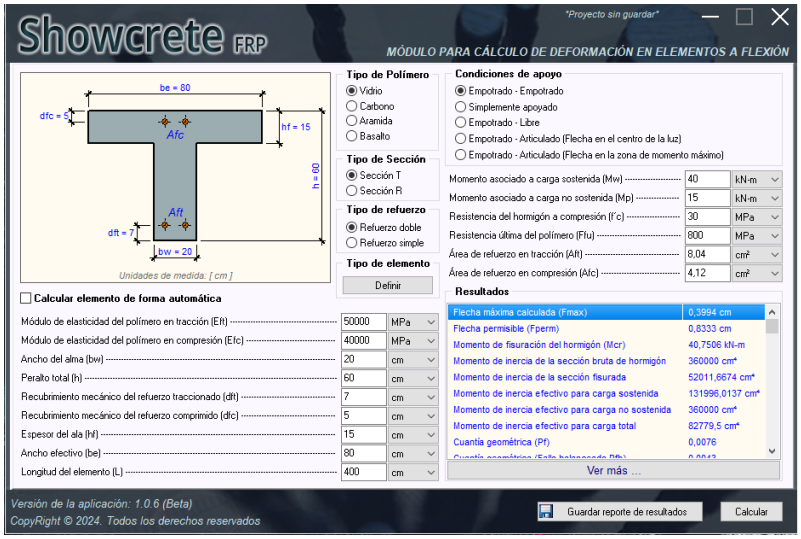



**Figura 5:** Ventana de cálculo de deformación (flecha)

En la Figura 5 se observa la ventana principal correspondiente a este módulo. Los resultados muestran los valores de flecha en el instante de aplicada la carga, 1, 3, 6, 12 y 60 meses y su conformidad de acuerdo a la flecha permisible definida por el usuario.

### 2.5 - Cálculo de abertura de fisuras en elementos solicitados a flexión

Las barras de polímero reforzado con fibras son resistentes a la corrosión, por lo tanto, se pueden admitir mayores anchos de grietas en comparación con el hormigón reforzado con acero cuando la corrosión del refuerzo es la razón principal para el control de grietas. Sin embargo, otras consideraciones como la estética, la ruptura por fluencia y los efectos de corte condicionan los límites aceptables de ancho de grietas [2].

En esta sección el programa calcula la abertura de fisura máxima más probable en elementos solicitados a flexión sobre la base del modelo propuesto por Frosch (Figura 6).

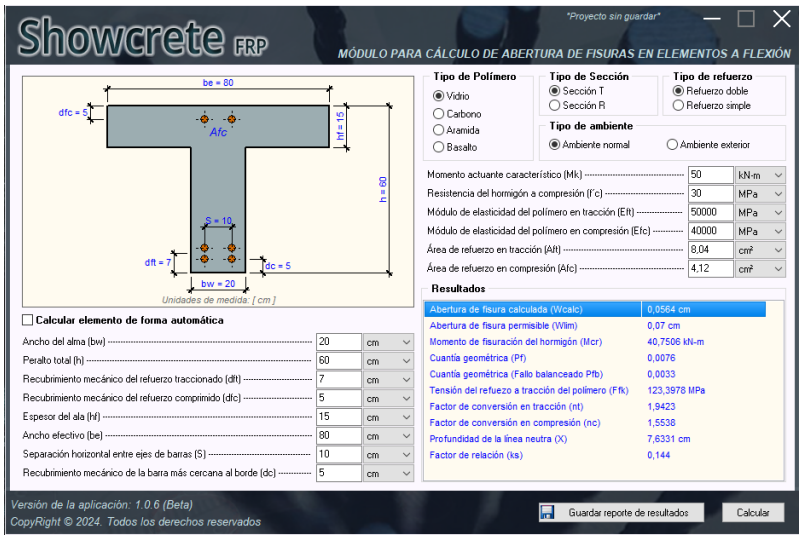



**Figura 6:** Ventana de cálculo de abertura de fisuras

### 2.6 – Chequeo de fatiga en elementos solicitados a flexión

El comportamiento lineal que presenta la ley esfuerzo – deformación de las barras de PRF obliga a limitar el incremento continuo de la deformación que las cargas sostenidas en el tiempo, originan en este refuerzo. Con ello se procura evitar un fallo que, como se sabe, posee un carácter eminentemente frágil.

De igual forma, debe controlarse el fallo por fatiga del refuerzo a causa de la acción cíclica de las tensiones, y a procesos sistemáticos de carga y descarga que tengan lugar en el elemento. A causa de que los niveles de tensión descritos se mantienen dentro del rango elástico del material, las tensiones originadas por las cargas de larga duración ($\boldsymbol{f_{f,s}}$) pueden ser evaluadas mediante un análisis elástico del tipo Navier. El ACI 440.1R [2] propone la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{f_{f,s}} = \frac{M_{ld}}{I_{cr}}(1 - k_s)n_f d \qquad (\mathbf{2})$$

Siendo:

- $\boldsymbol{M_{ld}}$: Momento debido a las cargas de larga duración.
- $\boldsymbol{I_{cr}}$: Inercia de la sección fisurada de hormigón.
- $\boldsymbol{k_s}$**:** Profundidad relativa de la línea neutra de la sección fisurada
- $\boldsymbol{n_f}$**:** relación entre los módulos de elasticidad del refuerzo y el hormigón
- $d$: peralto efectivo de la sección

El programa calcula la tensión de la armadura bajo carga sostenida ($\boldsymbol{f_{f,calc} = f_{f,s}}$) y la tensión límite por fatiga ($\boldsymbol{f_{f,lim}}$)**.** Ambos resultados son mostrados en la ventana principal junto a los datos de entrada y otros datos de salida de interés (cuantía balanceada, profundidad de la línea neutra) (Figura 7).

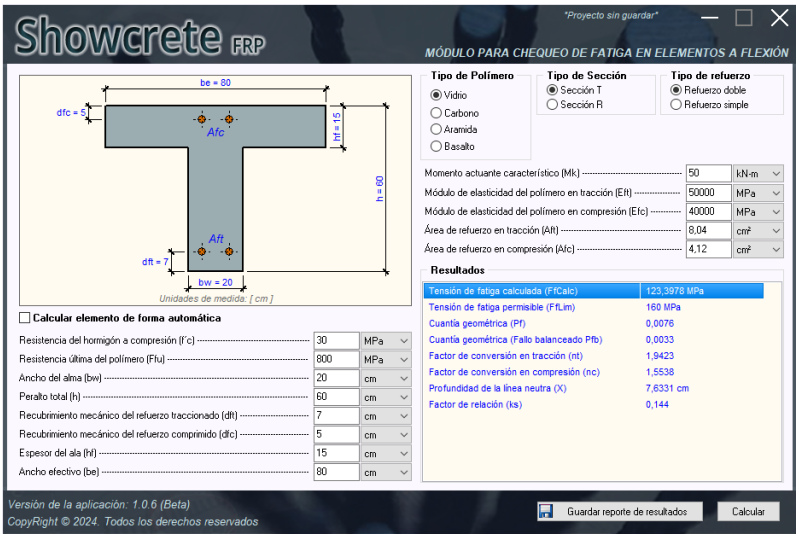



**Figura 7:** Ventana chequeo de fatiga

## CONCLUSIONES

En la actualidad no se ha identificado a nivel internacional o nacional un programa para el diseño de elementos de hormigón armado con barras de PRF por lo que el programa que se presenta, Showcrete FRP, constituye una excelente alternativa y herramienta para proyectistas e investigadores, sobre todo en el

contexto actual donde este tipo de refuerzo ha ganado gran auge por sus prestaciones y su excelente relación costo-beneficio, destacando el polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los profesores de la CUJAE y todos los ingenieros que de una forma u otra nos han ayudado a la implementación del software y a la divulgación del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wainshtok , H.R., J.A. Hernández ., and I. Díaz . *Calidad y durabilidad de las Construcciones. El uso de los PRF como refuerzo del hormigón armado y el ferrocemento.* . 2017, Valencia, España. 200.
2. ACI-440.1R., *Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars*. 2021, American Concrete Institute.: Farmington Hills. EUA. p. 260.
3. ESCC, *Egyptian code of practice for the use of fiber reinforced polymer (FRP) in the construction fields*, in *The use of fiber reinforced polymer ( FRP) in the construction fields*. 2005: Egypt. p. 166.
4. Nanni, A., A. de Luca, and H. Jawaheri Zadeh, *Reinforced Concrete whith FRP Bars*. Mechanics and Design. 2014, Estados Unidos. 406.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LA CONTRACCIÓN POR SECADO EN HORMIGONES ELABORADOS CON AGREGADOS FINOS RECICLADOS

## STUDY OF DRYING SHRINKAGE IN CONCRETE MADE WITH RECYCLED FINE AGGREGATES

**MSc. Ing. Byron Baque Campozano[1], Dr. Ing. René Antonio Puig Martínez[2]**

[1] Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Manabí, Ecuador. [2] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae), La Habana, Cuba.

**RESUMEN**

En Ecuador no constituye práctica habitual el empleo de residuos de la construcción y demolición como agregados reciclados en la fabricación de hormigones, representando su deposición un problema medio ambiental al que no se le ha encontrado solución. Sin embargo, una posible alternativa es su empleo como agregado fino en sustitución de las arenas naturales o provenientes de la trituración de la roca, siendo necesario demostrar la influencia que ello posee en las propiedades de los hormigones. En relación con ello, la investigación que se presenta se realizó con el objetivo de determinar la influencia del empleo de agregados finos reciclados en la contracción por secado de hormigones, considerando además la sostenibilidad en la gestión de residuos de construcción y las restantes propiedades de las estructuras de hormigón. A través de un enfoque experimental y cuantitativo, se examinó la relación causal entre el uso de agregados reciclados y la contracción por secado, con el fin de establecer prácticas constructivas más sostenibles. La investigación se realizó bajo las normativas ASTM e INEN, asegurando la calidad y durabilidad de las estructuras de hormigón y estableciendo la base para decisiones económicas más informadas en la industria de la construcción. Como resultado, se ratificó que los áridos finos reciclados presentan propiedades físicas distintas a las de los agregados finos naturales, en particular mayor porosidad y absorción de agua, lo que influye directamente en la mezcla de hormigón y en su comportamiento durante el secado, en particular, un incremento de la contracción. Sin embargo, al emplear aditivos superplastificantes en las mezclas, se pudo reducir significativamente esta propiedad, mejorando la cohesión interna y disminuyendo la tasa de evaporación del agua. Con la investigación se constató la posibilidad del uso de áridos finos reciclados en hormigones, cumpliendo con los requisitos de resistencia y durabilidad de acuerdo con las normativas nacionales y el aporte a la sostenibilidad en la industria de la construcción con prácticas ambientales responsables.

**PALABRAS CLAVES:** contracción por secado, agregados finos reciclados, gestión sostenible de residuos, industria de la construcción, resistencia de hormigón.

**ABSTRACT**

In Ecuador, the use of construction and demolition waste as recycled aggregates in the manufacture of concrete is not a common practice, and its disposal represents an environmental problem for which no solution has been found. However, a possible alternative is its use as fine aggregate to replace natural sand or sand from crushed rock, and it is necessary to demonstrate the influence that this has on the properties of concrete. In relation to this, the research presented was carried out with the objective of determining the influence of the use of recycled fine aggregates on the drying shrinkage of concrete, also considering sustainability in the management of construction waste and the remaining properties of concrete structures. Through an experimental and quantitative approach, the causal relationship between the use of recycled aggregates and drying shrinkage was examined, in order to establish more sustainable construction practices. The research was conducted under ASTM and INEN regulations, ensuring the quality and durability of concrete structures and establishing the basis for more informed economic decisions in the construction industry. As a result, it was confirmed that recycled fine aggregates have different physical properties than natural fine aggregates, in particular greater porosity and water absorption, which directly influences the concrete mix and its behavior during drying, in particular, an increase in shrinkage. However, by using superplasticizing additives in the mixes, this property could be significantly reduced, improving internal cohesion and decreasing the water evaporation rate. The research confirmed the possibility of using recycled fine aggregates in concrete, meeting the strength and durability requirements in accordance with national regulations and contributing to sustainability in the construction industry with responsible environmental practices.

**KEY WORDS:** drying shrinkage, recycled fine aggregates, sustainable waste management, construction industry, concrete strength.

# PROGRAMA GENERAL

# VI Congreso Internacional de Educación y Extensión Universitaria

# (CEEU 2024)

**Programa Técnico**

**VI CONGRESO DE EDUCACIÓN Y EXTENSIÓN UNIVERSITARIA**

**25 AL 29 DE NOVIEMBRE DE 2024**

**Día: 26.11.2024** **Sala: 10**

**Presidente Sesión:** Dr. C. Janette Santos Baranda. Directora del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

**Secretaria:** Dr. C. Raquel Bermúdez Morris. Coordinadora del Doctorado en Ciencias de la Educación de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 09:30-10:00 | C-1 | **Inauguración VI CEEU**<br>Conferencia inaugural "Educación universitaria de calidad rumbo al 2030: desarrollo y perspectivas"<br>Dr. C. Ana Isabel González Santos<br>Vicerrectora de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Cuba |
| 10:05-10.45 | C-2 | **Conferencia especializada**<br>"Inteligencia Artificial x Educación: Perspectivas y Retos"<br>Dr. C. Alejandro Piad Morffis, Dr. C. Suilan Estévez Velarde<br>Facultad de Matemática y Computación de la Universidad de La Habana Cuba |
| **Panel "Referentes para la educación de avanzada con la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación"** | | |
| 10.50-11.30 | CEEU-01 | **Diseño de una práctica virtual de familiarización para el aprendizaje teórico-práctico del ingeniero hidráulico**.<br>Indira Ordoñez Reyes , Maray Garrido Monaga , Sonia Pérez Lovelle , Modesto Ricardo Gómez Crespo. Cuba |
| | CEEU-02 | **El uso de la inteligencia artificial (IA) para la investigación y los retos del docente en la educación superior**<br>Liuris Rodríguez Castilla, Javier Rodríguez Ramírez, Arasay Padrón Álvarez. Cuba |
| | CEEU-03 | **Modelo de clase invertida en el aprendizaje de las series y ecuaciones diferenciales. caso cujae**<br>Esther Rosalina Ansola Hazday, Anaisa Hernández González, Eugenio Carlos Rodríguez. Cuba |
| | CEEU-04 | **El impacto de los teléfonos inteligentes en el desarrollo de la comprensión auditiva en inglés**<br>Maykel Bautis Salomón, Odalys de las Mercedes Morales Chacón, María Eugenia Legrá Viera. Cuba |
| | CEEU-05 | **Inteligencia Artificial. Su impacto en la formación de ingenieros y arquitectos**<br>Yolanda de Jesús O'Farrill Dinza, Raquel Bermúdez Morris, Jorge Félix Valiente Márquez, Arsenio Gabriel Pedroso Camejo. Cuba |
| | CEEU-06 | **Estrategia didáctica para el desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de las TAC en la clase práctica de laboratorio de Física**<br>Rosaime González de los Reyes, Odalys de las Mercedes Portela. Cuba |

| | | |
|---|---|---|
| | CEEU-65 | **Valoración de la aplicación de una estrategia de profesionalización para los profesores de la Universidad de las Ciencias Informáticas**<br>Guillermo Manuel Negrín Ortiz, Norberto Valcárcel Izquierdo, Yoan Martínez Márquez, Yalice Gámez Batista |
| | **Debate de las ponencias** | |

**Presidente Sesión**: Dr. C. Yolanda de Jesús O'Farril Dinza. Directora de Investigaciones y Posgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
**Secretario:** Dr. C. Juan José Llovera González. Metodólogo de la Dirección de Investigaciones y Postgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

| **Taller "Integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos formativos y entornos comunitarios"** | | |
|---|---|---|
| **Horario** | **Código** | **Actividad** |
| 11.35-12.40 | CEEU-07 | **El Geogebra 3D como herramienta de diseño para la arquitectura**<br>Jorge Luis Montero Bizet, Victor Fabián Quintero Vidal , Yazmín Zaldivar Montes de Oca, Inés Beatriz Vázquez Batista. Cuba |
| | CEEU-08 | **Advancing higher education: integra+506 and the development of digital competencies through serious games**<br>Juan Carlos Sandí-Delgado, Patricia Bazán. Costa Rica, Argentina |
| | CEEU-09 | **Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de Matanzas, diseño de un Museo universitario (virtual)**<br>Sandra Bahr Ulloa, Rafael Gilberto Juara Zuaznábar, Katia Guisado Zamora, Regla Ponce de León Narváez. Cuba |
| | CEEU-10 | **Herramienta alternativa para la recolección de datos de interés de estudiantes de nuevo ingreso en la facultad de Ingeniería Química**<br>Caridad Natalia Vega García, Daniel Treto López, María de la Concepción Martín Campos. Cuba |
| | CEEU-11 | **El video como medio de expresión cultural en la enseñanza de español como lengua extranjera**<br>Evelyn Abreu Márquez, Ada de la Caridad Cabrera González, María Luisa Pérez Rosales , Caridad Antonia Catasús Díaz. Cuba |
| | CEEU-12 | **La integración de las TIC, en los procesos de superación con profesores noveles para las carreras de ingeniería en el área de Ciencias Agropecuarias**<br>Misleidy Arzuaga Ramírez, Carlos Rafael Fernández Medina. Cuba |
| | CEEU-13 | **Realidad virtual en la educación. Mejora del aprendizaje a través de experiencias inmersivas**<br>Tatiana Rigal Permuy. Cuba |
| | CEEU-14 | **Metodología integradora de las TIC al proceso de enseñanza-aprendizaje del judo en la CUJAE**<br>Maikel Barrera Balbuena, Pablo Poso Xique. Cuba |
| | CEEU-15 | **Estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital**<br>Sandy Núñez Padrón, Georgina Díaz Fernánde, Anelys Vargas Ricardo |
| | CEEU-16 | **La clase demostrativa interactiva: una novedosa inclusión de PHET en la planificación de la clase**<br>Yusley Llorente Rodríguez , Juan José Llovera González. Cuba |
| | CEEU-17 | **Material interactivo para estudiar Historia de América Precolombina y Colonial (virtual)**<br>Mabel González Dumenigo , Adalberto Méndez Gómez , Idalmis Cruz Negrín , María Teresa Álvarez Pérez. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |

**Presidente Sesión**: Dr. C. Raquel Bermúdez Morris. Coordinadora del Doctorado en Ciencias de la Educación de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.
**Secretario:** Dr. C. Lorenzo Miguel Pérez Martín. Secretario de la Comisión de Grados científicos de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 12:45-13:30 | C-3 | **Conferencia especializad (virtual)**<br>"La tecnopedagogía en el marco de la innovación docente: ciclos de mejora e hiperaulas"<br>Dr. C. Cristóbal Torres Fernández. Profesor e investigador en el ámbito de la formación del profesorado, las políticas públicas en educación y la tecnología educativa. Universidad de Sevilla. España |

**Día: 27.11.2024** **Sala: 10**

**Presidente Sesión**: Dr. C. Arq. Ada Esther Portero Ricol. Dirección de Extensión Universitaria de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
**Secretarias:**
MSc. Isabel Fernández. Metodóloga de la Dirección de Extensión Universitaria de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio
Echeverría, CUJAE.
Arq. Mirelle Cristobal Fariñas. Miembro del Grupo para la Protección del
Patrimonio Cultural Universitario de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 09:30-10:00 | C-4 | **Conferencia especializada**<br>"La extensión Universitaria"<br>Dr. C. José de la Caridad Balsinde Herrera. Director de Extensión Universitaria. Ministerio de Educación Superior. Cuba |
| **Panel "Patrimonio CUJAE"** | | |
| 10:05-10:40 | CEEU-18 | **Los Guayabos: patrimonio de la CUJAE**<br>Gilda María Vega Cruz. Cuba |
| | CEEU-19 | **La formación patrimonial en la comunidad universitaria CUJAE**<br>Mirelle Cristobal Fariñas, Ricardo Machado Jardo, Ada Esther Portero Ricol. Cuba |
| | CEEU-20 | **Obtención de anaglifos del patrimonio CUJAE**<br>Rolando Serra Toledo, Rubén Herrera Rodríguez. Cuba |
| | CEEU-21 | **Los activos fijos intangibles visibles como contribución al patrimonio universitario CUJAE**<br>Gladys Mesa Palacios, Rolando Serra Toledo. Cuba |
| | CEEU-22 | **Contribuciones a la gestión de rankings internacionales y redes sociales científicas en la Universidad Tecnológica de la Habana**<br>Rolando Serra Toledo, Daniel Alfonso Robaina. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |
| 10:45-11:25 | C-5 | **Conferencia especializada**<br>"Comunicación del patrimonio"<br>Dr. C. Magda Resik Aguirre. Vicepresidenta UNEAC.<br>Lic. Lisset Ametller Estévez. Subdirectora de la Oficina del Historiador de La Habana. Cuba |

| Taller "El proyecto sociocultural, la cultura patrimonial universitaria y las cátedras honorificas y científicas como ejes de la gestión extensionista" | | |
|---|---|---|
| 11:30-<br>12: 20 | CEEU-23 | **Patrimonio cultural, análisis desde el fortalecimiento de las tradiciones y la visión extensionista en la Educación Superior**<br>Máryuri García González , Renier Helvio Fernández García , Alfredo García González , Blanca Amalia González González. Cuba |
| | CEEU-24 | **Resultados de la encuesta aplicada sobre la violencia de género en áreas centrales de la CUJAE**<br>Rosaime González de los Reyes. Cuba |
| | CEEU-25 | **Proyecto sociocultural como eje de la gestión extensionista**<br>Yanet Sánchez Vázquez , Juan Isidro Siam Árias. Cuba |
| | CEEU-26 | **Educación ambiental en el contexto universitario. campus Antonio Maceo de la Universidad de Oriente**<br>Naira Paisan Moreira , Ada Esther Portero Ricol. Cuba |
| | CEEU-27 | **Desarrollo de un modelo de universidad saludable: integración de la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable**<br>María Belén Vinces Obando , Luis David Balarezo Saltos. , María Rosa Milán Licea. , Geilert De La Peña-Consuegra. , Marcos Raúl Vinces Centeno. Ecuador |
| | CEEU-28 | **Álbum de familia como parte del trabajo de la Cátedra Santiago Álvarez**<br>Karla Picart Rodríguez, Maribel Acosta Damas. Cuba |
| | CEEU-29 | **Integración entre extensión universitaria, docencia e investigación: caso de estudio proyecto "CHATARRERO"**<br>Amanda Bárbara Bello Colomer, Erika Sarahy Montenegro Morales, Orestes Gabriel Osorio Rodríguez, Ernesto Alberto Álvarez. Cuba |
| | CEEU-30 | **Proyectos comunitarios en la formación de ingenieros desde la Historia de Cuba**<br>Niubis Bernarda Lahera Almeida, Pedro Eddy Campo Perales, Armando Benítez Santoya. Cuba |
| | CEEU-31 | **Los estudios martianos en la Universidad de la Habana (1941-1962)**<br>David Hernández Duany. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |

**Presidente Sesión:** Dr. C. Juan José Llovera González. Metodólogo de la Dirección de Investigaciones y Postgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.
**Secretaria:** Dr. C. Yolanda de Jesús O'Farril Dinza. Directora de Investigaciones y Posgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

| Taller "Experiencias y resultados en la formación integral del arquitecto e ingeniero, desde una perspectiva didáctica innovadora, inclusiva, creativa y equitativa para el desarrollo sostenible" | | |
|---|---|---|
| | CEEU-32 | **Un estudio de las bajas ocurridas en tres cursos académicos en la CUJAE**<br>Gilda Vega Cruz , Mar Denise Oliva Pereda , Esther Ansola Hazday , Dairis Enriquez Hernández , Anaisa Hernández González. Cuba |
| | CEEU-33 | **Provocando la primavera en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Filosofía**<br>Manuel de la Rúa Batistapau**,** Héctor Perdigón de Paula. Cuba |
| | CEEU-34 | **El sistema de tareas, como célula de la enseñanza de las Ciencias Sociales**<br>Manuel de la Rúa Batistapau. Cuba |
| | CEEU-35 | **Estudio sobre trabajo de retención universitaria en las universidades cubanas en la última década** |

| | | |
|---|---|---|
| 12:25-13:30 | | Manuel de la Rúa Batistapau, María del Carmen Perales Tejeda. Cuba |
| | CEEU-36 | **La práctica de laboratorio "Péndulo simple". Una variante para favorecer el desarrollo de la independencia cognoscitiva desde la Física universitaria**<br>Hildenia Astiguieta , Juan José Llovera. Cuba |
| | CEEU-37 | **¿Es vulnerable un estudiante que accede a carreras de ingeniería con deficiencias en las Matemáticas?**<br>Anaisa Hernández González, Esther Rosalina Ansola Hazday. Cuba |
| | CEEU-38 | **Estrategia didáctica para orientar la dinámica interdisciplinar del Cálculo diferencial e integral en la ingeniería civil**<br>Nilda Iglesias Domecq. Cuba |
| | CEEU-39 | **Talleres para Metodología de la Investigación en Curso Técnico Superior Agua y Saneamiento**<br>Tania Herrera Achón , Mailén Gutiérrez Herrera. Cuba |
| | CEEU-40 | **Experiencias en la enseñanza de la Geometría Analítica en la carrera de Arquitectura en Cuba**<br>Miriam Caridad Crespo Estrada, Karen Sanabria Ortega. Cuba |
| | CEEU-41 | **La densidad de los reales y su importancia en la enseñanza de las Matemáticas en ingeniería**<br>Lierli Oconnor Montero, Leandro López Rubira. Cuba |
| | CEEU-42 | **Acerca de la interpretación física de las expresiones matemáticas de las leyes fundamentales del electromagnetismo**<br>Juan Antonio Alejo Díaz , Juan José Ll overa González. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |

**Día: 28.11.2024** **Sala: 10**

**Presidente Sesión:** Dr. C. Ana Teresa Molina Álvarez. Presidente de la Comisión de Grados científicos de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
**Secretaria:** Dr. C. Gilda Vega Cruz. Metodóloga de la Dirección de Formación de Pregrado (DFP) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

| Horario | Código | Actividad |
|---|---|---|
| 09:30-10:00 | C-5 | **Conferencia especializada**<br>"La Física contemporánea en las Ciencias Técnicas hacia un desarrollo sostenible"<br>Dr. C. Juan José Llovera González. Metodólogo de la Dirección de Investigaciones y Postgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Cuba |
| **Mesa Redonda "Formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social sostenible"** | | |
| 10:05-11:00 | CEEU-43 | **Experiencias de procesos sostenibles en la formación profesional de arquitectos**<br>Marta María Rubio Tamayo, Enrique Irene Baluja Flores, Olivia Diago Diaz, Ernesto Alejandro Estrada Parrón. Cuba |
| | CEEU-44 | **Modelo para la orientación educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ingenierías**<br>Norma González Ruda, Raquel Bermúdez Morris, Ibette Alfonso Pérez. Cuba |
| | CEEU-45 | **Los contextos en las carreras de Ciencias Técnicas**<br>Reinaldo Gerardo Elosegui Chappotin. Narmis Pedroso Jiménez. Cuba |
| | CEEU-46 | **La importancia de las TIC en la formación de los arquitectos para el diseño**<br>Enrique Irene Baluja Flores, Marta María Rubio Tamayo, Olivia Diago Diaz, Ernesto Alejandro Estrada Parrón. Cuba |
| | CEEU-48 | **Características del proceso de enseñanza-aprendizaje para la transformación social** |

| | | |
|---|---|---|
| | | Raquel Bermúdez Morris, Lorenzo Miguel Pérez Martín . Norma González Ruda, Misleidy Arzuaga Ramírez. Cuba |
| | CEEU-49 | **Sistema de condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras técnicas**<br>Lorenzo Miguel Pérez Martín, Raquel Bermúdez Morris. Cuba |
| | CEEU-50 | **Formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social en ciencias biológicas (virtual)**<br>Aliuska Xiomara Pino Rodríguez. Cuba |
| | CEEU-51 | **Experiencias en investigación y extensión para elaborar el programa arquitectónico**<br>Mariam Páez Vázquez, Ernesto Alejandro Estrada Parrón, Elio Santana Estrada, Marta María Rubio Tamayo. Cuba |
| | CEEU-52 | **La rehabilitación hidráulica en Cuba: transformadora del ambiente físico y social sostenible**<br>Edelsy Ramos Guilarte1, Mailén Virgen Gutiérrez Herrera. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |
| 11:05-11:35 | C-6 | **Conferencia especializada (virtual)**<br>"Aprendizaje basado en prácticas de laboratorio del tema resultante de un sistema de fuerzas de materia de Físca del Programa de TSU en Mantenimiento Área Industrial"<br>MSc José Miguel Córdova López<br>Universidad Tecnológica de Oriental. México |

**Presidente Sesión:** Dr. C. Gilda Vega Cruz. Metodóloga de la Dirección de Formación de Pregrado (DFP) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
**Secretaria:** Dr. C. Ana Teresa Molina Álvarez. Presidente de la Comisión de Grados científicos de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

| **Taller "Investigaciones sobre currículo e interdisicplinariedad en el proceso de formación continua de ingenieros y arquitectos"** | | |
|---|---|---|
| 11:40-12:50 | CEEU-53 | **Desarrollo sostenible, formación ciudadana y Educación Superior cubana actual**<br>Freddy Varona Domínguez. Cuba |
| | CEEU-54 | **El desarrollo del pensamiento crítico en directivos. Experiencia en la formación de posgrado**<br>Ana Teresa Molina Álvarez |
| | CEEU-55 | **Hábitat, medio ambiente y ordenamiento urbano: desafíos para la educación científica en Cuba hoy**<br>Irina Duverger Johnston. Cuba |
| | CEEU-56 | **Internacionalización del currículo de lenguas extranjeras**<br>Laura María Barreiro Pérez. Cuba |
| | CEEU-57 | **Microcurrículo, gestión urbana y desarrollo local**<br>Irina Duverger Johnston, Alicia Espinosa Gronzo. Cuba |
| | CEEU-58 | **Interdisciplinariedad en función de la retención escolar**<br>Julia Milexy Flores López, Manuel de la Rúa Batistapau. Cuba |
| | CEEU-59 | **Interdisciplinariedad en la formación de ingenieros y arquitectos**<br>Tania Céspedes Bordallo, Julia Milexy Flores López, Diana Rosa García Hernández. Cuba |
| | CEEU-60 | **La "Tarea Vida" y su tratamiento interdisciplinario en la formación del profesional en la CUJAE**<br>Alberto Matos Guera, Julia Milexy Flores López |
| | CEEU-61 | **Caso de estudio: semilleros de investigación en una facultad de ingeniería industrial** |

| | | |
|---|---|---|
| | | Iraima Rafaela Rabelo Solano, Yoan Miguel Reyes Vilan, Hiram La O Hernandez, Yadary Ortega. Cuba |
| | CEEU-62 | **La educación intercultural y las competencias interculturales en los estudiantes universitarios salvadoreños (virtual)**<br>Nelson A. Quintanilla Juárez. El Salvador |
| | CEEU-63 | **La responsabilidad científica y tecnológica en los futuros ingenieros formados en la CUAJE y su impacto ambiental**<br>Frank Ernesto González González, Hilario Parra Hernández. Cuba |
| | CEEU-64 | **La interdisciplinariedad y el idioma inglés en la formación de ingenieros y arquitectos**<br>Martha Pérez Labrada, Caridad María, Cazañas Marisy, Ainelis Díaz Pérez. Cuba |
| | **Debate de las ponencias** | |
| 12:55-13.30 | **Clausura del VI Congreso de Educación y Extensión Universitaria**<br>Dr. C. Janette Santos Baranda Presidente del Comité Científico del VI Congreso de Educación y Extensión Universitaria. Cuba | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UNA PRÁCTICA VIRTUAL DE FAMILIARIZACIÓN PARA EL APRENDIZAJE TEÓRICO-PRÁCTICO DEL INGENIERO HIDRÁULICO

**Indira Ordoñez Reyes[1], Maray Garrido Monagas[2], Sonia Pérez Lovelle[3], Modesto Ricardo Gómez Crespo[4]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), iordonez@tesla.cujae.edu.cu , [2]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), maray@civil.cujae.edu.cu, [3]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Facultad de Ingeniería Informática, sperezl@ceis.cujae.edu.cu, [4]Ministerio de Educación Superior (MES), modesto@mes.gob.cu

## RESUMEN

En la CUJAE, específicamente en el primer año del Plan E de la carrera de Ingeniería Hidráulica, se imparte la asignatura Introducción a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental en la que los estudiantes reciben los primeros conocimientos, habilidades y modos de actuación sobre la carrera. Para motivar el empleo del MultiH.Virtual en las asignaturas de segundo y tercer año, el Grupo de Virtualización de Procesos y el Centro de Referencia para la Educación de Avanzada, consideraron necesario la familiarización del estudiante con este medio de enseñanza-aprendizaje, para potenciar su aprendizaje teórico-práctico. Para esto se diseñó el programa de la asignatura optativa Hidráulica Virtual, para acercar a los estudiantes al manejo de dicho software. Asimismo, a partir de segundo y tercer año los estudiantes realizan, prácticas de laboratorios virtuales en diferentes asignaturas, donde utilizarían el MultiH.Virtual para la realización de dichas prácticas. En trabajos realizados previamente, se han aplicado encuestas a estudiantes y profesores relacionadas con el uso del laboratorio, se ha planteado como limitación que no existe una experiencia para recorrerlo, que permita la interacción con los componentes y de esta forma familiarizarse con su funcionamiento antes de comenzar la práctica. También han surgido recomendaciones vinculadas a la presentación del procedimiento experimental, que permita al estudiante comprender mejor el proceso tecnológico y los pasos que debe seguir para realizar la práctica con éxito. La investigación tiene como objetivo: diseñar una práctica virtual de familiarización perteneciente al Banco de Tuberías, para el aprendizaje teórico-práctico del ingeniero hidráulico.

**PALABRAS CLAVES:** práctica virtual, familiarización, aprendizaje teórico-práctico, medio de enseñanza-aprendizaje, Ingeniería Hidráulica.

## DESIGN OF A VIRTUAL FAMILIARIZATION PRACTICE FOR THE THEORETICAL-PRACTICAL LEARNING OF THE HYDRAULIC ENGINEER

## ABSTRACT

At CUJAE, specifically in the first year of the E Plan of the Hydraulic Engineering degree, the subject Introduction to Hydraulic and Environmental Engineering is taught, in which students receive the first knowledge, skills and modes of action on the degree. To motivate the use of MultiH.Virtual in the second and third year subjects, the Process Virtualization Group and the Reference Center for Advanced Education, considered it necessary to familiarize the student with this teaching-learning medium, to enhance their theoretical-practical learning. For this purpose, the program of the optional subject Virtual Hydraulics was designed, to bring students closer to the use of said software. Likewise, from the second and third year, students carry out virtual laboratory practices in different subjects, where they would use MultiH.Virtual to carry out said practices. In previous work, surveys have been applied to students and teachers related to the use of the laboratory. It has been suggested as a limitation that there is no experience to go through it, which allows interaction with the components and thus become familiar with its operation before starting the practice. Recommendations have also arisen related to the presentation of the experimental procedure, which allows the student to better understand the technological process and the steps to follow to

successfully carry out the practice. The research aims to: design a virtual familiarization practice belonging to the Pipe Bank, for the theoretical-practical learning of the hydraulic engineer.

**KEY WORDS:** virtual practice, familiarization, theoretical-practical learning, teaching-learning medium, Hydraulic Engineering.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, muchas universidades de ingeniería han tratado de integrar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) con los métodos de enseñanza tradicionales para mejorar el aprendizaje y el nivel de experiencia de los estudiantes. Esto ha llevado al surgimiento de tendencias vinculadas a la Educación, que permiten a profesores y estudiantes comunicarse entre sí, en línea, a través de sistemas interactivos, sistemas de aprendizaje electrónico y herramientas para la producción de materiales educativos digitales [1]. Los laboratorios virtuales son un medio de enseñanza-aprendizaje de gran utilidad que apoyan a las prácticas profesionales tradicionales y reducen los costos en infraestructura de las universidades. Integran contenidos, actividades de aprendizaje y recursos multimedia de gran valor científico y pedagógico con un costo mucho menor en comparación con el mantenimiento de un laboratorio real. No logran sustituir en su totalidad a los laboratorios físicos, pero garantizan la formación científico-tecnológica del estudiante para aquellos centros que no poseen las instalaciones o estas no se encuentren en funcionamiento o no están bien equipadas con la infraestructura que se necesita [1-3].

En el año 2000 surge como resultado de la ejecución de una práctica de laboratorio, la primera aplicación virtual para la especialidad de Mecánica de los Fluidos llamada MultiH.Virtual. A partir de ese momento el software se fue perfeccionando y ampliando obteniendo reconocimiento tanto dentro como fuera del país. Actualmente está compuesto por treinta y cuatro prácticas, agrupadas en cuatro bancos de trabajo [4].

El MultiH.Virtual es un laboratorio virtual que cuenta con treinta y cuatro prácticas diferentes y se ha empleado por más de veinte años en la enseñanza de materias de Mecánica de los Fluidos en la carrera universitaria de Ingeniería Hidráulica en varias universidades cubanas. En estos momentos se aplica también en las carreras de Ingeniería Mecánica y Química. El producto informático se ha empleado en maestrías dictadas por los docentes cubanos de la CUJAE, en instituciones latinoamericanas y ha sido adquirido por otras universidades de la región [4]. Fue desarrollado en los años 2000, con el paso del tiempo, han surgido necesidades como la incorporación de nuevas prácticas, que apoyen el diseño de las asignaturas de los planes de estudio actuales. También las tecnologías han ido avanzando, creando una diferencia cada vez mayor en cuanto a calidad con los softwares de hoy.

En la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, específicamente en el primer año del Plan E de la carrera de Ingeniería Hidráulica, se imparte la asignatura Introducción a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental en la que los estudiantes reciben los primeros conocimientos sobre hidráulica virtual. Para motivar el empleo del MultiH.Virtual en las asignaturas de segundo y tercer año, el Grupo de Virtualización de Procesos del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) y el Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA) de la CUJAE consideraron necesario la familiarización del estudiante con este medio de enseñanza-aprendizaje para potenciar su aprendizaje teórico-práctico [5]. Para esto se elaboró el programa de la asignatura optativa Hidráulica Virtual, a impartir en primer año, para acercar a los estudiantes al manejo de dicho software. Asimismo, a partir de segundo año los estudiantes realizan, como parte del currículo, prácticas de laboratorios virtuales en diferentes asignaturas, primero con Mecánica de los Fluidos I y II, luego con Sistema de Bombeo en tercer año, donde utilizarían el MultiH.Virtual para la realización de dichas prácticas [5].

Debido a lo expuesto anteriormente, se han identificado un conjunto de elementos, que es necesario modificar y que conforman la situación problemática. En trabajos realizados como [6], se han aplicado encuestas a estudiantes y profesores relacionadas con el uso del laboratorio, se ha planteado como limitación que no existe una experiencia de recorrido por este, que permita la interacción con los componentes y de esta forma familiarizarse con su funcionamiento antes de comenzar la práctica. También han surgido recomendaciones vinculadas a la presentación del procedimiento experimental y del flujo de trabajo en las prácticas de laboratorio reales, que permitan al estudiante comprender mejor el proceso y los pasos que debe seguir para realizar la práctica con éxito.

## 2. LABORATORIO MULTIH. VIRTUAL. PRÁCTICAS VIRTUALES

Las prácticas del MultiH.Virtual tienen una gran calidad en cuanto al diseño de los entornos de trabajo y en la manera realista en que se muestran los procesos que ocurren en los experimentos, en comparación con otros ejemplos de laboratorios virtuales encontrados en internet, de ahí su gran popularidad en universidades del país y el extranjero.

El MultiH.Virtual como medio de enseñanza-aprendizaje ofrece el desarrollo de las capacidades del pensamiento creativo y contribuye a hacer más ágil los procesos técnicos, productivos o científicos. Este integrado al sistema de medios de la asignatura Ingeniería Hidráulica y Ambiental, desempeña un importante y decisivo papel, ya que esa integración debe producir un resultado superior a la aplicación aislada o a la combinación parcial de sus componentes, logrando un verdadero vínculo entre la teoría y la práctica. Establece un proceso directo con el conocimiento, porque el estudiante es capaz de vincular esos conocimientos nuevos con los que ya posee, comprender el funcionamiento de las partes que se ilustran y a partir de ahí formar un concepto, establecer un juicio valorativo, y comprender teoría más profundas y amplias.

Es recomendable que desde el comienzo de la asignatura Ingeniería Hidráulica y Ambiental se debe proporcionar el acceso al MultiH.Virtual, facilitándole al estudiante las posibilidades de exploración y familiarización con el medio antes de recibir una conferencia, clase práctica o práctica de laboratorio. Desde el inicio se le debe orientar al estudiante un problema a resolver, y a través del MultiH.Virtual se puede identificar la teoría y resolverlo siendo coherente con el Aprendizaje Basado en Problemas.

El MultiH.Virtual permite la experimentación y una comunicación bidireccional entre profesores y estudiantes. Establece una lógica para su enlace con el resto de los medios de la asignatura, ya que como parte de su estructura refleja de alguna manera los demás medios como son: libro de texto, guía de la práctica, equipos e instrumentos, entre otros.

En el Reglamento organizativo del proceso docente y de dirección del trabajo docente y metodológico para las carreras Universitarias en su artículo 278.1 y 2 de la Resolución No. 47/2022, se declara: “La práctica de laboratorio es el tipo de clase que tiene como objetivos que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica; amplíen, profundicen, consoliden, generalicen y comprueben los fundamentos teóricos de la asignatura o disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios.

Las prácticas de laboratorio se realizan en instalaciones propias de las instituciones
de educación superior o en las que existen en las unidades docentes u otras entidades laborales. Como norma, en este tipo de clase se debe garantizar el trabajo individual de los estudiantes en la ejecución de las tareas previstas [7] “.

En el Reglamento queda clara la necesidad de la vinculación teoría con la práctica, no obstante, en las clases tipo laboratorio se insiste mucho más en los aspectos procedimentales, técnicas de trabajo por sobre la profundización en la teoría.

Una práctica de laboratorio virtual es toda actividad que el estudiante ejecuta en un software especialmente diseñado con la finalidad de simular la experimentación y observación de objetos y fenómenos virtuales, mediante recursos informáticos que les permiten interactuar con el sistema en la ejecución de diferentes operaciones específicas que modelan las que se desarrollan en un laboratorio real, lo que les posibilita compensar la falta de un laboratorio o equipo, preparar prácticas para un laboratorio real, consolidación de contenidos y procedimientos, así como la incentivación para la práctica experimental.

## 3. LA RELACIÓN TEORÍA-PRÁCTICA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

La investigación sobre este complejo campo desde el punto de vista didáctico es un asunto importante en la educación, y en estos momentos, constituye uno de los principales problemas que obstaculizan el aprendizaje significativo y desarrollador de los estudiantes y el desarrollo profesional docente. La investigación parte de un estudio profundo de la relación Teoría-Práctica, el que comienza por la toma de posiciones alrededor de la definición de teoría y práctica.

“La teoría constituye un conjunto de leyes, enunciados e hipótesis que configuran un corpus de conocimiento científico, sistematizado y organizado, que permite derivar a partir de estos fundamentos reglas de actuación (…)” [8]. “La práctica es una actividad de carácter transformador, es consciente, está

históricamente condicionada y está sujeta a desarrollo" [9]. A partir de estas ideas, es pertinente reconocer el aporte que cada una realiza a la acción didáctica, para entender cómo se pueden establecer relaciones entre ellas desde el PEA.

Carlos Marx (1845), en su trabajo Tesis sobre Feuerbach expresaba que: "(…) el problema de si al pensamiento humano se le puede atribuir una verdad objetiva, no es un problema teórico, sino un problema práctico. Es en la práctica donde el hombre tiene que demostrar la verdad, es decir, la realidad y el poderío, la terrenalidad de su pensamiento" [10], en este trabajo Marx revela el papel mediador de la práctica en el proceso del conocimiento, y más tarde retomado por Lenin (1908) en su trabajo Materialismo y empiriocriticismo, precisaba al plantear que: definitivamente la verdad objetiva "solo cuando el concepto se convierte en "ser para sí" en el sentido de la práctica" [11].

Los filósofos M. Rosental y P. Ludin (1981) plantean, que existe una relación dialéctica frente al binomio teoría y práctica, definidas a partir de cada una de las dos categorías filosóficas. La teoría se define como: "la experiencia de los hombres generalizada en la conciencia, es el conjunto de conocimientos acerca del mundo objetivo; es un sistema, relativamente independiente, de conocimientos concatenados por la lógica interna de los conceptos (…)". La práctica se define como: "la actividad del hombre que asegura la existencia y el desarrollo de la sociedad, es ante todo, el proceso objetivo de la producción material, base de la vida de los hombres (…)". Además, definen esta relación como: "Teoría y Práctica son un par dialéctico, que se encuentran en indisoluble unidad, no existe la una sin la otra y se influyen recíprocamente sin cesar. La base de dicha interacción es la práctica" [12].

P. Guadarrama (2002) y otros, señalan que: "el vínculo entre la teoría y la práctica se muestra al considerar a la teoría como propiedad o atributo inseparable, como tendencia a la actividad práctica de los hombres, y a la práctica como condición y momento indispensable de la teoría, como modo de realización efectiva de ella (…)" [13].

A partir de la interpretación de los autores expuestos, la autora sostiene, que la relación entre teoría y práctica no debería entenderse como una dependencia de la práctica respecto de la teoría. La práctica abarca todo el conjunto de formas materiales de la actividad humana, todos los aspectos de la existencia social del hombre. Tampoco se debe reducir el concepto de teoría al de conocimiento científico, ni a un solo tipo de conocimiento, ni a una única teoría.

La independencia relativa del conocimiento le permite ir más lejos de las demandas directas de la práctica, adelantar a ésta, ver nuevos fenómenos e influir activamente en la práctica. El conocimiento puede adelantar a la práctica porque tiene sus propias leyes, diferentes de las que rigen el desarrollo de la producción [13, 14]. Por tanto, la práctica, como actividad humana, también está condicionada históricamente. En determinada etapa del desarrollo puede quedarse rezagada respecto al conocimiento, a la teoría.

La relación teoría-práctica implica conocer, comprender y aplicar conocimientos. Su éxito o fracaso, está directamente relacionado con la construcción social de significados y, el aprendizaje y desarrollo de los valores sociales, que tienen un alto grado de responsabilidad individual, debido a las características propias de cada aprendiz [15]. Es compleja la relación teoría-práctica, ya que no es posible situar el componente del conocimiento en una, y el de la práctica en la otra.

Es a través del enfrentamiento a problemas reales de la profesión, que los estudiantes tienen la oportunidad de poner en práctica la teoría para desarrollar los conocimientos técnicos, actitudes y valores que demanda la sociedad. La relación teoría-práctica debe estar presente en la reflexión y análisis que cada alumno realiza durante su desempeño en las actividades docentes, pues es un referente primordial para lograr un aprendizaje desarrollador [16]. Ello es un reto para los profesores y para las instituciones docentes, que no siempre cuentan con todas las condiciones materiales, ni el tiempo para propiciar el necesario acercamiento de los estudiantes a estas situaciones reales y para que en su solución puedan hacer uso de su creatividad y otras potencialidades individuales.

Un PEA eficiente ubica a los estudiantes en situaciones que representan un reto para su forma de pensar, sentir y actuar. En dicho proceso se develan las contradicciones entre lo que se dice, lo que se vivencia y lo que se ejecuta en la práctica [17]. Por ello, en este proceso dialéctico, se deben crear situaciones para que el estudiante se apropie de las herramientas que le permitan operar con la realidad y enfrentar al mundo con una actitud científica, personalizada y creadora.

Los fundamentos del Enfoque Histórico Cultural tienen implicaciones importantes para la educación, ya que no es posible entender al estudiante y ayudarlo a crecer, si no se analizan sus interrelaciones con los demás en el devenir de su historia de vida. La historia personal y el modo en que cada uno se vincula con los otros y reacciona ante el contexto histórico social concreto en que le tocó vivir, es esencial para conocerle y propiciar su desarrollo [18].

Entre los pilares básicos de la Educación, que la UNESCO propone para enfrentar los retos y desafíos del siglo XXI, se enfatiza en la necesidad de: Aprender a hacer, logrando que el estudiante se apropie de tipos de contenidos de manera armónica a través del sistema de conocimientos, del sistema de habilidades y hábitos y del sistema de experiencias de la actividad creadora. En este último existen numerosos aspectos que indican cómo los estudiantes aprenden con este tipo de contenido, como, por ejemplo: en la solución de problemas, con la independencia cognoscitiva, con el desarrollo de un pensamiento reflexivo y divergente y la imaginación creadora, entre otros [2, 13].

La relación teoría-práctica ha sido objeto de estudio desde la enseñanza y la organización de ese proceso docente, y no se aborda con frecuencia en cómo el estudiante genera su conocimiento a partir de la vinculación estrecha entre el contenido y la aplicación del mismo. Vincular los conceptos teóricos con la práctica, beneficia a que el estudiante encuentre significados en el proceso de aprendizaje durante la apropiación del conocimiento en la práctica, siendo capaces de dar sentido y utilidad a lo aprendido [19].

La experimentación a través de casos de estudio reales permitirá una adecuada articulación entre teoría y práctica. Exponer al alumno a la elaboración y solución de problemas o tareas propias de la profesión, al alcance de sus posibilidades, es considerada una importante estrategia de aprendizaje, siempre que sus exigencias impliquen un esfuerzo intelectual, generador de desarrollo [20].

Según F. Addine (2002), como contexto puede ser escogido un problema profesional que sirva de hilo conductor en la presentación y desarrollo de al menos un tema de la asignatura o la disciplina [13], donde los estudiantes se enfrenten a la solución de situaciones similares a las de un profesional de su rama, con el correspondiente protagonismo y flexibilidad necesarios para lograr su motivación y compromiso en su solución, siendo capaces de dar sentido y utilidad a lo aprendido [21].

En este sentido el estudiante aprende tratando de dar un sentido personal a lo que aprende, interpreta y comprende de la realidad. Esto sólo es posible cuando se relacionan los nuevos contenidos con todo aquello que constituye la experiencia previa individual. A partir de esta relación significativa, el contenido de los nuevos aprendizajes cobra un verdadero valor para la persona, y aumentan las posibilidades de que dicho aprendizaje sea duradero, recuperable, generalizable y transferible a nuevas situaciones, y a los procesos de formación de convicciones [22].

La relación teoría-práctica constituye una premisa pedagógica en la formación de ingenieros hidráulicos. Por lo cual se hace intencional, a lo largo del desarrollo del plan de estudios, como base esencial en su diseño curricular. En el modelo del profesional se pone de manifiesto las necesidades e intereses individuales y colectivas del hombre y la sociedad en general [6, 23].

## 4. CARACTERIZANDO LA FAMILIARIZACIÓN EN UN CONTEXTO VIRTUAL

Un aspecto que es necesario considerar en el proceso de enseñanza aprendizaje es lo relativo a los niveles de asimilación de los conocimientos y de las habilidades, pues tiene que ver con la búsqueda de una eficiencia superior en el aprendizaje de los estudiantes, tiene también una relación muy estrecha en cómo el profesor organiza y dirige el proceso en sus clases, ya que ha de precisar estos niveles desde la formulación de los objetivos. Se trata de que cada grupo de habilidades esenciales que deben aprender los estudiantes en la carrera transcurra por los diferentes niveles de asimilación. En relación con los niveles de asimilación de los contenidos y las habilidades se consideran los siguientes [23]:

- Familiarización: el estudiante debe reconocer los conocimientos y las habilidades que se les han presentado, aunque no pueda reproducirlo en esos momentos.
- Reproducción: indica repetición del conocimiento asimilado o de la habilidad adquirida. Identificar, fijar características y relaciones esenciales, describirlas.
- Aplicación: se utilizan los conocimientos o las habilidades adquiridas, trabaja con los rasgos de esencia del contenido del concepto y transfiere esta esencia en la diversidad de cosas que se le presentan.
- Creación: supone la capacidad de resolver situaciones nuevas, para lo cual no son suficientes los conocimientos adquiridos, elabora sus propias estrategias de aprendizaje, aplicarlas en la solución de las tareas

Desde la óptica de esta investigadora, entre los distintos niveles de asimilación existe una relación muy estrecha, porque para llegar al nivel reproductivo de un contenido es necesario haber logrado la

familiarización, así como la aplicación debe tener implícito la reproducción. Para alcanzar el nivel de creación, se tiene que haber logrado lo anterior, por tanto, funcionan a manera de espiral en desarrollo, partiendo de los niveles inferiores hacia los superiores. Si bien, con esta práctica virtual los estudiantes se encuentran en un primer nivel de asimilación, luego, en las interacciones con las demás prácticas virtuales que están integradas en el MultiH.Virtual y las cuales tienen características diferentes, estos logran un tránsito hacia niveles superiores con su participación protagónica y responsable.

La familiarización es un proceso clave en la adquisición de conocimientos y habilidades, ya que permite a los estudiantes sentirse cómodos y seguros en un nuevo entorno o con nuevos contenidos. Cuando el estudiante está familiarizado con un tema, objeto o entorno, su participación se hace más activa y toma un papel protagónico. Esto les permite concentrarse mejor en el aprendizaje y la práctica. Crea una base sobre la cual se pueden construir nuevos conocimientos que sirven como prerrequisitos, para aprender y entender ideas más complejas. La familiarización permite que los conocimientos se adapten de manera más efectiva en entornos, tecnología o contexto de las ciencias técnicas como el caso de las ingenierías, cuanto más familiarizado esté el estudiante con un procedimiento tecnológico, más competente será al ejecutarlo. Es un paso fundamental para la apropiación efectiva de conocimientos y habilidades, ya que establece un marco que facilita el aprendizaje, reduce barreras y promueve un ambiente propicio para el desarrollo personal y profesional [24].

## 5. DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBA DE LA PRÁCTICA DE FAMILIARIZACIÓN DEL BANCO DE TUBERÍAS

### Descripción de la práctica virtual de familiarización

La práctica inicia cuando el usuario accede al laboratorio después de haber seleccionado el banco de tuberías y haber elegido realizar la práctica de familiarización. El usuario primero aprende a explorar el laboratorio mirando alrededor y moviéndose por el interior de este, como se observa en el diagrama de actividades mostrado en la Fig 1. Después debe realizar su primera interacción con un componente del laboratorio: pulsar el botón de encendido en el panel eléctrico. Una vez pulsado, como respuesta del sistema se comienza a escuchar un sonido que proviene de la bomba de agua indicando que se encuentra en funcionamiento. Seguido debe abrir las dos válvulas del quinto nivel para permitir el paso del agua a través de las tuberías. Una vez abiertas, debe extraer el aire que se encuentra en las tuberías manipulando el Manifold. Para esto debe abrir la válvula izquierda y la válvula derecha del Manifold cada una por cinco segundos hasta que se extraiga todo el aire. Una vez abiertas, se comienza a escuchar un sonido como respuesta del sistema indicando que el aire se está purgando. Una vez terminado este proceso debe cerrar las válvulas. Seguido debe abrir la válvula que permite la entrada de agua al tanque de aforo. Una vez abierta, se comienza a escuchar un sonido como respuesta del sistema indicando el llenado del tanque. Mientras el tanque se llena, el usuario debe inspeccionar el piezómetro por diez segundos para visualizar como sube el nivel del agua del tanque. Después debe cerrar la válvula de entrada de agua al tanque. Una vez cerrada, como respuesta del sistema se detiene el sonido de llenado del tanque. Para vaciar el tanque debe abrir la válvula que se encuentra en la base de este. Una vez vaciado debe cerrar dicha válvula. Seguido debe cerrar las dos válvulas del quinto nivel. Por último, debe apagar la bomba de agua pulsando el botón de apagado en el panel eléctrico. Como respuesta del sistema, se detiene el sonido de la bomba de agua en funcionamiento [25].

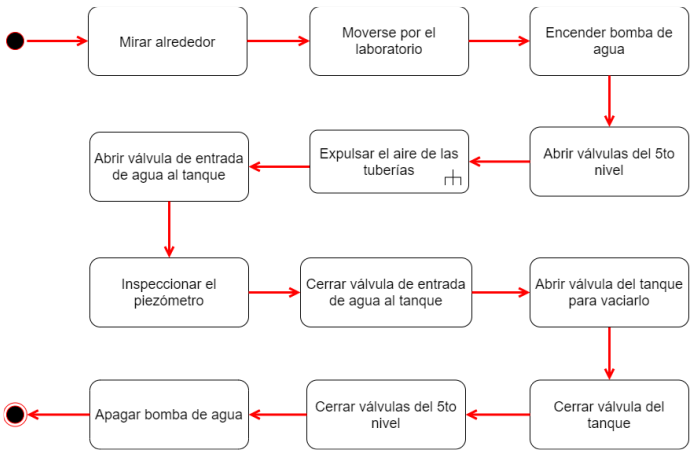



Figura 1. Diagrama de actividades de la práctica de familiarización del banco de tuberías. Fuente: [25].

Para el desarrollo de la práctica de familiarización se utilizó Unity, que es un motor de juegos en tiempo real (real – time engine) utilizado para crear videojuegos. No solo es una herramienta de desarrollo profesional utilizada diariamente por miles de desarrolladores experimentados, sino también una de las más accesibles para los desarrolladores de juegos que comienzan. Posee una curva de aprendizaje baja-media, cual indica que es un motor fácil de aprender. El lenguaje de programación utilizado es C#, el cual es moderno y orientado a objetos. Una aplicación popular son los recorridos virtuales 3D en tiempo real que muestran con detalles realistas, diferentes lugares de interés como museos, centros turísticos, laboratorios, instituciones educativas, entre otros. La nueva versión del laboratorio virtual, que está implantada, es un ejemplo de la aplicación anteriormente mencionada [25].

**Funcionalidades de la práctica virtual de familiarización**

El usuario inicia la interacción donde deben cumplirse tres precondiciones: debe seleccionar el banco de tuberías, elegir la opción realizar la práctica de familiarización y luego acceder al laboratorio. A continuación, se muestra en las Fig: 2, 3, 4, 5 algunos de los prototipos de interfaz de usuario [25].




Figura 2: Interfaz principal del Laboratorio virtual MultiH. Virtual 3D.




Figura 3: Componentes que son configurables en el Banco de Tuberías.

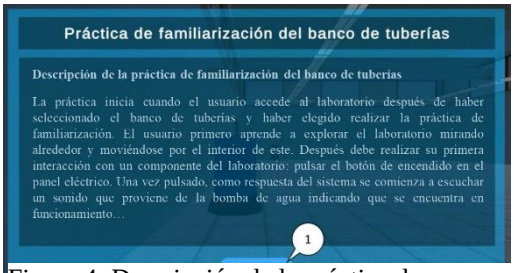



Figura 4: Descripción de la práctica de laboratorio virtual.

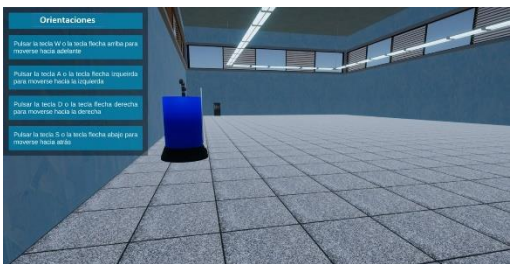



Figura 5: Orientaciones para iniciar la interacción en la práctica virtual.

Los principales requisitos funcionales que componen la nueva versión del MultiH.Virtual son: el sistema debe proveer al usuario la capacidad de realizar recorrido de familiarización; cuando se está realizando la familiarización el sistema debe proveer al usuario la capacidad de inspeccionar la información del componente seleccionado; el sistema debe proveer al usuario la capacidad de desplazarse por el entorno virtual; el sistema debe ser capaz de solicitar a la base de datos las características de los componentes a emplear. Los requisitos de calidad se identifican por la apariencia o interfaz, donde el producto tiene funcionalidades orientadas a estudiantes universitarios. El agua del laboratorio debe simular al menos un 90% el agua real. Los componentes deben tener al menos un 95% de similitud con los equipos reales. Usabilidad: debe existir un recorrido de familiarización donde los usuarios adquieran el conocimiento básico para trabajar con el laboratorio. La interacción con el laboratorio y sus componentes debe ser intuitiva. Rendimiento: el movimiento del usuario dentro del laboratorio debe ser fluido. Fiabilidad: el laboratorio virtual debe tener una imitación precisa de la realidad.

**Prueba funcional de la práctica virtual de familiarización**

Como parte del proceso de validación se diseñó un caso de prueba en el cual se especifica la entrada y la salida esperada del sistema. Esto demuestra el correcto funcionamiento del mismo en los diferentes escenarios que forman parte de la prueba. En la Tabla 1 se representa el caso de prueba para el siguiente caso de uso: “Realizar práctica de familiarización”. A continuación, se muestran el caso de prueba realizado y los resultados esperados por el sistema.

Tabla 1. Caso de prueba: correcto funcionamiento de la práctica de familiarización.
Fuente: [25].

<table>
<tr><td colspan="2">Nombre del caso de prueba</td><td colspan="3">Correcto funcionamiento de la práctica de familiarización</td></tr>
<tr><td colspan="2">Versión</td><td colspan="3">1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">Objetivo de la Prueba</td><td colspan="3">Verificar que cada acción realizada durante la práctica de familiarización corresponda con la respuesta esperada.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción de la prueba</td><td colspan="3">Se accede al menú de selección de bancos de trabajo a través del menú principal. Se selecciona el banco de tuberías y se elige la opción de realizar la práctica de familiarización. Una vez dentro del laboratorio se comprueba que: funcionan correctamente los paneles que se muestran, se cargan correctamente los pasos a realizar, los pasos se cumplen y se actualizan una vez realizada la acción correspondiente, las acciones realizadas corresponden con los pasos a realizar, los componentes a interactuar son resaltados con un borde luminoso, al seleccionar un componente aparece un menú flotante mostrando las opciones posibles a realizar con dicho componente, se muestran las miniventanas y funcionan correctamente las vistas interactivas.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Condiciones</td><td colspan="3">Seleccionar el banco de tuberías.<br>Elegir realizar la práctica de familiarización.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Combinaciones de valores de entrada</td><td rowspan="2">Resultados Esperados</td><td rowspan="2">Resultados Reales</td></tr>
<tr><td>CP</td><td>Escenario</td><td>Acción a realizar</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Se muestra el panel inicial</td><td>Clic en el botón “Continuar”</td><td>Se oculta el panel inicial y se cargan los primeros pasos a realizar</td><td>Se oculta el panel inicial y se cargan los primeros pasos a realizar</td></tr>
</table>

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | Se muestra el panel final | Clic en el botón “Elegir otra práctica” | Se carga el menú de selección de la práctica de laboratorio | Se carga el menú de selección de la práctica de laboratorio |
| | | Clic en el botón “Ir al menú principal” | Se carga el menú principal | Se carga el menú principal |
| 4 | Se oculta el panel inicial y se cargan los primeros pasos | Realizar los pasos que se van mostrando en el panel “Objetivos” | A medida que los pasos se van cumpliendo, estos se desvanecen y aparecen los nuevos a realizar | A medida que los pasos se van cumpliendo, estos se desvanecen y aparecen los nuevos a realizar |
| | | | Los pasos se van actualizando en el orden correcto | Los pasos se van actualizando en el orden correcto |
| 7 | Se cargan los pasos que involucran interactuar con un componente del laboratorio | Seleccionar e interactuar con los componentes del laboratorio | Aparece un borde luminoso alrededor de los componentes que se corresponden con los pasos cargados | Aparece un borde luminoso alrededor de los componentes que se corresponden con los pasos cargados |
| | | | Al interactuar con un componente, se desvanece el paso que corresponde a dicho componente y desaparece su borde luminoso | Al interactuar con un componente, se desvanece el paso que corresponde a dicho componente y desaparece su borde luminoso |
| 8 | Se debe interactuar con un componente del laboratorio | Mover la mirilla o el mouse hasta que colisione con el componente | Se muestra un menú flotante con las posibles acciones a realizar con el componente seleccionado | Se muestra un menú flotante con las posibles acciones a realizar con el componente seleccionado |
| 9 | Se carga el paso para interactuar con el piezómetro | Mover la mirilla hasta que colisione con el piezómetro | Se muestra la miniventana del piezómetro durante 10 segundos | Se muestra la miniventana del piezómetro durante 10 segundos |
| 10 | Se carga el paso para interactuar con el manifold | Pulsar tecla para entrar en la vista interactiva del manifold | Se cambia a la vista interactiva del manifold permitiendo interactuar con sus componentes a través del mouse | Se cambia a la vista interactiva del manifold permitiendo interactuar con sus componentes a través del mouse |

En la prueba realizada los resultados reales se corresponden con los resultados esperados. Se pudo comprobar que el sistema responde correctamente ante las acciones del usuario durante la práctica de familiarización del banco de tuberías.

## 6. CONCLUSIONES

- La implementación de una práctica virtual de familiarización permite a los estudiantes adquirir conocimientos teóricos y prácticos de manera más eficiente. La simulación de escenarios hidráulicos proporciona un entorno seguro y controlado para experimentar sin los riesgos asociados a la práctica en campo.
- Las prácticas virtuales fomentan una mayor participación activa de los estudiantes. Al interactuar con herramientas digitales, los estudiantes se sienten más motivados y comprometidos con el proceso de aprendizaje, lo que contribuye a una mejor comprensión de los conceptos.
- Los estudiantes pueden practicar a su propio ritmo y revisar los contenidos tantas veces como sea necesario, lo que se traduce en un aprendizaje más personalizado.
- La práctica virtual no solo refuerza el conocimiento teórico, sino que también permite a los estudiantes desarrollar habilidades técnicas relevantes para su futura carrera como ingenieros hidráulicos. La familiarización con software y herramientas específicas del campo es esencial para su formación profesional.
- La experiencia adquirida a través de prácticas virtuales entrena a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en el ámbito laboral. La familiarización con procesos y herramientas digitales es cada vez más valorada en la industria hidráulica.
- La asimilación de los fundamentos teóricos y las características de los laboratorios virtuales, valida la selección de Unity como la herramienta más adecuada.
- El desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y eficaz para las prácticas del MultiH.Virtual 3D, que incluye menús para configuración, selección de bancos de trabajo, prácticas y componentes, facilita la interacción y el manejo por parte de los usuarios.
- Mediante el desarrollo de una práctica de familiarización para el banco de tuberías se asegura que los usuarios puedan adaptarse rápidamente a la interfaz y a las funcionalidades del sistema.
- La realización de la prueba funcional permitió analizar detalladamente el funcionamiento de la solución propuesta, garantizando su efectividad y estabilidad.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Informática, por su gran aporte a la investigación: Leonardo Collazo Klenina, Gianfranco Grenier Pérez y Alejandro Pablo Sainz Martínez

## REFERENCIAS

[1] D. Mirauda, N. Capece, and U. Erra, "StreamflowVL: A virtual fieldwork laboratory that supports traditional hydraulics engineering learning," Applied Sciences, vol. 9, no. 22, pp. 49-72, 2019.
[2] K. N. T. Ortiz, D. C. H. Muñoz, and W. N. M. Mendoza, "Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior," Documentos de Trabajo ECBTI, vol. 1, no. 1, 2020.
[3] L. Francis, "Prototipo Web para la implementación de prácticas virtuales de laboratorio de Hidráulica," Pregrado, Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba, 2020.
[4] A. J. León Méndez, M. Gómez Crespo, and R. Collazo Delgado, "Impactos en la aplicación del MultiH. Virtual," Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 39, no. 3, pp. 37-51, 2018.
[5] T. Herrera Achón, Y. Almanza Sánchez, and I. Ordoñez Reyes, "Hidráulica Virtual: asignatura optativa para estudiantes de la carrera de Ingeniería Hidráulica," Revista Cubana de Educación Superior, vol. 39, no. 3, 2020.
[6] B. Y. Madruga, "Propuesta de un sistema de ayuda para el MultiH Virtual v7.0. Caso de estudio en las prácticas virtuales de “Redes de Tuberías”," Bachelor, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE, 2021.
[7] Ministerio de Educación Superior. Reglamento organizativo del proceso docente y de dirección del trabajo docente y metodológico para las carreras Universitarias, 99 pp, 2022.
[8] María Clemente Linuesa. La complejidad de las relaciones teoría-práctica en educación,2007:[22 p.].

[9] García Batista G, Addine Fernández F, Salazar Fernández D, Pérez González JC, González Cano J, García Otero J, et al.: Didáctica.Teoría y Práctica. La Habana. ISP "Enrique José Varona"; 2002. 281 p
[10] Marx C: Tesis sobre Feuerbach. La Habana. Editora Política.O. C., tomo 3
[11] Lenin VI: Materialismo y empiriocriticismo.O. C., tomo 29
[12] Rosental M, Ludin P.Diccionario Filosófico. Revolucionaria ed; 1981. Teoría y Práctica; p. [498.
[13]. Guadarrama González P, Fabelo Corzo J, Santana Castillo J, Ramos Serpa G. Surgimiento y desarrollo de la filosofía marxista-leninista. Lecciones de Filosofía Marxista-Leninista. Tomo I. La Habana: Félix Varela; 2002. p. 62-163.
[14] Konstantinov F, Bogomolov A, Chesnokov D, Gak G, Glezerman G, Kelle V, et al.: Fundamentos de filosofía marxista-leninista. 1 ed. URSS. Progreso Moscú; 1975. 276 p.Parte I. Materialismo dialéctico
[15] Vallazza E. La articulación teoría-práctica: Un desafío de la docencia universitaria. Reflexión Académica en Diseño y Comunicación. 2013;21:199
[16] Ortega Hernández EG. Vínculo entre la formación profesional docente y la atención a las necesidades reales del sistema educativo nacional Estado de México: Secretaría de Educación Pública; 2015. p. 6.
[17] Bermúdez Morris R, Pérez Martín LM, Travieso Valdés D, Armas Velasco CB, Arzuaga Ramírez M, D'Angelo Hernández O: El pensamiento de Lev Semiónovich su vigencia en la educación. Puerto Rico. Organización para el Fomento del Desarrollo del Pensamiento de la República de Cuba; 2016. 89 p
[18] Sierra y Arizmendiarrieta B, Pérez Ferra M. La comprensión de la relación teoría-práctica: una clave epistemológica de la didáctica. Revista de Educación, 342. 2006:24
[19] Zilberstein Toruncha J, Silvestre Oramas M: Didáctica desarrolladora desde el Enfoque Historico Cultural. CEIDE ed. México; 2005.
[20] Castellanos Simons D, Castellanos Simons B, Llivina Lavigne MJ, Silverio Gómez M, Reinoso Cápiro C, García Sánchez C: Aprender y Enseñar en la Escuela: Una Concepción Desarrolladora La Habana.
[21] Colectivo de autores. Plan de Estudio D. Ingeniería Industrial.Presencial. La Habana: Ministerio de Educación Superior; 2007. p. 308.
[22] Paredes I, Inciarte A. Relación teoría-práctica en el quehacer curricular de la mención Educación Básica Integral. Omnia. 2006;12(2):25
[23] N. Méndez Trujillo, "Propuesta Metodológica para orientar el tránsito hacia niveles superiores de asimilación en la asignatura Ciencias Naturales". Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, 2009.
[24] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
[25] L. Collazo Klenina, G. Grenier Pérez, A. Pablo Sainz Martínez. "MultiH.Virtual 3D: simulación de prácticas de laboratorio de hidráulica", Tesis de pregrado de Ingeniería Informática, 2023.

**Sobre los autores**

**Indira Ordoñez Reyes**: Máster en las tecnologías en los procesos educativos. Profesora Asistente del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA) de la CUJAE. Miembro del grupo de Expertos de Tecnología Educativa y de Educación a Distancia del Ministerio de Educación Superior. Afiliada en la Asociación de Pedagogos de Cuba.

**Maray Garrido Monagas:** Doctora en Ciencias Técnicas, Investigador Agregado. Prof. Titular del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Facultad Ing. Civil.

**Sonia Pérez Lovelle:** Doctora en Ciencias Técnicas. Prof. Titular de la Facultad Ing. Informática. Miembro de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación, miembro de la Unión de Informáticos de Cuba.

**Modesto Ricardo Gómez Crespo:** Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar. Viceministro Primero del Ministerio de Educación Superior.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) PARA LA INVESTIGACIÓN Y LOS RETOS DEL DOCENTE EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

**Dr. C. Liuris Rodríguez Castilla.[1], MSc. Javier Rodríguez Ramírez, Dr. C. Arasay Padrón Alvarez**

[1-2] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[3.] Universidad Internacional de la Rioja, UNIR

[1]e-mail: liuris@tesla.cujae.edu.cu ; liurisz@gmail.com
[2]e-mail: jramirez@tesla.cujae.edu.cu
[3]e-mail: arasaybia@gmail.com

**RESUMEN**

El uso de la inteligencia artificial (IA) en la educación superior plantea diversos retos para los docentes, quienes deben adaptarse a un entorno en constante cambio. Este trabajo analiza el impacto de las herramientas de IA en la investigación y la enseñanza, destacando tres categorías clave: herramientas para la búsqueda de información, para el análisis de datos y para la representación de la información. Asimismo, se exploran los desafíos éticos y tecnológicos que conlleva la integración de IA en la educación, tales como la transparencia, la privacidad y la fiabilidad de los algoritmos. Los resultados muestran que la IA ofrece nuevas oportunidades para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y la investigación científica, pero también exige que los docentes desarrollen nuevas habilidades para gestionar estas herramientas de manera efectiva. La personalización del aprendizaje, el fomento del pensamiento crítico y la adaptación a nuevos enfoques pedagógicos son algunas de las áreas donde la IA tiene un impacto significativo en la docencia.

**PALABRAS CLAVES:** Inteligencia artificial; información científica; gestión de información científica; retos docentes; educación superior

## THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) FOR RESEARCH AND THE CHALLENGES OF TEACHERS IN HIGHER EDUCATION

**ABSTRACT**

The use of artificial intelligence (AI) in higher education presents various challenges for educators, who must adapt to a constantly changing environment. This paper analyzes the impact of AI tools in research and teaching, highlighting three key categories: tools for information search, data analysis, and information representation. The ethical and technological challenges of integrating AI into education, such as transparency, privacy, and algorithm reliability, are also explored. The results show that AI offers new opportunities to improve the teaching-learning process and scientific research, but also requires educators to develop new skills to effectively manage these tools. Personalized learning, fostering critical thinking, and adapting to new pedagogical approaches are some of the areas where AI has a significant impact on teaching.

**KEY WORDS:** artificial intelligence, scientific research, information management, teacher challenges, higher education.

## INTRODUCCIÓN

Un recurso importante para el proceso de enseñanza-aprendizaje lo constituye la información como base del conocimiento. Gestionar información científica para el proceso de investigación es una habilidad necesaria a desarrollar durante la formación de todo estudiante universitario y a su vez de los docentes que los preparan para toda su vida profesional.

Se entiende por i**nformación científica** al conjunto de datos lógicos obtenidos en el proceso de conocimiento, que adecuadamente representa fenómenos y leyes de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento y se emplea en la práctica histórico - social. Proporciona nuevos conocimientos en diversas ramas del saber, obtenidos mediante el uso de métodos científicos y la revisión de expertos en el tema [1].

Por otro lado, se entiende por **Gestión de la información científica** al proceso mediante el cual se obtienen, despliegan o utilizan recursos básicos (económicos, físicos, humanos, materiales) para manejar información en y para la sociedad a la que se sirve. Tiene como elemento básico, la gestión del ciclo de vida de la información y ocurre en cualquier organización [2].

Ante los vertiginosos cambios de las TIC e Internet y el crecimiento exponencial de la información en la web, diversas son las herramientas que proporcionan información, sin embargo, se requiere dominar habilidades que permitan identificar las características de cada una de ellas, logrando satisfacer necesidades de información científica para la investigación.

Existen diversas clasificaciones de estas herramientas para su mejor estudio [3]: motores de búsquedas; metas buscadores; directorios de materias; Web Invisible (bases de datos especializadas). Para enriquecer esta clasificación hemos querido incorporar tres categorías más: catálogos; herramientas colaborativas y herramientas de inteligencia artificial.

Sobre este último grupo (inteligencia artificial—en adelante **IA)** se quiere hacer especial énfasis en esta ponencia, pues está siendo muy utilizada entre los estudiantes para su aprendizaje diario y para la investigación. Por ello el objetivo de este trabajo es identificar las características de estas herramientas y analizar los retos que tiene el docente de la educación superior en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ante uso de ellas.

## DESARROLLO

### ¿Qué es la inteligencia artificial?

Es una disciplina y un conjunto de capacidades cognoscitivas e intelectuales expresadas por sistemas informáticos o combinaciones de algoritmos cuyo propósito es la creación de máquinas que imiten la inteligencia humana para realizar tareas, y que pueden mejorar conforme recopilen información. La IA busca diseñar tecnología que emule la inteligencia humana [4].

La inteligencia artificial (IA) ha evolucionado significativamente desde sus inicios en la década de 1950, cuando matemáticos y científicos comenzaron a explorar la posibilidad de crear máquinas que pudieran "pensar". En sus primeras etapas, la IA se enfocaba en resolver problemas lógicos y matemáticos simples. Sin embargo, a lo largo de las décadas, la tecnología ha avanzado a pasos agigantados, integrando aprendizaje automático (machine learning), procesamiento del lenguaje natural (NLP), y redes neuronales profundas [5].

Hoy en día, las herramientas de IA son omnipresentes, desde asistentes virtuales hasta sistemas complejos para análisis de grandes volúmenes de datos. Estas herramientas son esenciales para la investigación científica, ya que permiten a los investigadores procesar y analizar información de manera eficiente, optimizando tiempos y recursos. Sin embargo, su uso no está exento de dilemas éticos y tecnológicos.

Entre los principales desafíos éticos se destacan la transparencia, la privacidad, la toma de decisiones automatizada y el sesgo algorítmico. A nivel tecnológico, las preocupaciones giran en torno a la calidad de los datos, la fiabilidad de los algoritmos y las “alucinaciones”, y la dependencia excesiva en la IA, lo que podría restar valor al análisis crítico humano (figura 1).

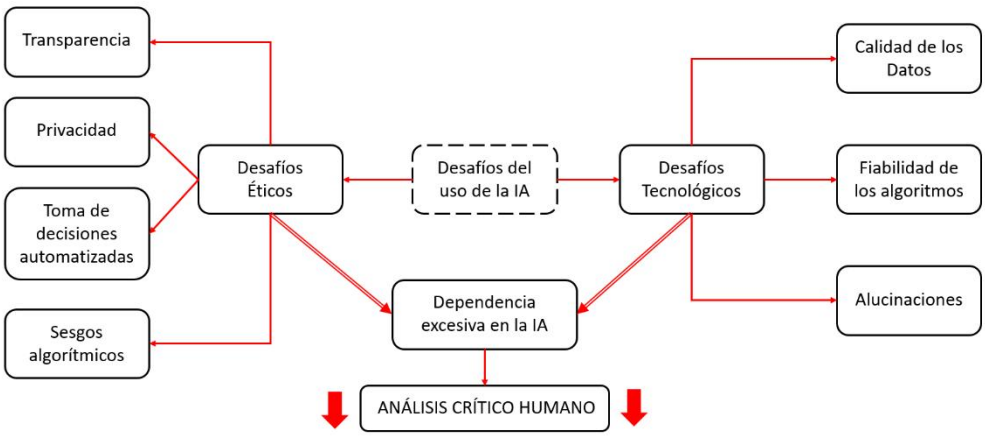



**Figura 1**. Desafíos del uso de la IA.

**Herramientas de IA para la investigación científica**

Su principal característica está en que intenta diseñar una tecnología que emule la inteligencia humana, que sus resultados de búsquedas sean de una interacción tan cercana a una conversación con otro experto en temáticas. Pueden clasificarse de diversas formas, pero en este contexto de la educación superior le ofrecemos tres categorías con especial utilización en este nivel de enseñanza: aquellas de que se utilizan para la búsqueda de información; las que posibilitan realizar análisis de información y las que pueden utilizarse para representar la información (figura 2). En la tabla se ofrecen los componentes de la IA que tienen este grupo de herramientas. Para el presente trabajo se tomaron en cuenta solamente herramientas completa o parcialmente gratuitas.

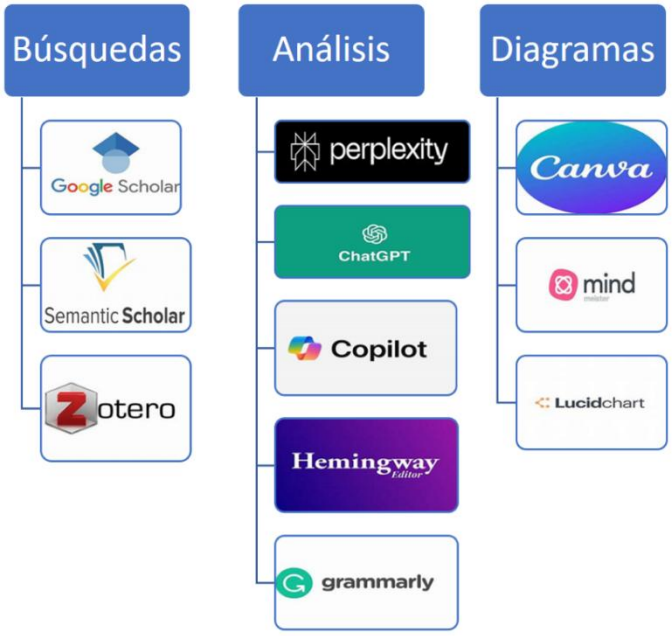



**Figura 2**. Clasificación de herramientas de la IA. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1.** Componentes de la IA que tienen estas herramientas

| **Herramientas** | **Componente de la IA** | **Uso** |
|---|---|---|
| **Google Scholar**<br>Servicios especializado del motor de búsqueda Google, diseñado para la localización de documentos académicos y científicos. | Algoritmos de relevancia y búsqueda. | Utiliza algoritmos basados en aprendizaje automático para clasificar y devolver resultados de búsqueda académica según su relevancia, impacto y número de citas. A través de procesamiento del lenguaje natural (NLP), interpreta las consultas de los investigadores y sugiere artículos científicos relevantes. Es muy útil para buscar información científica precisa y fiable. |
| **Semantic Scholar**<br>Motor de búsqueda y herramienta de descubrimiento de literatura científica. Su objetivo es facilitar la navegación y comprensión de la vasta cantidad de publicaciones académicas disponibles, utilizando técnicas avanzadas de procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje automático. | Aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural (NLP). | Aplica IA para filtrar y priorizar artículos científicos mediante el análisis de citas y métricas de impacto. Utiliza NLP para generar resúmenes automáticos de los artículos, ayudando a los investigadores a identificar rápidamente los estudios más relevantes para su investigación |
| **Zotero**<br>gestor bibliográfico gratuito y de código abierto, su función es ayudar a los usuarios a recopilar, organizar y citar recursos necesarios para la investigación académica. | Aprendizaje automático para sugerencias automáticas de citas y recomendaciones de artículos. | Emplea aprendizaje automático para reconocer y organizar automáticamente los metadatos de artículos, libros y fuentes bibliográficas. Ayuda a los investigadores a mantener sus referencias bien estructuradas y acceder fácilmente a ellas durante el proceso de escritura académica. Localiza ficheros a texto completo en línea mediante los códigos DOI. |
| **Perplexity**<br>Motor de búsqueda conversacional que utiliza inteligencia artificial para proporcionar respuestas a preguntas de manera directa y precisa. | Procesamiento del lenguaje natural (NLP) y modelos generativos de IA. | Utiliza NLP y modelos avanzados de IA, como GPT, para procesar preguntas complejas y generar respuestas basadas en múltiples fuentes académicas. Los investigadores lo usan para obtener resúmenes rápidos y respuestas detalladas sobre temas específicos. |
| **Copilot**<br>Asistente de inteligencia artificial diseñado para integrarse en diversas aplicaciones de Microsoft 365, como Word, Excel y Outlook. | Procesamiento del lenguaje natural (NLP) y generación automática de texto. | Integrado en el navegador de Windows, utiliza IA para ofrecer asistencia en la redacción, programación y procesamiento de datos. Puede generar sugerencias automáticas, corregir errores y ayudar a los investigadores a redactar contenido más rápidamente, al tiempo que organiza las fuentes y recursos en tiempo real. Esta herramienta es especialmente útil para tareas de escritura académica, automatización de código y síntesis de información científica. |
| **Grammarly**<br>asistente de escritura cuya función es la verificación gramatical. | Procesamiento del lenguaje natural (NLP) y modelos de aprendizaje automático**.** | Emplea IA para detectar errores gramaticales, sugerir mejoras estilísticas y aumentar la coherencia en los textos científicos. Además, se adapta a diferentes estilos de escritura y ayuda a mejorar la calidad del lenguaje en ensayos y publicaciones científicas. |
| **Hemingway Editor**<br>herramienta de edición de texto diseñada para mejorar la claridad y la legibilidad | Algoritmos basados en reglas de legibilidad. | Editor que ayuda a mejorar la legibilidad de los textos científicos al simplificar oraciones complejas y reducir el uso de voz pasiva. Es ideal |

| | | |
|---|---|---|
| de la escritura | | para hacer que los textos sean más concisos y fáciles de leer, aumentando su impacto. |
| **ChatGPT**<br>Es un chatbot de IA desarrollado por OpenAI, que utiliza procesamiento de lenguaje natural para generar diálogos que imitan la conversación humana. | Modelos generativos de lenguaje (GPT) y procesamiento del lenguaje natural (NLP). | Puede generar, analizar y ofrecer sugerencias sobre textos científicos. Es útil para realizar análisis preliminares de escritos, redactar resúmenes, y revisa la coherencia y la lógica en los argumentos científicos. |
| **Lucidchart**<br>Herramienta de diagramación basada en la web que permite a los usuarios crear y colaborar en la elaboración de diversos tipos de diagramas. | Algoritmos de IA para sugerencias automáticas de diagramas | Ofrece sugerencias automáticas de diagramas en función de la información ingresada, ayudando a los investigadores a crear mapas mentales, diagramas de flujo y representaciones visuales complejas de datos científicos de forma eficiente. |
| **Canva**<br>Herramienta de diseño gráfico en línea que permite a los usuarios crear una amplia variedad de materiales visuales. | Aprendizaje automático para sugerencias de diseño e imágenes. | Propone diseños gráficos y elementos visuales. Los investigadores lo usan para crear presentaciones, infografías y visualizaciones que resumen información científica de manera atractiva y profesional. |
| **MindMeister**<br>Herramienta de mapeado mental en línea que permite a los usuarios crear, compartir y presentar mapas | Algoritmos de IA para la organización de ideas | Ayuda a los usuarios a estructurar y organizar ideas automáticamente mientras crean mapas mentales. Es especialmente útil para organizar proyectos de investigación o diagramar conceptos científicos complejos de manera visual. |

Después de analizar estas herramientas de IA, es preciso realizar una comparación intencionada entre las bases de datos (BD) especializadas y las herramientas de IA. Las BD especializadas están constituidas por información académica o científica, seleccionada por especialistas para brindar servicios investigativos y con contenido avalado por expertos. Pueden estar clasificadas de muchas formas: monotemáticas o multitemáticas, internacionales o regionales, gratis o con costo, pero todas muy confiables para la investigación y con muchos servicios de valor agregado.

Se seleccionaron 4 indicadores generales para su comparación: formas de buscar; fuentes que proveen el contenido; análisis de la información y servicios que ofrecen. En la tabla 2, se muestran un análisis detallado entre estos dos grupos de herramientas, que puede ser muy útil tanto para docentes como estudiantes, en el momento de interactuar en las búsquedas con cada una de ellas.

**Tabla 2.** Bases de datos de información científica y la IA: puntos de comunes y divergentes

| **Indicadores** | **Base de datos de Inf. Científica** | **Herramientas web de la IA** |
|---|---|---|
| Estrategias de búsquedas | Busca mediante palabras clave que se combinan con operadores booleanos o comodines y filtros que ofrecen las herramientas estructuradas en sus propias páginas de búsqueda. Sus resultados están limitados a las fuentes procesadas en una base de datos propia de la herramienta, principalmente académicas y científicas. | Se organizan mediante Prompts (indicaciones) o preguntas que se le realizan al sistema, las cuales produce un resultado automático relacionado. La información obtenida se puede refinar en función de las necesidades del usuario mediante preguntas de seguimiento o correcciones al prompt en una especie de diálogo que se establece con la herramienta IA. |

| | | |
|---|---|---|
| Acceso a las fuentes donde obtiene la información | Ofrece acceso directo al sitio o fichero donde se encuentra el contenido, los cuales están procesados desde web académicas y científicas o bases de datos especializadas, que tiene su contenido procesado en un único sistema de información. | El funcionamiento varía dependiendo a las características, funcionalidades y potencial de cada herramienta. Las más básicas solo ofrecen un constructo textual conformado a partir de la base de conocimientos y el entrenamiento de la herramienta IA. Normalmente no da referencias de fuentes que la IA utiliza para construir su respuesta a no ser que se le pregunte específicamente este hecho. Otras herramientas IA más avanzadas, además de la información solicitada, también proveen enlaces a las referencias bibliográficas que sirven de base para la respuesta construida. Incluso algunas herramientas como Perplexity cuenta con filtros para que busque información en bases de datos científicas para construir su respuestas. |
| Análisis de información | La información ya dispone de una estructura propia del autor que generó el contenido, pero no sintetizado (resumen) ni interactivo. Análisis métrico de la información. | Analiza y sintetiza la información automáticamente, con una estructura lógica y coherente. Cita las fuentes que consultó en cada parte la información sintetizada. Realiza el análisis que el investigador solicita según su necesidad y las características de cada herramienta. Posibilita subir el texto en varios formatos para realizar análisis directamente sobre estos. |
| Servicios de valor agregado para el investigador | Búsquedas guiadas por temas, búsquedas simples por palabras clave, búsquedas avanzadas por sistemas de filtro, búsquedas por tipologías de colecciones de fuentes, sesiones personalizadas para el investigador, gestiones bibliográficas en línea, servicios de etiquetado de contenido, gestión de resultados por correo electrónico, votar por la calidad de la información, compartir resultados o recomendar. Perfiles de investigador y guarda estrategias de búsquedas | Preguntas complejas, guarda las secuencias de las consultas, busca y analiza en tipos de contenidos (toda la web, académico, imágenes, matemáticos. Preguntas de seguimiento. Permite votar la calidad, compartir resultados, servicio de accesibilidad web (voz en línea). Perfiles de investigador y guarda los hilos de búsquedas. |

**Retos del docente en la educación superior ante el uso de la inteligencia artificial (IA) [6]**

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la educación superior presenta múltiples retos para los docentes, quienes deben adaptarse a un entorno en constante evolución. A continuación, se detallan algunos de los principales desafíos que enfrentan:

1. Adaptación a nuevas herramientas tecnológicas
Los docentes deben familiarizarse con diversas herramientas de IA que los estudiantes utilizan para realizar tareas académicas. Esto incluye plataformas que generan contenido, como ChatGPT, y sistemas

de tutoría inteligente que personalizan el aprendizaje. La falta de capacitación adecuada puede limitar la efectividad del docente en el uso de estas tecnologías.

2. Mantenimiento de la integridad académica
El uso de IA por parte de los estudiantes plantea preocupaciones sobre el plagio y la deshonestidad académica. Los educadores deben establecer estrategias claras para fomentar la integridad académica y asegurarse de que los estudiantes utilicen estas herramientas como apoyo y no como un medio para evitar el aprendizaje.

3. Fomento del pensamiento crítico
La dependencia excesiva de la IA puede limitar el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes. Los docentes tienen el reto de diseñar actividades que promuevan la reflexión y el análisis crítico, asegurando que los estudiantes no solo consuman información generada por IA, sino que también aprendan a evaluarla y utilizarla adecuadamente.

4. Personalización del aprendizaje
Aunque la IA permite una personalización del aprendizaje al adaptarse a las necesidades individuales, los docentes deben ser capaces de integrar esta personalización dentro de un marco educativo más amplio. Esto implica entender cómo utilizar los datos proporcionados por las herramientas de IA para mejorar el proceso educativo sin perder de vista los objetivos curriculares.

5. Ética y privacidad
La implementación de IA en el aula plantea cuestiones éticas, especialmente en lo que respecta a la privacidad y seguridad de los datos de los estudiantes. Los docentes deben ser conscientes de estas implicaciones y garantizar que se manejen adecuadamente las informaciones personales, así como educar a los estudiantes sobre el uso responsable de la tecnología.

6. Innovación en métodos de enseñanza
La IA ofrece oportunidades para innovar en las metodologías educativas, pero esto requiere que los docentes estén dispuestos a experimentar con nuevos enfoques pedagógicos. La resistencia al cambio puede ser un obstáculo significativo, por lo que es crucial fomentar una mentalidad abierta hacia la innovación.

7. Evaluación del aprendizaje
Con el auge de herramientas como la IA generativa, es necesario replantear las formas tradicionales de evaluación. Los docentes deben desarrollar métodos que midan efectivamente el aprendizaje y las habilidades adquiridas por los estudiantes en un contexto donde las respuestas generadas por IA pueden superar a las producidas por humanos.

**La IA y la relación entre estudiantes y profesores en el contexto académico [7]**
La inteligencia artificial (IA) está transformando la relación entre estudiantes y profesores en el entorno académico de diversas maneras. A continuación, se presentan los principales efectos que esta tecnología tiene sobre esta dinámica:

1. Mejora en la retroalimentación
La IA permite a los docentes ofrecer retroalimentación más rápida y personalizada a los estudiantes. Sistemas de tutoría inteligente pueden evaluar el progreso de los alumnos y proporcionar información específica sobre áreas que necesitan mejora, lo que fomenta un aprendizaje más efectivo y adaptado a las necesidades individuales.

2. Automatización de tareas administrativas
La implementación de IA en el aula puede reducir la carga administrativa de los profesores, permitiéndoles enfocarse más en la enseñanza y en la interacción con los estudiantes. Al automatizar tareas como la calificación y la gestión de datos, los educadores pueden dedicar más tiempo a actividades pedagógicas significativas.

3. Fomento del aprendizaje autónomo
Con el acceso a herramientas de IA, los estudiantes pueden explorar contenidos por sí mismos y recibir asistencia personalizada. Esto puede llevar a una mayor autonomía en el aprendizaje, donde los educadores actúan más como guías que como fuentes únicas de conocimiento. Este cambio puede enriquecer las interacciones, ya que los profesores pueden centrarse en desarrollar habilidades críticas en lugar de simplemente transmitir información.

4. Redefinición del rol del profesor
La IA está cambiando la percepción del rol del docente. En lugar de ser el único transmisor de conocimientos, los profesores ahora son facilitadores del aprendizaje, ayudando a los estudiantes a navegar por las herramientas tecnológicas y a aplicar el conocimiento de manera crítica. Esto puede profundizar las interacciones entre ambos, al fomentar un ambiente colaborativo.

5. Desafíos éticos y de confianza
A pesar de sus beneficios, la IA también plantea desafíos relacionados con la ética y la confianza. Los educadores deben enseñar a los estudiantes cómo utilizar estas herramientas de manera responsable y crítica, reconociendo sus limitaciones y sesgos potenciales. Esto requiere una comunicación abierta entre profesores y alumnos sobre el uso adecuado de la tecnología.

6. Cambios en la evaluación del aprendizaje
La capacidad de la IA para generar respuestas precisas puede llevar a una reevaluación de los métodos tradicionales de evaluación. Los educadores deberán adaptar sus estrategias para medir el aprendizaje y asegurarse de que las evaluaciones reflejen verdaderamente las capacidades y conocimientos adquiridos por los estudiantes.

**CONCLUSIONES**

- Las herramientas de IA con versiones gratuitas revisadas son esenciales para optimizar el proceso de investigación científica. Facilitan el acceso a grandes volúmenes de información, mejoran la claridad y la coherencia de los escritos y permiten organizar ideas de forma eficiente mediante visuales.
- Es fundamental, sin embargo, emplear estas herramientas de forma ética y crítica, reconociendo sus limitaciones y potenciales sesgos. Al integrarlas con responsabilidad, los investigadores pueden potenciar sus capacidades y contribuir al desarrollo del conocimiento científico.
- Tanto las herramientas de la IA como las bases de datos especializadas constituyen buenos recurso de información para la investigación, por lo que dominar su uso, constituye un reto y una necesidad para estudiantes y docentes.
- La inteligencia artificial tiene el potencial de transformar positivamente la educación superior, también presenta retos significativos para los docentes. La adaptación continua, el fomento del pensamiento crítico, y el manejo ético y responsable de estas tecnologías son aspectos clave para enfrentar estos desafíos con éxito.
- La IA está reconfigurando significativamente la relación entre estudiantes y profesores, ofreciendo oportunidades para mejorar el aprendizaje mientras plantea nuevos desafíos que deben ser abordados con cuidado y consideración.

**REFERENCIAS**

1. ALVAREZ YERO, Juan Carlos; RIOS BARRIOS, Isabel y VELASQUEZ PENA, Estrella. "¿Cómo desarrollar habilidades para la obtención de información científica? Una propuesta desde la clase de Física." *Revista IPLAC. Publicación Latinoamericana y Caribeña de Educación*, 20121, núm. 1

2. PONJUÁN DANTE, Gloria. "Gestión documental, gestión de información y gestión del conocimiento: evolución y sinergias". Comunicación preliminar. *Ciencias de la Información*, 2005, vol. 36, núm. 3, pp. 67-71.

3. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA. "Tipos de herramientas de búsqueda de información" [en línea]. Página web. [ref. de octubre 2007]. Disponible en Web: http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/portal/tipos-de-herramientas-de-busqueda-de-informacion

4. CASTRO, Miguel. "La inteligencia artificial (IA) Prueba 02". [en línea]. Página web: Centro de Apoyo a la Experiencia de Aprendizaje". UNIMINUTO. [ref. de septiembre 2023]. Disponible en Web: https://centroapoyoaprendizaje.uniminuto.edu/la-inteligencia-artificial-ia-prueba-02/#:~:text=La%20inteligencia%20artificial%20(IA)%2C,la%20inteligencia%20humana%20para%20realizar

5. VILLEGAS DIANTA, Adrian. "Breve historia de la evolución de la inteligencia artificial" [en línea]. Página web: Blog temático. [ref. de mayo 2023]. Disponible en Web: https://adrianvillegasd.com/breve-historia-de-la-evolucion-de-la-inteligencia-artificial/

6. UNIVERSIADD AUTÓNOMA DE MADRID. "El uso de la Inteligencia Artificial en la educación superior: desafíos y propuestas" [en línea]. Página web: Blog temático. IT_GesPub. [ref. de junio de 2024]. Disponible en Web: https://itgespub.net/el-uso-de-la-inteligencia-artificial-en-la-educacion-superior-desafios-y-propuestas/

7. BERNILLA RODRIGUEZ, Eduer Blandimiro. "Docentes ante la inteligencia artificial en una universidad pública del norte del Perú". *Educación*, 2024, vol. 33, núm 64, pp. 8-28.

**Sobre los autores**

**Dr. C. Liuris Rodríguez Castilla.** Profesora de pregrado y posgrado en el Centro de Referencia para la Educación de Avanzada-CREA, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Dr. C. Ciencias de la Educación. Profesora Titular. Editora de la Revista Referencia Pedagógica.

**MSc. Javier Rodríguez Ramírez.** Profesor de pregrado. Centro de Referencia para la Educación de Avanzada-CREA, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". MSc. Tecnologías de los Procesos Educativos. Profesor asistente.

**Dr. C. Arasay Padrón Alvarez.** Profesora-Investigadora, Doctora en Ciencias Pedagógicas. Profesora Titular

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELO DE CLASE INVERTIDA EN EL APRENDIZAJE DE LAS SERIES Y ECUACIONES DIFERENCIALES. CASO CUJAE

**Esther Rosalina Ansola Hazday[1], Anaisa Hernández González[2], Eugenio Carlos Rodríguez[3]**

[1, 2 y 3] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE)
[1]e-mail: ehazday1959@gmail.com
[2]e-mail: anaisa@ceis.cujae.edu.cu
[3]e-mail: ecarlos@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El proceso docente educativo centrado en la enseñanza ha dado paso al centrado en el aprendizaje, donde el estudiante juega un rol más activo. Varias metodologías activas han demostrado su eficacia y efectividad en este nuevo contexto. La enseñanza de la matemática no puede estar ajena a estas transformaciones. Los estudiantes matriculados en carreras afines a la informática, por lo general, tienen a su disposición móviles, tabletas y/o computadoras y poseen determinadas habilidades para desempeñarse con ellas. En este trabajo se presenta la propuesta de aplicación de la clase invertida en el proceso de enseñanza aprendizaje de una asignatura que profundiza en las series y ecuaciones diferenciales que se imparte en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. En particular, se muestra el modelo para el sistema de actividades con el rol que juega cada uno de los actores que participan, cómo se organizan las actividades y se ejemplifica con el tema se sucesiones y series numéricas. La propuesta presta especial atención a la incorporación de tecnologías digitales en los materiales que se proponen para dar soporte a este enfoque pedagógico.

**PALABRAS CLAVES:** Clase invertida, Series, Ecuaciones diferenciales, Metodologías activas.

# FLIPPED CLASSROOM MODEL IN LEARNING SERIES AND DIFFERENTIAL EQUATIONS. CUJAE CASE

**ABSTRACT**

The educational teaching process centered on teaching has given way to one centered on learning, where the student plays a more active role. Several active methodologies have demonstrated their efficiency and effectiveness in this new context. The teaching of mathematics cannot be alien to these transformations. Students enrolled in computer science-related courses usually have mobile phones, tablets and/or computers at their disposal and have certain skills to perform with them. This paper presents the proposal for applying the f classroom in the teaching-learning process of a subject that delves into series and differential equations taught at the Technological University of Havana "José Antonio Echeverría", CUJAE. In particular, the model for the system of activities is shown with the role played by each of the participating actors, how the activities are organized and exemplified with the topic of numerical sequences and series. The proposal pays special attention to the incorporation of digital technologies in the materials proposed to support this pedagogical approach.

**KEY WORDS:** Flipped classroom, Series, Differential equations, Active methodologies.

## 1. INTRODUCCIÓN

El nuevo marco de la Educación Superior propone transformar el paradigma de intervención orientándolo hacia metodologías híbridas más activas centradas en el proceso de aprendizaje del estudiante en el que se incorporan herramientas tecnológicas que permiten un mejor desarrollo de los procesos de enseñanza-aprendizaje [1].

La implementación de la tecnología no implica por sí misma la mejora académica ni la adquisición de las competencias informacionales. Se requiere analizar el sustento pedagógico de las aproximaciones tecno-educativas entre las que se encuentra el modelo de aula invertida.

El aprendizaje activo tiene como objetivo involucrar a los estudiantes de manera activa en la clase, los hace ser protagonistas, pensar sobre lo que aprende, dejando de ser escuchas de la clase [2]. Este enfoque exige captar la atención de los estudiantes, generarle confianza e incrementar su autoestima, ofrecer retos personales más complejos, reforzar el conocimiento y recompensar los logros y combinar con el aprendizaje basado en problemas, colaborativo y móvil [3].

El estudiante actual nació en el período digital, por lo que enfocan su aprendizaje en la incorporación espontánea de la información proveniente de recursos digitales. En cambio, en los profesores, se mezclan inmigrantes digitales con nativos digitales [4]. En la investigación realizada por esos autores, reafirman que el problema va más allá de la simple incorporación tecnológica, que el debate de fondo radica en encontrar una verdadera renovación metodológica y una transformación educativa que permita estar a la altura de las circunstancias de la sociedad actual.

En el contextual actual, ante la necesidad de potenciar el aprendizaje desarrollador que convierta al aprendiz en un sujeto activo, hay que reformular las estrategias de aprendizaje, entendidas como secuencias de acciones dirigidas a la obtención de metas de aprendizaje [5].

Entre las metodologías de enseñanza y aprendizaje que facilitan el acceso a nuevas tecnologías, se destaca el aula invertida [4]. El aula invertida se manifiesta como una metodología emergente que presenta un escaso desarrollo en la literatura científica, a pesar de ellos, el interés es creciente desde diferentes ámbitos de conocimientos, predominando las ciencias [6].

Hoy, más que nunca, el ámbito educativo continúa inmerso en el mare mágnum de innovaciones tecnológicas, de dispositivos móviles y de información incesante cambiante, por lo que varias publicaciones abordan las metodologías docentes que hacen uso de tecnologías digitales en la educación superior [7]. Sigue siendo fundamental que el docente no se vea sobrepasado por la situación o tienda a hacer un uso inadecuado y poco reflexivo de aquellos medios que posee a su alcance, por lo que, qué medios y cómo deben ser usados por los estudiantes; son aspectos cruciales en el diseño de la clase invertida.

La introducción de las tecnologías en el proceso de enseñanza aprendizaje de las Matemáticas, puede contribuir a que los conocimientos, habilidades, modos de la actividad mental y actitudes que se desean formar. Se desarrollen de forma tal que los alumnos se habitúen a reflexionar, plantear hipótesis y conjeturas, validarlas y valorarlas [8].

La carrera de Ingeniería Informática en la CUJAE, se estudia en la modalidad semipresencial bajo un modelo pedagógico flexible, estructurado, centrado en el estudiante y con actividades presenciales y no presenciales, desde el año 2002 [5]. La disciplina de Matemática tiene cuatro asignaturas, siendo el contenido asociado con las series y ecuaciones diferenciales, objeto de la tercera de las asignaturas en orden cronológico.

En este trabajo se propone cómo aplicar el enfoque pedagógico de aula invertida a esta asignatura, partiendo de la experiencia de más de 15 años con el modelo semipresencial.

## 2. ELEMENTOS CONCEPTUALES

B-learning o el aprendizaje semipresencial, combina el trabajo en clase (presencial) y el trabajo en línea (no presencial). Definido con algún parámetro de control sobre el camino, tiempo y ritmo a seguir; bajo la orientación del docente, convirtiéndolo en una experiencia de aprendizaje integrado de responsabilidad y compromiso proactivo compartido.

La modalidad semipresencial en el contexto de la Educación Superior en Cuba, se considera como una variante de aprendizaje mixto, que combina actividades presenciales y no presenciales [9]. Esta modalidad se caracteriza por una carga docente menor que en la modalidad presencial, por lo que se reduce la coincidencia en tiempo y espacio de profesores y estudiantes, y, estos últimos, trabajan solos o junto a otros estudiantes en la ejecución de las tareas docentes indicadas.

En el Reglamento del trabajo docente metodológico de la Educación Superior [10], se reconoce a la clase encuentro como la actividad fundamental en esta modalidad, definiéndola como un tipo de clase donde se aclaran dudas asociadas al contenido estudiando previamente, se debaten y ejercitar estos nuevos contenidos, se orienta el trabajo independiente a realizar por el estudiante para la próxima clase.

La esencia del aprendizaje invertido, aula invertida o clase invertida, está en que la instrucción directa se realiza fuera del aula y el tiempo presencial se utiliza para desarrollar actividades de aprendizaje significativo y personalizado [4, 11 y 11]. De esta manera, se invierten los roles educativos, en el que el docente adquiere un papel secundario como guía del aprendizaje, mientras que el estudiante aprende los contenidos fuera del aula [13].

Las clases magistrales no desaparecen, se complementan con estrategias activas de aprendizaje que favorezcan el aprendizaje significativo del conocimiento [4].

En el aprendizaje siguiendo la modalidad semipresencial, puede encuadrarse perfectamente la metodología de aula invertida porque el docente cambia su rol tradicional en el aula y pasa a ser un facilitador de conocimientos que guía y orienta a los alumnos durante la adquisición de sus competencias. El estudiante, por su parte, se convierte en la parte central del proceso de enseñanza aprendizaje, adquiriendo un rol activo y responsabilizándose con su aprendizaje.

Las características principales de la clase invertida a que es un modelo de enseñanza semipresencial en la que parte de la acción formativa se produce en línea, el docente pasa de ser un transmisor de conocimientos a un facilitador de aprendizajes, el rol del profesor consiste en convertirse en facilitador y/o tutor, supone el desarrollo de actividades de aula que fundamentan el trabajo grupal y colaborativo, en lo que lo relevante para que funcione es la metodología de aula planteada por el docente, en la que los buenos materiales digitales y nada de actividad presencial no hacen eficaz el modelo y que usa principalmente el video, pero se pueden usar otros medios.

Los beneficios del aula invertida se pueden resumir como [14-17]:

- Fomenta el aprendizaje enriquecido mediante tecnología.
- Incrementa la relación entre el trabajo que el estudiante realiza en el aula con el que hace fuera de ella.
- Contribuye a que la labor del docente no sea tan individual o aislada ya que `puede incentivar el trabajo colaborativo entre los profesores a la hora de implementar sesiones, diseñar materiales e intercambiar actividades, lecciones y experiencias educativas.
- Permite a los docentes dedicar más tiempo a atender la diversidad presente en el aula y personalizar la respuesta educativa que ofrecen a cada alumno, adaptándolos a sus necesidades individuales.
- Fomenta el interés de los alumnos por su aprendizaje, al hacer uso de tecnologías que captan su interés.
- El estudiante puede consultar los materiales siempre que lo requieran.
- Genera ambientes de trabajo colaborativo en clase y de hacer uso de las TICs de una forma más apropiada e interactiva.
- Aumenta la demanda de retroalimentación educativa por parte del alumno.
- Los estudiantes crean recursos, los comparte y utilizan recursos creados por otros estudiantes.
- Favorece el desarrollo de competencias genéricas. La necesidad de estudiar previamente los contenidos potencia la responsabilidad, autonomía, capacidad de investigación, aprendizaje y actualización permanente. La realización de trabajo en equipo, tributa a la creatividad, el pensamiento crítico, la toma de decisiones, el logro de metas comunes, la organización y planificación del tiempo, la comunicación oral y escrita y el desarrollo de habilidades personales.

## 3. ELEMENTOS METODOLÓGICOS

En la propuesta se sigue el enfoque histórico cultural ya que éste asume que el aprendizaje se adquiere a través de la actividad como proceso que mediatiza la relación entre el hombre y su realidad objetiva (considera el carácter activo del aprendizaje y la necesidad de centrar el proceso de enseñanza aprendizaje en el sujeto que aprende), reconoce y enfatiza el papel del desarrollo de las funciones psíquicas superiores en el aprendizaje , e identifica a la mediación y la generalización como las propiedades que las distinguen en su desarrollo.

## 4. RESULTADOS

El programa de la asignatura en la carrera objeto de estudio se divide en dos temas: Sucesiones y series numéricas (series de términos positivos, series de signos arbitrarios, series de funciones, series de potencias y series de Fourier) y Ecuaciones diferenciales ordinarias (ecuaciones diferenciales ordinarias - EDO- integrables en cuadraturas, EDO de orden superior, EDO de orden superior no homogéneas, diagonalización y sistemas de ecuaciones diferenciales lineales de 1er orden).

A partir de la propuesta descrita en [9], en la Figura 1, se describe la propuesta del sistema de actividades para implementar la clase invertida en esta asignatura para la carrera de Ingeniería Informática en la CUJAE.

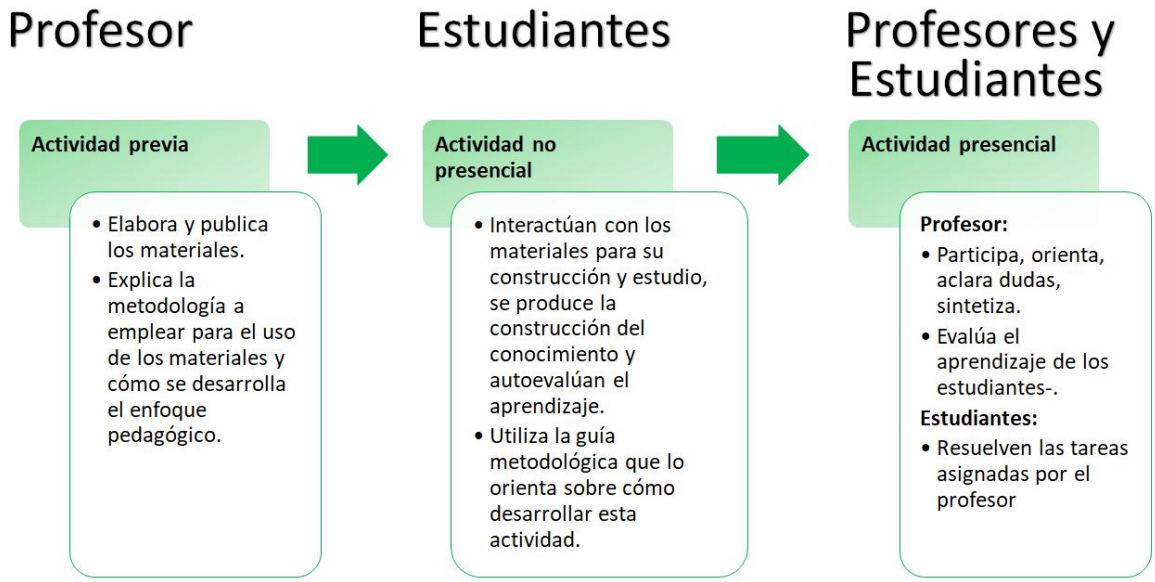



**Figura 1:** Modelo para el sistema de actividades en la implementación de la clase invertida. Fuente: Elaboración propia.

En la **actividad previa** se sugiere que se brinde una explicación de los aspectos esenciales del contenido que será abordado en la próxima actividad presencial y la orientación de las tareas docentes que debe acometer el docente como autopreparación de la misma. Puede ser una clase dedicada exclusivamente a esto o el último momento de la actividad presencial.

En la **actividad presencial**, los estudiantes realizan ejercicios de diferentes niveles de complejidad, donde se apliquen los contenidos y los estudiantes se evalúan usando la coevaluación y heteroevaluación. Implica la comprobación por parte del profesor, de que los estudiantes realizaron las tareas docentes orientadas y que poseen los conocimientos previstos; realizando las acciones requeridas para asegurar esto último.

Los materiales que se proponen para dar soporte a este enfoque pedagógico son:

- Presentaciones de las clases, que incluyen la voz de un profesor de gran experticia en los temas abordados.
- Guía didáctica con ejercicios y problemas que refuerzan los aprendizajes.
- Material instructivo escrito: libros, artículos y monografías
- Videos tutoriales de corta duración sobre las herramientas de software que soportan los métodos numéricos que se estudian.
- Ficha con preguntas sobre aspectos explícitos que salen del video y otras que se infieren del contenido del video.

La combinación de las formas organizativas (tipología de clases y formas de trabajo independiente de los estudiantes), favorecen el empleo de métodos deductivos-inductivos y la formación del pensamiento lógico. Cada tema ha sido organizado siguiendo la estructura que se ejemplifica en la Figura 2.

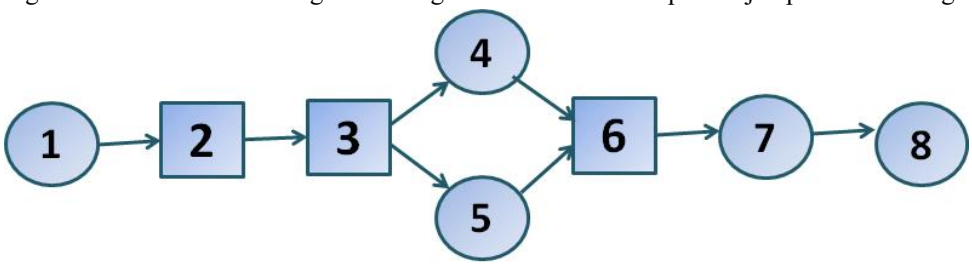



**Figura 2:** Combinación de formas organizativas. Fuente: Elaboración propia.

Estos elementos representan a:

1- Conferencia.

2- Tarea que implica el estudio de los materiales (leer documentos, observar un video con una guía de observación, revisar una conferencia dictada por un profesor de experiencia y con apoyo de un ppt, …)
3- Tarea donde se aplica la estructura de resolución de problemas a ejercicios específicos.
4- Clase práctica donde se aplica la estructura de resolución de problemas a ejercicios específicos de baja o mediana complejidad.
5- Clase práctica donde se aplica la estructura de resolución de problemas a ejercicios específicos de alta complejidad.
6- Tarea para la preparación de un seminario.
7- Seminario para sistematizar y clasificar resultados y realizar una síntesis teórica del tema.
8- Taller integrador para la aplicación de la estructura de resolución de problemas a problemas no estructurados.

En la Figura 3 se representa cómo quedaría organizado el tema 1 (Sucesiones y series numéricas) tomando en cuenta la propuesta anterior.

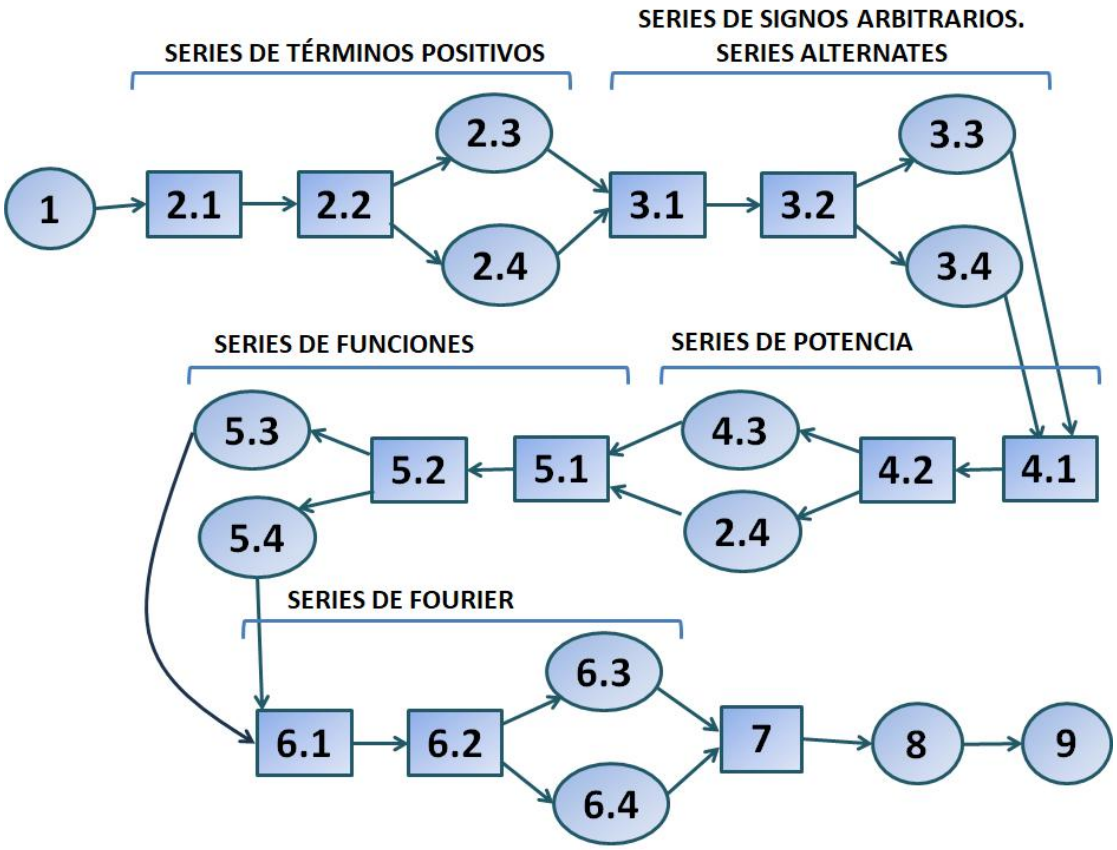



**Figura 3:** Organización del tema Sucesiones y series numéricas. Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia, hay cinco subtemas dentro del tema que desarrollan dos tipos de actividades no presenciales (una teórica y otra práctica) y después dos actividades presenciales en las que se resuelven primero problemas de baja o media complejidad y después problemas de alta complejidad. El tema cierra con un seminario y un taller integrador.

## 5. CONCLUSIONES

Asumir este enfoque pedagógico, presupone varios retos para los profesores, entre ellos: la necesidad de conceptualizar los ejercicios ubicándolos en un contexto con una historia o narración que permita al estudiante sentirse inmerso en una situación y la preparación cuidadosa de los materiales para que sea realmente efectivo en el logro de las metas propuestas; lo que requiere retroalimentación de cada uno de los materiales elaborados. No obstante, se impone revolucionar la forma en que se produce el proceso de aprendizaje de las matemáticas para hacerlas más atractivas a los estudiantes y prepararlos para un mundo profesional en el que tienen que ser entes activos en su aprendizaje.

## REFERENCIAS

1. LÓPEZ ALEGRÍA, F., & FRAILE, C. “Metodologías didácticas activas frente a paradigma tradicional. Una revisión sistemática”. *Revista de la Fundación Educación Médica,* 2023, vol. 26, núm. 1. doi:https://dx.doi.org/10.33588/fem.261.1255
2. ENGEL, A., & COLL, C. ” Entornos híbridos de enseñanza y aprendizaje para promover la personalización del aprendizaje”. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*2022*,* 2022, vol. 25, núm. 1, pp. 225-242. doi:https://doi.org/10.5944/ried.25.1.31489

3. ZEPEDA, S., ABASCAL, R., & LÓPEZ, E. "Integración de la gamificación y aprendizaje activo en el aula". *Ra Ximhai,* 2016, vol. 12, núm. 6, pp. 315-325.

4. GONZÁLEZ, M., & ABAD, E. "El aula invertida: un desafío para la enseñanza universitari"a. *Virtualidad, Educación y Ciencia,* 2020, vol. 20, núm. 11, pp.75-91.

5. HERNÁNDEZ, A., & ANSOLA, E. "La clase encuentro en la modalidad semipresencial para las carreras de ingeniería informática e ingeniería industrial". *Revista de Referencia Pedagógica,* 2014, vol. 1, núm. 2.

6. HINOJO, F., AZNAR, I., ROMERO, J., & MARÍN, J. "Influencia del aula invertida en el rendimiento académico. Una revisión sistemática". *Campus Virtual,* 2018, vol. 8, núm. 1, pp. 9-18.

7. SÁNCHEZ CABALLÉ, A., & ESTEVE MON, F. "Análisis de metodologías docentes con tecnologías digitales en educación superior: una revisión sistemática". *Revista Iberoamericana de Educación a distancia,* 2023, vol. 26, núm 1, pp. 181-199. doi:https://doi.org/10.5944/ried.26.1.22964

8. MÉNDEZ, V. G., MAGAÑA, E. C., PALMERO, J. R., & ARIZA, A. C. "El aprendizaje de las matemáticas mediante tecnología en Europa: revisión de literatura". *Texto Livre*, 2022, vol. 15, e40275.

9. HERNÁNDEZ, A., & ANSOLA, E. "Propuesta de sistema de actividades presenciales y no presenciales en la modalidad semipresencial". *Revista Iberoamericana en Tecnología y Tecnología en Educación. TE&*ET, 2015, núm 16, pp. 41-47.

10. MES. "Resolución No. 47/2022 del Ministerio de Educación Superior (MES): Reglamento de trabajo docente metodológico en la Educación Siuperior". *Gaceta Oficial de la República de Cuba,* 2022. Núm. 129 Ordinaria, pp. 3747-3829.

11. LARREATEGUI, S. Y. C., YALTA, E. M. R., TORRES, D. M., & REGALADO, O. L. "El aula invertida en el aprendizaje de los estudiantes: revisión sistemática". *Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 2021, núm. 77, pp. 152-168.

12. VERÓN, V. C. S., MARÍN, M. B., & BARRIOS, T. H. "El aula invertida como estrategia didáctica para la generación de competencias: una revisión sistemática". *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 2021, vol. *24*, núm. 2, pp. 285-308.

13. BASSO, M., BRAVO, M., & MORAGA, C. "Propuesta de modelo tecnológico para Flipped classromm (TFliC) en educación superior". *Revista Educare, 2018, vol. 22, núm.* 2, pp 1-7.

14. LARREATEGUI, S. Y. C., YALTA, E. M. R., TORRES, D. M., & REGALADO, O. L. "El aula invertida en el aprendizaje de los estudiantes: revisión sistemática". *Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 2021, núm. 77, pp. 152-168

15. Zavala, M. A., González, I., & Rojas, G. M. "Aportes al conocimiento actual sobre el aula invertida." *Revista Espacios*, 2023, vol. *44*, núm. 9, pp. 206-217.

16. PEINADO, R., PRENDES, M., & SÁNCHEZ, M. "La clase invertida: revisión sistemática en el período 2010-2017". *Revista Docencia e Investigación,* 2019, vol. 1, núm 30, pp. 94-118.

17. FIDALGO, A., SEIN, M., & GARCÍA, F. (). *Ventajas reales en la aplicación del método de aula invertida.* Madrid: Editorial Liti. Universidad Politéncia de Madrid, 2020. https://www.researchgate.net/profile/Angel-Blanco-3/publication/338633685_Ventajas_reales_en_la_aplicacion_del_metodo_de_Aula_Invertida-_Flipped_Classroom/links/5e20ceb9a6fdcc10156f7c0b/Ventajas-reales-en-la-aplicacion-del-metodo-de-Aula-Invertida-Flipped-Classroom.pdf.

**Sobre los autores**

**Esther Rosalina Ansola Hazday**, Ingeniera Industrial, Máster en Recursos Humanos y Profesora Auxiliar del Centro de Estudios de Matemáticas para las Ciencias Técnicas en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.
**Anaisa Hernández González**, Ingeniería en Sistemas Automatizados de Dirección, Máster en Informática Aplicada a la Ingeniería y la Arquitectura, Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Informática en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.
**Eugenio Carlos Rodríguez,** Ingeniero en Telecomunicaciones, Doctor en Ciencias Técnicas y Profesor Titular del Centro de Estudios de Matemáticas para las Ciencias Técnicas en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL IMPACTO DE LOS TELÉFONOS INTELIGENTES EN EL DESARROLLO DE LA COMPRENSIÓN AUDITIVA EN INGLÉS

**Maykel Bautis Salomon[1], Odalys de las Mercedes Morales Chacón[2], María Eugenia Legrá Viera[3]**

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda. CP 19380 Marianao, La Habana, Cuba.
e-mail: mbautis@icb.cujae.edu.cu[1], dalysmoraleschacon@gmail.com[2], maria@icb.cujae.edu.cu[3]

**RESUMEN**

El aprendizaje electrónico móvil, de la mano de la enorme evolución de los dispositivos móviles, ha abierto diversas posibilidades para el aprendizaje de un idioma extranjero, planteando nuevas exigencias y grandes desafíos para los educadores. En consecuencia, los teléfonos inteligentes se han integrado al aprendizaje del idioma inglés, con especial énfasis en el desarrollo de la habilidad de comprensión auditiva. Así pues, este artículo aborda el impacto de los teléfonos inteligentes en el desarrollo de la comprensión auditiva de los estudiantes en el contexto local actual de enseñanza aprendizaje del idioma inglés en el nivel terciario. Se empleó una combinación de metodologías teóricas y empíricas, las cuales incluyeron el análisis documental, los métodos analítico-sintético, histórico- lógico, dialéctico y la observación. Como resultado principal se identificaron las ventajas asociadas con el impacto de los teléfonos inteligentes en el desarrollo de la comprensión auditiva de los estudiantes en los cursos de idioma inglés en las universidades cubanas. Claramente, los teléfonos inteligentes se han convertido en herramientas legítimas y necesarias para el desarrollo de la comprensión auditiva en inglés en el contexto local actual. Los móviles inteligentes potencian y diversifican la práctica de la comprensión auditiva, conduciendo a resultados de aprendizaje más positivos, en armonía con las tendencias metodológicas contemporáneas y la actual política de perfeccionamiento de la enseñanza aprendizaje del idioma inglés en la educación superior cubana.

**PALABRAS CLAVE**: teléfonos inteligentes, aprendizaje electrónico móvil, comprensión auditiva, enseñanza aprendizaje del idioma inglés

# THE IMPACT OF SMARTPHONES ON THE DEVELOPMENT OF ENGLISH LISTENING COMPREHENSION

**ABSTRACT**

Mobile-learning hand in hand with the enormous evolution of mobile devices has opened up many possibilities for the teaching of a foreign language, placing new demands and great challenges on educators. In consequence, smartphones have been integrated into English education, with particular emphasis on the development of the listening comprehension skill. Thus, this paper addresses the impact of smartphones on the development of the students´ listening comprehension in the current local context of the English language teaching and learning at tertiary level. A combination of theoretical and empirical methodologies was used, which included documentary analysis, the analytical - synthetic, historical-logical and dialectic methods, as well as observation. As the main result the advantages associated with the impact of smartphones on the development of the students´ listening comprehension in the English courses at Cuban universities were identified. Clearly, smartphones have become legitimate and necessary tools for the development of the English listening comprehension in the current local context. Smartphones enhance and diversify the practice of the listening comprehension skill, leading to more positive students´ learning outcomes; in harmony with contemporary methodological trends, and the current policy for improving the English teaching and learning in Cuban higher education.

**KEY WORDS:** smartphones, mobile learning (M-learning)**,** listening comprehension, English teaching and learning

## 1. INTRODUCCIÓN

En el panorama educativo contemporáneo, las tecnologías, en particular los dispositivos inteligentes, Internet y las computadoras se han convertido en elementos omnipresentes en la vida de los estudiantes. De igual modo, se reconocen como herramientas indispensables en el trabajo de los docentes, sustancialmente a partir de la pandemia de la COVID-19.

La aparición de los teléfonos inteligentes en concreto, se considera un hito de alto impacto en la historia de la tecnología, lo que ha traído consigo cambios vertiginosos en la forma en que las personas interactúan entre sí y con la sociedad, con implicaciones significativas en el ámbito de la enseñanza y el aprendizaje. Acostumbrados a estas tecnologías de manera anticipada, los estudiantes las integran naturalmente en su proceso de estudio y socialización, mostrando un desafío para los docentes que buscan métodos creativos y efectivos para motivar y educar a esta generación estudiantil de nativos digitales.

En este entorno, el aprendizaje electrónico móvil se reconoce como un componente cada vez más importante y rentable del aprendizaje en línea y a distancia, atrayendo la atención de instituciones educativas que buscan innovar en sus metodologías de enseñanza. No obstante, la versatilidad y el potencial del aprendizaje electrónico móvil demandan un análisis detallado de las necesidades y condiciones específicas por parte de los desarrolladores de cursos, docentes y personal administrativo, quienes deben explorar las posibilidades que esta modalidad ofrece con el fin de enriquecer la experiencia de aprendizaje y alcanzar resultados satisfactorios.

De esta forma, los dispositivos móviles se han convertido en catalizadores de un cambio radical, propiciando la emergencia de nuevos modelos y metodologías de aprendizaje para el desarrollo efectivo de las habilidades comunicativas de un idioma extranjero.

Así pues, las aplicaciones móviles han transformado la enseñanza-aprendizaje de idiomas no solo por la conectividad, sino también por la usabilidad y portabilidad, incluyendo beneficios tales como acortar distancias y permitir que el aprendizaje del idioma extranjero no solo dependa del docente y de la clase, sino también del estudiante.

En el marco de la educación superior cubana, la formación en idioma inglés de los profesionales transita por un período no solo renovador sino también desafiante [1]. Como parte de la actual política de perfeccionamiento de la enseñanza del idioma inglés--orientada a elevar la calidad de la enseñanza del idioma inglés en aras de formar profesionales competentes en el idioma extranjero en concordancia con los estándares internacionales--, el conocimiento y uso de la tecnología móvil se considera un elemento primordial de la preparación docente para la impartición de los nuevos programas de los cursos de inglés. Al respecto, los teléfonos inteligentes califican hoy día, como un medio de enseñanza aprendizaje indispensable para la práctica docente, ofreciendo un potencial significativo para facilitar y propiciar muy particularmente el desarrollo de la comprensión auditiva.

Dentro del aprendizaje de un idioma extranjero, específicamente en el contexto de enseñanza aprendizaje del idioma inglés “la comprensión auditiva juega un papel fundamental en el proceso de comunicación y se considera la habilidad más demandada y compleja de desarrollar [2]. La enseñanza de esta habilidad ha estado históricamente ligada al uso de las tecnologías, desde los métodos tradicionales apoyados en el empleo de grabadoras y casetes. En coherencia, en el contexto educativo actual, los teléfonos inteligentes se han integrado como herramientas tecnológicas familiares y accesibles para el desarrollo de esta habilidad.

Así pues, el presente artículo se propone abordar el impacto de los teléfonos inteligentes en el desarrollo de la comprensión auditiva de los estudiantes en el contexto local actual de enseñanza aprendizaje del idioma inglés en el nivel terciario.

## 2. DESARROLLO

**Aprendizaje electrónico móvil: integración de los teléfonos inteligentes en la enseñanza-aprendizaje del idioma inglés**

El estudio de la bibliografía relacionada con el tema revela las redefiniciones de los paradigmas didácticos de la Era Digital actual promovidas por el impulso del aprendizaje electrónico móvil.

El aprendizaje electrónico móvil o *mobile learning (M-learning)*, como se le conoce en inglés a esta modalidad permite a los estudiantes participar en actividades educativas sin las restricciones de un espacio físico predeterminado.

O'Malley *et al*. definen el aprendizaje electrónico móvil como aquel que ocurre fuera de un entorno físico preestablecido o cuando el estudiante aprovecha las oportunidades de aprendizaje que ofrecen las tecnologías móviles [3]. Esta definición engloba las características distintivas del aprendizaje electrónico móvil, tales como su espontaneidad, personalización, informalidad, contextualización, portabilidad, ubicuidad y omnipresencia [4]. Si bien comparte atributos con otras modalidades de aprendizaje electrónico basado en computadoras de escritorio, el aprendizaje electrónico móvil se diferencia por las ventajas y desventajas que conllevan las ubicaciones cambiantes, la interacción inmediata (en cualquier momento) y el uso de dispositivos más pequeños, a menudo inalámbricos.

Se ha comprobado que el uso de teléfonos inteligentes para el aprendizaje de idiomas ofrece grandes ventajas y beneficios, especialmente en la adquisición de vocabulario, ortografía, pronunciación, gramática, así como para el desarrollo de las habilidades de comprensión auditiva y expresión oral trascendentalmente.

A raíz de la pandemia de la COVID- 19, la tecnología móvil se inserta de manera generalizada en la enseñanza del idioma inglés en La Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) como soporte tecnológico principal para el aprendizaje del idioma extranjero, facilitando el acceso a la educación a distancia mediante plataformas educativas digitales como *Moodle,* promoviendo un nuevo estilo para la interacción entre los estudiantes y docentes a través de los teléfonos inteligentes.

En consecuencia, los teléfonos inteligentes se han convertido en un medio de enseñanza activo con diferentes propósitos educativos en el proceso de enseñanza aprendizaje del idioma inglés.

Entre los propósitos más demostrativos destacan los siguientes:

- Implementar la enseñanza aprendizaje del idioma inglés en las modalidades educativas mayormente empleadas en la actualidad: presencial, semipresencial y a distancia; lo que permite renovar los métodos de enseñanza y adaptar el contenido a las necesidades específicas de los estudiantes y del contexto social.

- Propiciar la interacción entre los estudiantes, y entre los alumnos y el profesor, es decir, promover la colaboración y comunicación en el aula y fuera de esta mediante aplicaciones de mensajería instantánea. Esto agiliza la colaboración, la retroalimentación y la aclaración de dudas.

- Realizar evaluaciones formativas y sumativas, revisión de tareas, etc., lo que facilita a los docentes realizar un seguimiento más preciso del progreso de los estudiantes y ajustar su enseñanza en consecuencia.

,

- Descargar imágenes como medio efectivo para la enseñanza del vocabulario; ejecutar videos; cortar, copiar y pegar textos; pasar el dispositivo alrededor de un grupo; enviar y compartir

tareas; enviar o recibir emails, mensajes (*SMS / MMS);* videoconferencias, tomar fotografías de la pizarra con el fin de capturar notas y tareas, así como grabar las clases y compartir pantalla a través del uso de *telegram.*

- Desarrollar las habilidades comunicativas en el idioma inglés, especialmente la comprensión auditiva y la expresión oral. Por ejemplo, grabadora de voz para la práctica de la expresión oral, evaluar y mejorar la fluidez y la pronunciación.

- Acceder y utilizar fuentes de información en inglés, recursos educativos en línea, videos educativos, aplicaciones interactivas y materiales de estudio.

- Potenciar el auto aprendizaje, la responsabilidad y la motivación del estudiante por el conocimiento del idioma extranjero.

- Maximizar el tiempo de la actividad docente. Al integrar funciones tradicionalmente realizadas por otros medios de enseñanza y recursos tecnológicos tales como la pizarra, las computadoras de escritorio, proyectores, etc.; el uso de la tecnología móvil potencia el rendimiento del turno de clase; lo que contribuye a una enseñanza más efectiva y eficiente.

**Impacto de los teléfonos inteligentes en el desarrollo de la comprensión auditiva en los cursos de inglés**

La implementación de la tecnología móvil en la impartición de los cursos de inglés en La Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) ha originado un cambio en la selección de los recursos didácticos destinados para el desarrollo de la comprensión auditiva en inglés.

Se reconoce que la comprensión auditiva es una de las competencias más complejas en el aprendizaje del idioma inglés. Por tanto, entender lo que se escucha en una lengua extranjera es un proceso complejo para los estudiantes. En el contexto de Enseñanza de Lenguas Extranjeras (ELE), la comprensión auditiva representa la capacidad del estudiante de reconocer los fonemas de la lengua, las palabras y la gramática, de comprender y procesar lo que se escucha para realizar una actividad, responder una tarea o ejecutar otra actividad lingüística; ya sea comunicar de manera oral, escribir, o leer. En este sentido, los teléfonos inteligentes no solo han ayudado a satisfacer las exigencias intrínsecas de esta habilidad sino también han enriquecido las prácticas de aprendizaje en los cursos de inglés.

Las aplicaciones móviles han sido clasificadas como instrumentos didácticos muy influyentes en la enseñanza-aprendizaje del idioma inglés, ya que ofrecen acceso a materiales auténticos atractivos para desarrollar la comprensión auditiva, tales como *TED talks, podcasts*, etc., y un sin número de videos de *YouTube*, creando más oportunidades de acercamiento al idioma extranjero y motivando a los estudiantes a tener una participación activa en su proceso de aprendizaje.

Al respecto, varios autores han destacado el impacto positivo de la tecnología móvil en el aprendizaje de la comprensión auditiva.

En concordancia con Pulvermuller, Bausenhart [5], y Wang [6], los teléfonos inteligentes, con su amplia gama de aplicaciones y recursos, se han convertido en herramientas valiosas para el desarrollo de la comprensión auditiva en inglés, ofreciendo a los estudiantes oportunidades de aprendizaje personalizadas y accesibles en cualquier momento y lugar.

Desde el punto de vista de Krash [7], la implementación de aplicaciones móviles en el desarrollo de la comprensión auditiva en las clases disminuye el efecto de los factores emocionales que influyen negativamente en esta habilidad: la falta de motivación, la baja autoestima, y la ansiedad, lo que permite a los estudiantes escuchar y comprender bien. Según este autor, una buena aplicación (integral e

interesante) puede contraatacar tales efectos, lo que permite a los estudiantes participar significativamente en su proceso de aprendizaje con el fin de mejorar el nivel de lengua de manera autónoma.

Citando a Falah, [8]. el aprendizaje electrónico móvil puede tener un efecto significativo para mejorar la habilidad de comprensión auditiva.

En los últimos años, la enseñanza de la comprensión auditiva ha ocupado la primera línea entre los retos del proceso de enseñanza aprendizaje del idioma inglés en la Universidad Tecnológica de La Habana, (CUJAE) debido a la ausencia prolongada de infraestructura. En consecuencia, la tecnología móvil se ha posicionado como una herramienta ineludible para el desarrollo de la comprensión auditiva como alternativa primaria para sortear las deficiencias relacionadas con el desarrollo de esta habilidad en los cursos por niveles que se imparten hasta la fecha (Curso Básico de nivel A1 y Curso Básico de Nivel A2)

Así pues, los profesores han aprovechado las diversas aplicaciones de la tecnología móvil y las amplias oportunidades de internet con el fin de facilitar y desarrollar la comprensión auditiva durante el desarrollo de la práctica docente [1].

Como resultado del impacto del uso de los teléfonos inteligentes para el desarrollo de la comprensión auditiva en los cursos de idioma inglés se identifican las ventajas siguientes:

- Posibilitan el acceso a materiales auténticos apropiados para la práctica de la comprensión auditiva, teniendo en cuenta las características establecidas en el desarrollo del sistema nacional de certificación de inglés para la selección de los textos (autenticidad, tema, acento, velocidad de grabación, nivel de dificultad, claridad de articulación, extensión del material, forma del material, tipo de discurso, etc.).

- Aumentan la motivación en los estudiantes. La presentación de materiales auténticos actualizados constituye un valor agregado para la motivación durante el desarrollo de la comprensión auditiva en los cursos de inglés, facilitando la presentación de tareas atractivas que reflejan situaciones reales cercanas o familiares a las experiencias de los estudiantes.

- Potencian la práctica de la comprensión auditiva de manera dinámica e individualizada.

- Favorecen la comprensión del material. Debido al desarrollo vertiginoso y constante perfeccionamiento de la tecnología móvil, los teléfonos inteligentes-- a pesar de ser dispositivos pequeños-- ofrecen mejor calidad de escucha en comparación con los equipos empleados tradicionalmente para el desarrollo de la comprensión auditiva, lo que permite a los estudiantes entender con mayor claridad las palabras, fonemas e ideas durante la escucha.

- Permiten el uso de materiales auténticos tanto en formato de audio como de video para el diseño de tareas, lo cual diversifica la práctica de la comprensión auditiva. Actualmente, los materiales de video pueden ser reproducidos y compartidos simultáneamente a través de aplicaciones de los teléfonos inteligentes.

- Elevan la práctica de la comprensión auditiva durante el proceso de enseñanza aprendizaje. La portabilidad, conectividad inalámbrica y múltiples funciones de los teléfonos inteligentes, conjuntamente con su masiva presencia aumentan las posibilidades para el desarrollo de la comprensión auditiva tanto en la enseñanza presencial como en la educación a distancia.

- Promueven mejores resultados de aprendizaje en los estudiantes. El aumento de las posibilidades de práctica de la comprensión auditiva utilizando los teléfonos inteligentes favorece el logro de resultados de aprendizaje más positivos en la comprensión auditiva en inglés de los estudiantes.

- Propician cambios en el comportamiento de aprendizaje de los estudiantes. El amplio acceso a fuentes de internet mediante el empleo de los teléfonos inteligentes representa un incentivo para los estudiantes, que conlleva a extender de manera espontánea la práctica de la comprensión

auditiva en inglés más allá del contexto educativo a través de canciones, tutoriales, videos de *YouTube*, *reels,* etc.

Si bien el impacto positivo de los teléfonos inteligentes en la práctica de la comprensión auditiva supera las desventajas, vale la pena apuntar algunos aspectos que deben ser considerados.

Los efectos negativos de la exposición excesiva a las pantallas de los teléfonos inteligentes pueden incluir: fatiga visual, sequedad, picazón, visión borrosa o incluso dolor de cabeza, por lo que se debe evitar la presentación de materiales orales extensos, así como la ejecución de tareas de compresión auditiva por tiempos prolongados.

Por otra parte, algunas aplicaciones móviles educativas incluyen restricciones y condiciones al momento de descargarlas, por lo que se debe tener en cuenta si son gratuitas o no, o si son compatibles con el sistema operativo del dispositivo que empleamos.

Adicionalmente, los teléfonos inteligentes son dispositivos multitarea por naturaleza, por lo que someten a los usuarios a un estado de continua estimulación y distracción, lo que puede afectar la atención y el enfoque de los estudiantes en las actividades de comprensión auditiva en el contexto educativo. Esto significa que los profesores deben estar atentos para evitar la frecuencia de estos inconvenientes en el aula.

Asimismo, al utilizar estos dispositivos en el aula, generalmente se pueden generar ruidos de fondo, interrupciones y otras distracciones que dificultan la comprensión de lo que se escucha.

En entornos locales, las limitaciones asociadas con la conectividad también pueden representar un inconveniente a tener en cuenta para el uso de aplicaciones móviles tanto en el aula como fuera de ella.

Definitivamente los teléfonos inteligentes representan no solo un componente cada vez más relevante en el aprendizaje del idioma inglés, sino que forman parte de las nuevas prácticas y alternativas orientadas a fortalecer y actualizar la enseñanza aprendizaje de la comprensión auditiva en inglés en el contexto local actual.

## 3. CONCLUSIONES

- El aprendizaje electrónico móvil debe ser considerado una metodología ineludible y una nueva forma para el aprendizaje del idioma extranjero, integrada en el actual proceso de perfeccionamiento del idioma inglés en la educación superior cubana.

- Al presente, los teléfonos inteligentes constituyen herramientas legítimas y necesarias para el desarrollo de la comprensión auditiva en idioma inglés, favoreciendo perceptiblemente tanto a los estudiantes como a los docentes durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

- El uso de teléfonos inteligentes ofrece ventajas significativas para el desarrollo de la comprensión auditiva en los cursos de idioma inglés, en alineación con la realidad de las nuevas generaciones de estudiantes y los retos y exigencias que imponen los contextos académicos y profesionales actuales. No obstante, también deben considerarse las limitaciones locales y los inconvenientes asociados para lograr los resultados esperados de su impacto positivo.

## REFERENCIAS

1. MORALES CHACÓN Odalys de las Mercedes, LEGRÁ VIERA, María Eugenia. “Retos en la implementación de la política de perfeccionamiento del aprendizaje del idioma inglés”. Revista de Referencia Pedagógica. Vol 11, No 3, 2023, pp. 549-561.

2. CRUZ, AR. El Fortalecimiento de la Comprensión Auditiva, Un Aspecto Fundamental en la Enseñanza de la Lengua Inglesa. 20217. Disponible en Web: https//www.eumed.net/rev/atlante/2017/11/enseñanza-lengua-inglesa.html.

3. O'MALLEY ET AL. Guidelines for learning/teaching/tutoring in a mobile environment.2005. Disponible en Web: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-0069624.

4. KUKULSKA-HULME, A. (ED.). Mobile learning: A handbook for educators and trainers (Transferred to digital print). Routledge, 2008.

5. PULVERRMULLER, F. Y BAUSENHART, U. Digital language learning: A cognitive linguistic perspective. In M. Carrier & S. Corbett (Eds). The Rouledge handbook of language learning and technology, 2020, pp.283-300) Rouledge.

6. WANG, C. The impact of mobile phone-assisted listening activities on EFL learners´ listening comprehension, 2021.

7. KRASHEN, S. D. Second language acquisition and second language learning (4. print.). Prentice Hall, 1996.

8. FALA, H. The impact of mobile learning to improve the listening and speaking skills. 2024 Disponible en Web: https// doi.org/10.1063/5.0200513.

**sobre los autores**

Maykel Bautis Salomón es profesor asistente del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) y máster en Las Tecnologías en los Procesos Educativos. Sus áreas de especialización abarcan la traducción, la interpretación, la enseñanza de lenguas extranjeras y las tecnologías educativas.

Odalys de las Mercedes Morales Chacón, es profesora auxiliar del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), y máster en Lingüística Aplicada. Es integrante del grupo nacional de expertos en evaluación del Ministerio de Educación Superior: *Cuban Language Assessment Network* (CLAN) y miembro de la Asociación de pedagogos de Cuba.

María Eugenia Legrá Viera es máster en Ciencias de la Educación y profesora asistente del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), con más de treinta años de experiencia en la instrucción del idioma inglés en diferentes niveles de enseñanza.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL DESARROLLO DE LAS HABILIDADES EXPERIMENTALES CON LA INTEGRACIÓN DE LAS TAC EN LA CLASE PRACTICA DE LABORATORIO DE FÍSICA

**Rosaime González de los Reyes[1] Odalys de las Mercedes Portela[2]**

[1], [2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Calle 114 No.11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba, CP 11500.
**e-mail:** rosaime@tesla.cujae.edu.cu
**e-mail:** odaportela@gmail.com

## RESUMEN

En los últimos cinco años la Educación Superior Cubana, ha estado inmersa en un constante perfeccionamiento con el objetivo de mejorar los vacíos existentes en el Proceso de Enseñanza – Aprendizaje (PEA). Como solución se analiza que: entre los objetivos de la agenda 2030, se establece garantizar una educación, inclusiva, equitativa y de calidad, donde debe de incluirse el desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en función de mejorar la calidad del proceso educativo del país. A partir de la realidad constatada el objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de implementar una estrategia didáctica que contribuirá a desarrollar habilidades experimentales en los laboratorios de Física, integrando las Tecnología del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en específico el uso de los teléfonos móviles que hoy poseen los estudiantes; como herramienta didáctica. Para ello la investigación se orienta hacia la dialéctica materialista; utilizando diferentes métodos del nivel teórico, empírico y estadísticos; que permitirán caracterizar el desarrollo de dichas habilidades en los futuros egresados de la especialidad de Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echevarría", Cujae logrando mejoras en materia de aprendizaje.

**PALABRAS CLAVES:** Habilidades experimentales, laboratorio, teléfonos móviles, estudiantes, universitarios).

## RESULTS OF THE APPLIED SURVEY ON GENDER VIOLENCE IN CENTRAL AREAS OF CUJAE

## ABSTRACT

In the last five years, Cuban Higher Education has been immersed in a constant improvement process with the aim of improving the existing gaps in the Teaching-Learning Process (PEA). As a solution, it is analysed that: among the objectives of the 2030 agenda, it is established to guarantee inclusive, equitable and quality education, where the development of Information and Communication Technologies should be included in order to improve the quality of the country's educational process. The objective of this work is to show the results of implementing a didactic strategy that will contribute to the development of experimental skills in Physics laboratories, integrating Learning and Knowledge Technology (LKT), specifically the use of mobile phones, which students nowadays have, as a didactic tool. To this end, the research is oriented towards materialist dialectics, using different theoretical, empirical and statistical methods, which will allow us to characterise the development of these skills in future graduates of the speciality of Telecommunications at the Technological University of Havana 'José Antonio Echevarría', Cujae, achieving improvements in learning.

**KEY WORDS:** Experimental skills, laboratory, mobile phones, students, university students).

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las carreras de perfil eléctrico se encuentra la Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, la cual tiene dentro de sus asignaturas básicas la Física, como parte del currículum base para las especialidades de ingeniería. Los estudiantes reciben la asignatura durante los dos primeros años de su formación como ingenieros.

La disciplina Física General por su enfoque teórico-experimental es de gran relevancia; pues dedica parte del contenido de enseñanza-aprendizaje al desarrollo de las habilidades experimentales, como parte de la formación profesional del futuro egresado.

Uno de los documentos que rige la asignatura es el programa de la disciplina Física General con temas de interés para cada carrera [1] En él se enmarcan todas las habilidades experimentales que deben de desarrollar los estudiantes, mediante el cuadro sinóptico de la propia asignatura [2, 3].

El estudio de los resultados alcanzados por algunos investigadores [4, 5, 6, 7],que han trabajado desde la perspectiva del perfeccionamiento de la Física en las carreras de ingeniería, la observación sistémica del PEA, corroboran que aún "persisten insuficiencias en el desarrollo de habilidades, que limitan las posibilidades de la Física en cuanto a un mayor acercamiento a través de la misma a la formación profesional de los estudiantes de las carreras de ingeniería", quedando precisadas como sigue:

- Insuficientes conocimientos por parte de los estudiantes en asignaturas de ciencias básicas, como la Matemática, la Química y la Física heredadas de la enseñanza precedente [8].

Arribar a la enseñanza superior con desconocimientos de leyes físicas, problemas conceptuales en la matemática, que no son resueltas por la enseñanza anterior, es un problema que la universidad aún no logra solucionar del todo y aunque en la práctica se trabaja en insertar métodos como componentes y vías de solución pedagógica para hacer del contenido de la enseñanza un elemento más de la cultura que debe apropiarse el estudiante continúa siendo un problema.

- Falta de motivación por el estudio de la asignatura de Física como rama de las ciencias básicas

La motivación es algo inherente de cada individuo, pero es lo que hoy lleva a la decepción, a que la mayoría de los estudiantes abandonen la carrera en el primer año, evidenciado en bibliografías consultadas [Fariñas], donde se destaca el hecho de que los estudiantes de ciencias ingenieriles muestran bajos niveles de rendimiento académico en el aprendizaje de la Física durante los primeros años de la carrera.

-Marcada disminución en los resultados docentes, hoy evidenciado en los cortes evaluativos, pruebas finales.

Esto está claramente evidenciado en los cortes evaluativos de las carreras, discutido en los colectivos de años, donde se destaca el hecho de que los estudiantes muestran bajos niveles de rendimiento académico en el aprendizaje de la Física durante los primeros años de la carrera.

- Pocas habilidades adquiridas por los estudiantes que promueven del primer año al segundo año.

Los conocimientos físicos, se fijan en el estudiante cuando este es capaz de identificar un fenómeno, definir una magnitud, aplicar conceptos y leyes y calcular una magnitud física de manera independiente y expresarlo durante el transcurso de sus años de estudios. [3]

- Insuficiente aprovechamiento de los medios de cómputos por los estudiantes: como laptop, tabletas y teléfonos inteligentes, en el aprendizaje y desarrollo de habilidades experimentales en los laboratorios de Física.

En la actualidad los estudiantes tienen en sus manos medios de cómputos, que no lo utilizan adecuadamente para su beneficio propio, como es un laboratorio virtual en una clase de Física.

.

. El actual desarrollo científico-técnico requiere de manera urgente, incluir acciones que lleven no solo a los profesores del Departamento de Física de la Cujae; a hacer uso de la tecnología como medio de enseñanza -aprendizaje activo tanto en las clases prácticas, los laboratorios reales como en los virtuales. Otras de las insuficiencias:

-Deterioro de los puestos de trabajo en el laboratorio de Física

En años anteriores el laboratorio contaba con cierta cantidad de equipamiento, lo que permitía el desarrollo de un sin número de prácticas. Con el pasar del tiempo estos equipos se deterioraron trayendo como consecuencia que se dejaran de hacer algunas prácticas e influyendo de manera negativa en el desarrollo de las habilidades experimentales.

Por ello se destaca como objetivo del siguiente artículo: implementar una estrategia didáctica que contribuirá al desarrollo de habilidades experimentales con la integración de las TAC en la asignatura de Física en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica.

## 2. DESARROLLO

Se aplicó un enfoque de investigación cuantitativa a nivel correlacional, que consistió en dos mediciones (pre-test/post-test) incluyendo el laboratorio de Física entre ambas pruebas. La población de 120 estudiantes de la especialidad de ingeniería en Telecomunicaciones de ellos una muestra de 75 estudiantes. Subdividiéndose en 3 subgrupos de 25 estudiantes.

El método Inductivo-deductivo: para interpretar los hechos y datos, precisar características y relaciones que permitan llegar a un nivel de generalización acerca de las habilidades experimentales e inferir formulaciones teóricas que fundamenten la estrategia didáctica a través de la observación

El análisis del diagnóstico realizado, permitió concretar la necesidad de una estrategia didáctica, que se fundamenta desde la teoría, en el análisis dialéctico materialista del desarrollo teórico práctico, con basamentos científicos y un marcado carácter pedagógico.

En el estudio de la estrategia, se debe partir del análisis etimológico de la palabra, que permite conocer sus antecedentes en la voz griega estrategos (general) y que, aunque en su surgimiento sirvió para designar el arte de dirigir las operaciones militares, luego se empleó para nombrar habilidad, destreza y pericia para dirigir un asunto.

Al analizar el concepto de estrategia, diferentes autores como [10,11] entre otros, la conciben como patrón, plan, método, medio como resultado de un proceso, para obtener los objetivos de la organización.

Aportes sustantivos al estudio de estrategia como propuesta de solución a problemas en los sistemas educativos y los diferentes tipos, han sido dados por investigadores de las Ciencias Pedagógicas, entre los que se encuentran: [12, 13, 14, 15, 16, 17] entre otros, que la definen como conjunto de actividades, acciones, proyección o procedimientos para la transformación de un estado actual a uno deseado de una institución, un objeto, proceso o la personalidad del sujeto.

De la sistematización realizada puede extraerse que las estrategias son políticas que se diseñan con el fin de resolver determinados problemas de la práctica, y vencer dificultades en el menor tiempo con ahorro de recursos; estas permiten proyectar un cambio cualitativo en el sistema, a partir de eliminar las contradicciones entre el estado actual y el deseado e implican una planificación en la que se produce el establecimiento de acciones encaminadas hacia un fin a alcanzar, para lograr bienestar y/o mejor desempeño, y que de acuerdo al fin que persiguen, se clasifican en educativas, pedagógicas, metodológicas, de aprendizaje, de superación, entre otras.

En correspondencia con los fundamentos de partida, se define Estrategia didáctica para el desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de las TAC (teléfonos móviles) en la asignatura de Física como: Conjunto de acciones interrelacionadas llevadas a cabo por el docente, basadas en supuestos pedagógicos, didácticos, filosóficos, psicológicos, sociológicos y tecnológicos que pretenden mejorar la realidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física, a partir de un estado inicial y siguiendo una secuencia lógica que permita propiciar cambios cualitativos en el desarrollo de las habilidades experimentales en el laboratorio docente de física con la integración TAC(teléfonos móviles), a largo o mediano plazo.

Para lograr la conceptuación de estrategia propuesta se parte de la definición de desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de las TAC (teléfonos móviles) en la asignatura de Física en la carrera de ingeniería como: Sistematización de acciones y operaciones que le permitan a los

estudiantes, el dominio para leer instrumentos de medición, calcular magnitudes físicas, diseñar experimentos y representar gráficamente fenómenos en la asignatura de Física, con la integración de las TAC (teléfonos móviles) como medio de enseñanza en las carreras de ingeniería, donde este demuestre su satisfacción personal, autonomía y sea colaborativo.

En consecuencia, para elaborar la propuesta se tuvo en cuenta como fundamento filosófico, la filosofía marxista-leninista, teniendo como base teórico metodológica el método materialista dialéctico, el cual permite el análisis y la interpretación de los procesos, en su desarrollo y concatenación.

Otro aspecto a valorar, es la necesidad del aprendizaje consciente del sujeto(estudiante) como resultado de sus interacciones sociales, interacción con los dispositivos móviles precisando el estado real y actual que manifiestan los estudiantes al interactuar el uno con el otro a través de este medio, así como la unidad de la teoría con la práctica y el perfeccionamiento del sujeto en el desarrollo de la habilidad experimental, de su actividad práctica y transformadora, considerando la clase práctica de laboratorio de física como el lugar y los teléfono móviles como centro de las acciones que se planifican en cada etapa.

En lo psicológico, se fundamenta en el enfoque histórico-cultural, representado por las ideas de Vigotsky y sus seguidores, donde se tiene en cuenta el resultado del contexto histórico en que se desarrolla todo el proceso, teniendo como elemento motor la motivación del sujeto para realizar una actividad determinada, contribuyendo a estimular la ZDP del estudiante. De estos postulados se analiza el desarrollo psíquico del sujeto, su significado en cuanto a cómo va alcanzando su aprendizaje de forma individualidad. Esta fundamentación permite estructurar la estrategia, de manera que posibilite el desarrollo de las habilidades, mediante la realización de tareas individuales y colectivas que potencian la interactividad entre el colectivo, condicionado por lo motivacional-afectivo. Además, tiene en cuenta los procesos metacognitivos, a partir de las posibilidades de cada sujeto, con el empleo de la autoevaluación, coevaluación y evaluación, de apreciar el conocimiento que tienen de sus avances, qué falta y qué hacer para lograrlo, como mecanismo esencial de la autorregulación consciente de la actividad humana que sustenta la necesidad de conocimientos y motivaciones que regulan su modo de actuación para poder desarrollar las habilidades experimentales.

En el orden tecnológico, la estrategia didáctica, se sitúa en la perspectiva de la ciencia y la tecnología como procesos, incluidos en la sociedad actual, hoy matizada, por la tecnología. Poniendo de manifiesto, que el desarrollo humano, se sustenta en el enfoque ciencia- tecnología-sociedad (CTS); en sus inicios con el auge de las TIC como transformadoras de la sociedad, hoy remplazadas por las TAC que ya se han integrado a los PEA, lo que impacta significativamente en los procesos claves de la universidad; que van desde lo Institucional, Pedagógico, Tecnológico según se recoge en [Chávez, Barreiro], corroborado en [18,19].

Su diseño no solo responde a las condiciones tecnológicas existentes en la universidad, también se ha concebido la búsqueda de soluciones emergentes para rescatar prácticas ya inexistentes, que serán apoyadas por los medios de cómputos propios de cada estudiante.

En este sentido la intención es aprovechar al máximo las capacidades tecnológicas y las potencialidades de las simulaciones virtuales y aplicaciones móviles; sin barreras de espacio en materia de limitaciones de conectividad y de tiempo para que realmente sea un proceso flexible, abierto y con la finalidad de satisfacer las necesidades de los estudiantes y el mejoramiento de su actividad profesional, concretado en acceder, procesar y diseminar la información científica con autonomía, creatividad tecnológica, colaboración y satisfacción personal y profesional.

Los fundamentos pedagógicos básicos de la estrategia están en la interacción de las categorías: instrucción-educación, enseñanza-aprendizaje y formación-desarrollo, la plena correspondencia entre los componentes y su preparación planteados en los documentos normativos como consta en el Plan de Estudio E, rigen el trabajo con los estudiantes de las carreras de ingeniería, pues sus acciones hacen posible la interrelación entre lo que se instruye o eduque, entre lo que se aprende, y coadyuve para obtener un egresado competente.

Dentro de los fundamentos didácticos se tienen en cuenta los principios de la didáctica desarrolladora, el carácter bidireccional del proceso de enseñanza-aprendizaje y el protagonismo estudiantil; teniendo en cuenta, la relación sistémica de los componentes de dicho proceso (objetivos, contenidos, métodos, medios, evaluación) y se considera el empleo de las TAC (teléfonos móviles) como soporte material que sirve de apoyo al proceso.

La estrategia didáctica que se propone tiene las siguientes características:

Es didáctica: porque está dirigida a la transformación del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física para ingenieros. [20,21].

Tiene carácter de proceso: logra concebir un conjunto de acciones interrelacionadas que se despliegan en varias etapas para lograr el tránsito a niveles superiores que permitirán el desarrollo de las habilidades experimentales.
Tiene carácter interactivo: permite promover el intercambio, la cooperación e interacción durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física para ingenieros.
Tiene carácter desarrollador: pues origina el desarrollo de la personalidad de los futuros profesionales, a través de la adquisición de conocimientos, el desarrollo de las habilidades experimentales en el laboratorio docente de Física en la consolidación de la cultura de la profesión.
Es contextualizada: pues se ajusta al contexto académico-profesional y científico donde tiene lugar el desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de las TAC en específico con el uso de los teléfonos móviles en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física para ingenieros.
Es flexible: puede adaptarse a las necesidades y prestaciones tecnológicas de los estudiantes.
A continuación, se muestra un esquema que ilustra cómo queda conformada la propuesta de estrategia didáctica, mostrándose su estructura, componentes, momentos y sus relaciones.

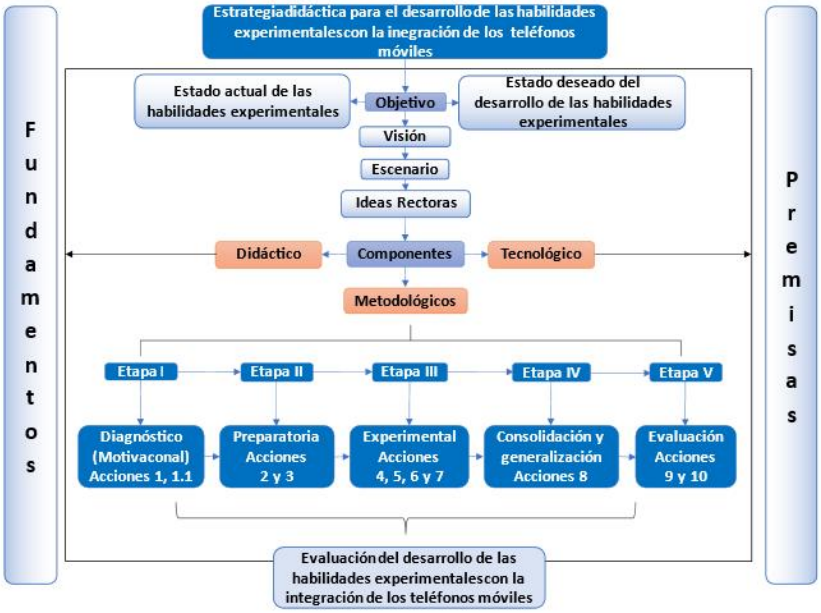



Figura 1. Esquema Modelación de la estrategia didáctica para el desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de los teléfonos móviles en la asignatura de Física General.

Etapa 1 Diagnóstica Motivacional (Acción 1, 1.1)
Objetivo: Diagnosticar el estado del desarrollo de las habilidades en los estudiantes y provocar la motivación de los mismos como condición de cumplimiento de la actividad.
Acción 1: Realizar diagnóstico inicial y procesar los resultados con el objetivo de constatar cuales son las habilidades de mayor dificultad
Las actividades orientadas deben propiciar curiosidad y querer despertar el saber, además de favorecer el proceso de apropiación de los contenidos de la asignatura, mediante la orientación de diversas acciones.
Acción 1.1 Taller donde tanto el profesor como el estudiante va a cuestionarse la validez y alcance de las leyes y teorías físicas en la práctica. Pertinencia de las simulaciones y las aplicaciones en la asignatura.
Orientarse en cómo proceder para realizar el experimento, incluyendo el montaje del mismo y la manera de tabular y procesar la data experimental que debe ser recogida.
-Realización del Taller Metodológico realizado por la autora y otros `profesores en el Departamento de Física.
Con el propósito de que los profesores debatan y profundicen en aquellos aspectos didácticos - técnicos y metodológicos relacionados con el uso de los móviles en la clase práctica de laboratorio, así como los aspectos que requieran perfeccionarse en la estrategia. También se profundizó en el manejo de las aplicaciones móviles en el orden didáctico-metodológico como alfabetización tecnológica para aquellos profesores que presentaban mayores dificultades en cuanto al manejo del móvil.
Etapa 2 Preparatoria.

Objetivo: Preparar el escenario en el que tendrá lugar la estrategia
Para llevar a cabo el proceso de familiarización (Acción 2 y 3);
Acción 2: Conferencia introductoria con los estudiantes. Tuvo lugar antes de realizarse el primer laboratorio.
Tienen como objetivo: Explicar al estudiante la importancia del trabajo en el laboratorio para la comprobación de leyes físicas y la presentación de los instrumentos y equipamientos a utilizar, explicarles sobre los tipos de mediciones, cálculo de errores y como se miden las distintas magnitudes
Acción 3: Taller en específico con los estudiantes, fuera del entorno del laboratorio, para demostrarle que con esta nueva modalidad de enseñanza ellos podían realizar actividades en ambientes extracurriculares y que luego podían comparar resultados obtenidos de la práctica real o sea ya de forma experimental en el laboratorio docente de física.
El objetivo del mismo consiste en mostrarles a los estudiantes los buscadores donde podían descargar algunas aplicaciones. Explicarles las especificaciones de las mismas, relación con los fenómenos físicos a estudiar y su utilidad para el desarrollo de las habilidades experimentales.
Fue necesaria la búsqueda de aplicaciones móviles gratuitas, que no necesitaran conectividad. Muchas de estas aplicaciones se clasifican ateniendo a su conectividad, disciplina a la que se aplica, formulario de consulta, idioma, relación entre los laboratorios reales y virtuales. Se destaca que de las veinticinco encontradas, dieciséis de ellas no requieren conectividad y son totalmente gratuitas, once están en idioma inglés, algo que es de suma importancia porque demuestra la interdisciplinariedad. Existen cinco en español del total de aplicaciones encontradas, quince tienen relación con los laboratorios reales y diez con los virtuales, quince hacen referencia a la FI, dieciséis a la FII, y cinco a la FIII. Se realizaron seminarios a los profesores y sobre todo a los estudiantes para el manejo de las aplicaciones y simuladores.
Etapa 3 Experimental
Objetivo: Procesar la data experimental con la ayuda de diferentes documentos metodológicos.
En esta etapa, el estudiante recoge la data experimental. Para ello debe de hacerlo de forma repetitiva. Realiza tablas, varía valores, establece modelos o comparaciones de resultados obtenidos, con los establecidos de las mediciones.
Acción 4.
Se diseñaron documentos orientadores e instructivos para la realización del experimento. Se realizaron varios instrumentos como: guía de uso de las aplicaciones móviles que pueden ser usadas en la asignatura. Cinco instructivos de laboratorios para las prácticas de FII y el (Orientaciones metodológicas, para las prácticas de EFE (Efecto Fotoeléctrico), Radiación Térmica), con sus dos instructivos de laboratorio utilizando las aplicaciones móviles para la FIII. Todo ello le proporcionará al estudiante las herramientas necesarias para poder realizar el montaje del experimento.
Acción 5 y 6: Explicación por parte del profesor de la manipulación de los instrumentos, reconocer las leyes físicas que se ponen en práctica, además se les explicó cuáles eran las acciones a desarrollar en un laboratorio. Como sexta acción queda por parte del estudiante interiorizar las explicaciones dadas por el profesor para llevar a cabo la realización de la práctica experimental de forma individual o grupal.
Acción 7. Consiste en el que el estudiante dentro del repositorio de aplicaciones y las orientaciones metodológicas dadas debe de ser capaz de poner en prácticas las invariantes funcionales para el desarrollo de la habilidad experimental a desarrollar. Por ejemplo, uno de los primeros pasos es tomar la data de la magnitud física que caracteriza el experimento, para ello los elementos a tener en cuenta son: - Fórmula que expresa su relación con otras magnitudes. -Determinación de la magnitud. - Unidades de medición. - Procedimiento para su medición. Cabe destacar que cinco de las dieciséis pueden ser utilizadas para el desarrollo de las habilidades, observar, siete para medir, cinco para graficar, diez para calcular magnitudes físicas, dos para diseñar, tres para resolver, se destaca que dos de las aplicaciones permiten el desarrollo de otra habilidad, en este caso la cognitiva a través de la lectura.
Para ello el estudiante según la aplicación que corresponda a la práctica debe de colocar de forma correcta el dispositivo. Por ejemplo, si se quisiera medir la temperatura ambiente del laboratorio o utilizar el sensor de luz.
La mayoría de los teléfonos móviles poseen su sensor de luz en la parte delantera del mismo y es el fotodiodo interno que normalmente integra los sensores para poder medir la luz ambiental. El sensor de luz se usa para detectar la intensidad de luz que hay en el entorno donde se esté usando el dispositivo para después poder ajustar el brillo de la pantalla y mejorar su visibilidad. Una forma de comprobar el efecto es poniendo el teléfono en un lugar oscuro o tapando el sensor y luego destapándolo y se verá cómo

recupera el brillo. El fotodiodo mide la cantidad de luz que le llega en la zona visible y del infrarrojo cercano.

Se considera que el procedimiento juega un papel importante pues permite organizar el estudio de estos contenidos y una vía para describirlos; en la actualidad se observan ciertas limitaciones en el papel protagónico del estudiante en el proceso de enseñanza aprendizaje durante su aplicación.

Etapa 4. Consolidación y generalización.

Objetivo: Relacionar las aplicaciones móviles con las prácticas reales

Acción 8 Ejercitación periódica del experimento, interrelación entre las aplicaciones móviles y los laboratorios reales. El alumno debe de hacer uso de las aplicaciones contenidas dentro del teléfono móvil. Con la ayuda de los sensores de las cámaras de los móviles, linternas y otras herramientas pueden realizar el acto de medición, de calibración y el cálculo de algunas magnitudes físicas, interpretar sus resultados y realizar representaciones y análisis de gráficas.

Objetivo: Expresar mediante lenguaje oral o escrito los resultados para ser evaluados por el profesor

Acción 9

La discusión del informe como acción conclusiva; es importante. En este proceso tanto el profesor como el alumno deben ser capaces de percatarse de las deficiencias que están presentes en el aprendizaje, pudiendo retomarse en la próxima actividad docente para ser superada, siempre que esto sea posible por la continuidad del proceso.

Acción10 Aplicabilidad en la especialidad

Objetivo: Lograr la aplicabilidad de las aplicaciones móviles en otras asignaturas de la especialidad

El estudiante en el informe debe de asociar la práctica realizada y vincularla con otra asignatura de la especialidad. Una de las ventajas de las aplicaciones, es que permiten hacer mediciones en tiempo real en la propia actividad experimental, ejemplo la aplicación Every Circuit, utilizada en ejercicios de circuitos a través de cálculo de voltajes y corrientes, tiene relación con contenidos de la asignatura de Circuitos Eléctricos. Otro de los contenidos que se comparten con asignaturas de la especialidad es la temática de Semiconductores (trabajo con el diodo y las diferentes uniones n-p y p-n). Contenido que se imparte también en ambas asignaturas.

## 3. RESULTADOS

La implementación de la estrategia, puso de manifiesto su viabilidad y pertinencia, a partir de constatar que se logró los siguientes resultados

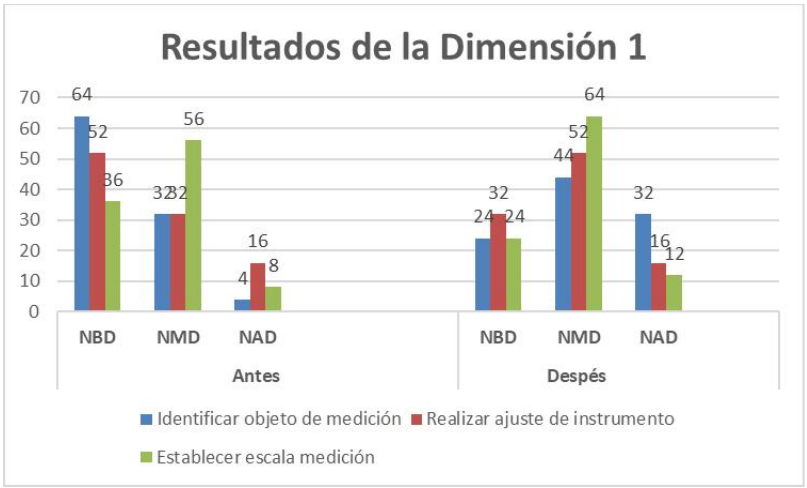



Fig. 1. Análisis de los resultados de la habilidad experimental Leer un instrumento de medición.

Esta habilidad arroja un aumento en el valor medio y alto ya que hay mejoras en sus indicadores fundamentalmente en el ajuste del instrumento

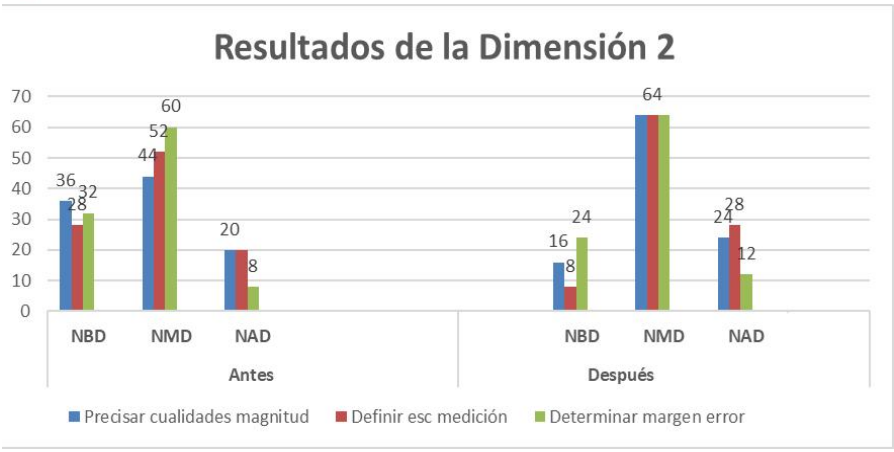



Fig. 2. Análisis de los resultados de la habilidad experimental Calcular una magnitud física

En esta habilidad hay un aumento en el valor medio, pues mayor cantidad de estudiantes han mejorado el nivel de desarrollo en cuanto a la determinación de la escala y las cualidades de la magnitud.

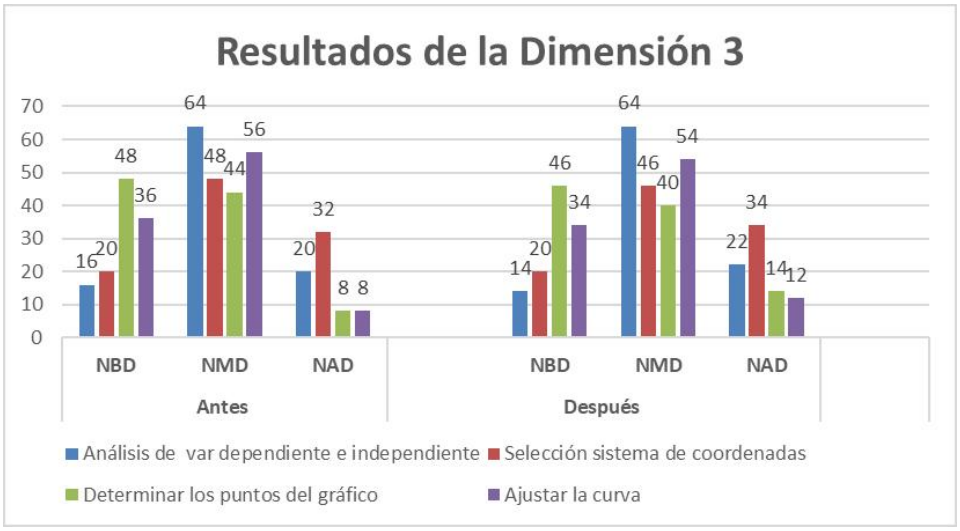



Figura 3: Análisis de los resultados de la habilidad experimental representar gráficamente

La habilidad experimental representar gráficamente refleja que los estudiantes poseían dificultades para elegir los sistemas de coordenadas por lo general se les orienta utilizar el método de los mínimos cuadrados para realizar el ajuste visual. Es notable la mejoría en el ítem ajuste de la curva y en la determinación de los puntos del gráfico.

Luego de aplicada la estrategia, se observó como el nivel de independencia a la hora de realizar las prácticas de laboratorio, iba en ascenso. Los estudiantes en su mayoría antes de ponerse en práctica la estrategia mostraban dificultades en la representación gráfica. Posteriormente el dominio de esta habilidad pasó de un Nivel Alto de Dificultad a un Nivel Medio de la misma como se muestra en los resultados

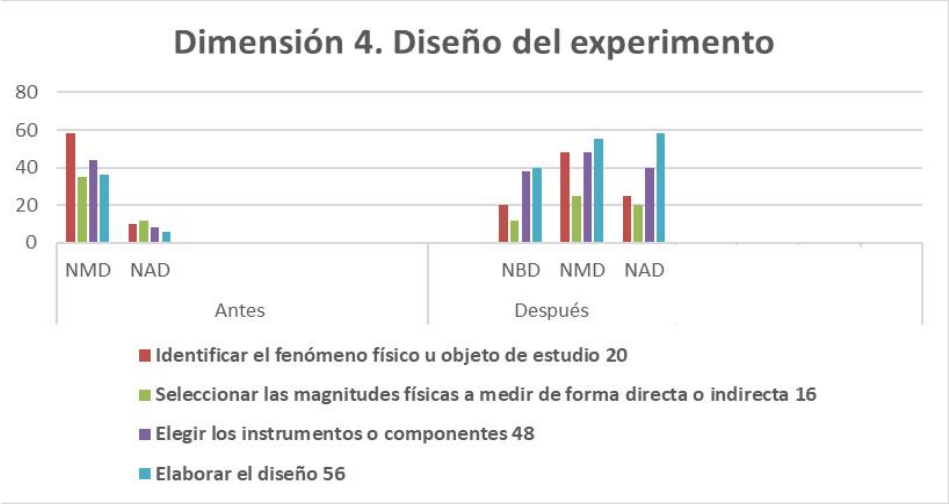



Figura 4: Análisis de los resultados de la habilidad experimental diseño del experimento

Esta dimensión es de gran interés, pues la aplicación contribuyó a que los estudiantes lograran diseñar el puente de Wheatstone en la aplicación, elemento que los ayudó como ejercicio previo antes de hacer la práctica real. Por lo general ya el estudiante se encuentra la práctica montada en el laboratorio. El objetivo es realizar la medición de una resistencia desconocida, sabiendo el valor de las restantes y el equilibrio de los brazos del puente Esta dimensión pasó de un valor medio de desarrollo a nivel alto.
Esta dimensión pasa de un nivel medio a un nivel alto de desarrollo. Hay reconocimiento por parte de los estudiantes que el teléfono móvil puede ser más que un dispositivo electrónico, también un recurso o medio de enseñanza. Durante la aplicación de la estrategia se logró una mejora en la versión Android de los teléfonos de los estudiantes

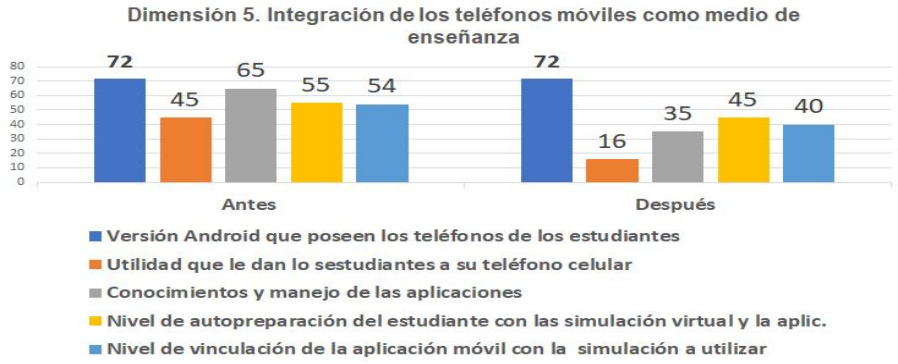



Figura 5: Análisis de los resultados de la habilidad experimental Integración de los teléfonos móviles
El integrar el teléfono o las aplicaciones móviles para el desarrollo de habilidades experimentales en la asignatura tuvo un impacto positivo. Aunque en los inicios los estudiantes desconocían sobre la existencia de algunas aplicaciones y su uso. Esta dimensión pasa de un nivel medio a un nivel alto de desarrollo.
Por ejemplo, la aplicación Every Circuit era no conocida por un 80% y Herramienta Inteligente un 56,0% y la aplicación de Efecto fotoeléctrico, desconocida en su totalidad. O sea, sólo el 20% y el 44% respectivamente conocían las aplicaciones al inicio del curso. Luego de aplicada la estrategia se reconoce la importancia de la integración e incluso la utilidad que podían tener en asignaturas de la propia especialidad.
La inclusión del móvil en la práctica de óptica tiene como ventaja el poder utilizar el sensor de la cámara del propio teléfono móvil lo cual permitió establecer mejoras en la medición o determinación del patrón. Físicamente las variaciones de la longitud de onda entre la rendija-sensor se encuentra limitada por la longitud del banco del banco óptico en la práctica real.
Al incorporar el teléfono móvil se puede colocar la pantalla de referencia tan alejada de la rendija como se desee (siempre que lo permita la intensidad del láser). Para obtener mejor exposición del patrón se coloca un papel delante de la pantalla. Por consiguiente, se hace más visible el patrón una mayor distancia

entre máximos/mínimos, lo cual hará que se comentan menor cantidad de errores en la medición, llegando a disminuir hasta en un orden de magnitud determinada

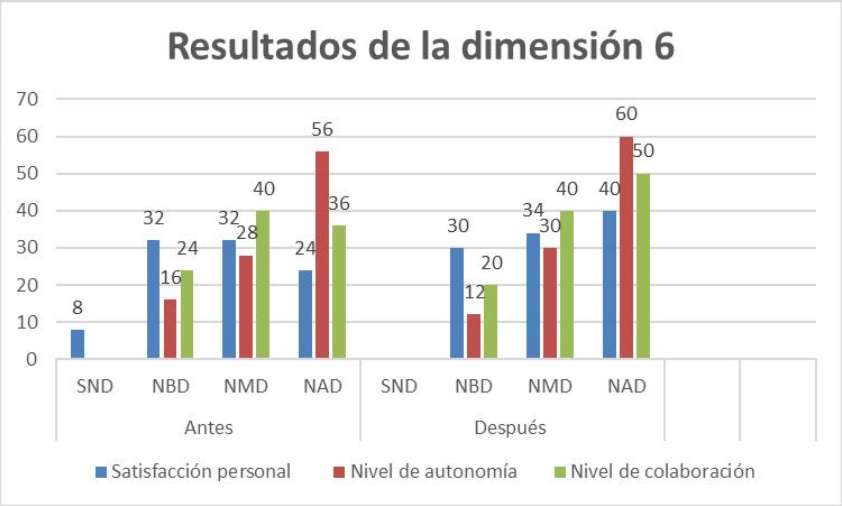



Figura 6. Resultados de la dimensión modo de actuación en el laboratorio.

En los modos de actuación hay un aumento del nivel de satisfacción por parte de los estudiantes, al igual que de colaboración entre ellos. Los estudiantes pudieron constatar por ejemplo en la habilidad de diseño del experimento lo ventajoso que resulta, el uso de la aplicación como elemento de auto -preparación o modelación del circuito. Además, se destaca en este aspecto el carácter colaborativo de los estudiantes al poder comparar los resultados. Siempre con el objetivo de que aquellos que mostraban mayor desempeño en la habilidad pudieran ayudar a sus compañeros.

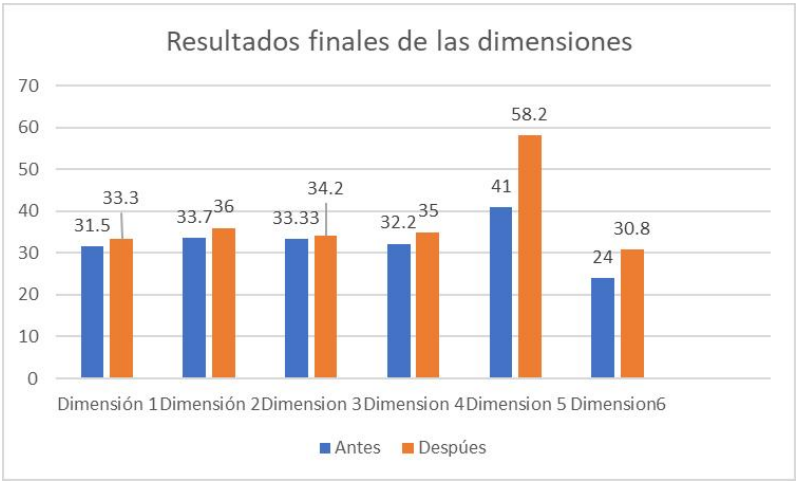



Figura 7: Resultados finales de las dimensiones

## 4. CONCLUSIONES

La sistematización realizada sobre el desarrollo de habilidades experimentales en la asignatura de Física en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y específicamente con la integración de las TAC(teléfono móvil), permitió comprobar los diversos enfoques en torno al estudio de esta problemática y arribar a la conceptuación de desarrollo de las habilidades experimentales con la integración de este nuevo medio de enseñanza en la asignatura de Física en la carrera de ingeniería y la identificación de los fundamentos teóricos y metodológicos de partida para la determinación de las dimensiones e indicadores de la variable en estudio. Los resultados obtenidos del diagnóstico, revelaron la necesidad de trabajar en el desarrollo de las habilidades experimentales en la clase práctica de Física y en la asignatura de manera general, en la carrera de ingeniería en Telecomunicaciones

La estrategia estuvo concebida sobre las exigencias actuales del plan de estudio vigente, en correspondencias con las condiciones o momento histórico educacional, al incorporar la integración de las TAC como medio de enseñanza y componente del sistema del PEA para la asignatura de Física, que permita el desarrollo de las habilidades experimentales. Esta integración y la interrelación entre sus componentes, tienen un alto valor metodológico y didáctico, lo cual contribuyó a realzar los conocimientos de los estudiantes sobre el uso de diversas aplicaciones en beneficio del desarrollo de las habilidades experimentales en el laboratorio docente y convertirse en un elemento facilitador para la asimilación del aprendizaje desarrollador. Los resultados de la aplicación de la propuesta y de los instrumentos utilizados en el diagnóstico de salida, permitieron corroborar las transformaciones positivas de las dimensiones e indicadores de la variable.

**REFERENCIAS**

1. Programa de General de la Física General. Plan E. (2018) Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae.p.1
2 Ardila, J. C. C. Reflexiones sobre la didáctica en física desde los laboratorios y el uso de las TIC. Revista Universidad Católica del Norte, Vol.35, núm. 3, pp. 23
3 MES. Plan de Estudio E (Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica). Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría. Cujae, 2017c, pp.167.
4 Barberán, S. B. (2012). Contribución a la formación ética del ingeniero informático a través de la Física. Tesis doctorado, Universidad de Ciencias Pedagógicas "José de la Luz y Caballero", Holguín, Cuba. 2012.
5 LLovera, Juan. ¨Evaluación de la Solidez en el aprendizaje de la Física por invariantes en estudiantes de Ingeniería Química". Revista Binacional Brasil-Argentina, 2013, Vol.2. núm. 2, pp.139-159.
6 Rodríguez, Deisy. Estrategia Didáctica para la complementación mutua de las simulaciones virtuales y los experimentos reales en el laboratorio docente de Física para carreras de ingeniería en la Cujae. Tesis doctorado. Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, La Habana, 2014.
7 Reyes, Rosaime; Portela Odalys. Utilización de las Tic como estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades en el laboratorio de Física universitaria. Tecnología Educativa, 2021, Vol. 6. Núm 2. pp.3-8
8 Rodríguez-Rodríguez, L. E. Evaluación de cualidades del pensamiento de estudiantes de Matemática-Física al ingreso a la universidad. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación". 2018,Vol 18, Núm 2, pp. 1-23.
9. Fariñas, Gloria. El enfoque histórico cultural en el estudio del desarrollo humano: para una praxis humanista¨ Actualidades Investigativas en Educación. Revista Electrónica, 2009, Vol 5, Núm. 1 pp.1-2.
10. MES. Plan de Estudio E (Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica). Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría. Cujae, 2017a, pp.34.
11. Hayes, Rafael. Planteamiento Estratégico. México: Editorial Trillas, 1990. pp. 252
12. Mitzberg, Henry. Safari a la estrategia. Argentina: Ediciones Garnica, 2003. 248pp.
13. Sierra, Regla. Modelo teórico para el diseño de una estrategia pedagógica en Educación Primaria y Secundaria Básica. Tesis doctorado. Instituto Superior Pedagógico "Enrique José Varona", Ciudad de La Habana, 2004.
14. Marimon José; Guelmes Esperanza. La estrategia como resultado científico de la investigación educativa. En De Armas Nerely, compiladora. Los resultados científicos como aportes de la investigación educativa. Universidad de Ciencias Pedagógicas "Félix Varela", 2008, pp72
15. Lamas, Margarita. La superación de los profesores de Historia como promotores del desarrollo de la formación humanista en la escuela politécnica actual. Tesis doctorado. Instituto Superior Pedagógico "Héctor Pineda"; Ciudad de La Habana, 2006.
16. Consuegra, Pedro. Estrategia de preparación de la reserva especial pedagógica. Tesis doctorado. Instituto Superior Pedagógico Felix Varela Villa "Clara,2007
17. Rodríguez, Deisy. Estrategia Didáctica para la complementación mutua de las simulaciones virtuales y los experimentos reales en el laboratorio docente de Física para carreras de ingeniería en la Cujae. Tesis doctorado. Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, La Habana, 2014.
18. Valle, Alberto. La investigación pedagógica. Otra mirada. Instituto central de Ciencias Pedagógicas. Ministerio de Educación, La Habana, Cuba, 2012. pp.190

19. Chávez, Justo. y. otros. Principales corrientes y tendencias a inicios del siglo XXI de la pedagogía y la didáctica. Educación Cubana. Visitado: enero 2019. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131510001417.
20. Barreiro, Laura. Estrategia didáctica para el desarrollo de la competencia comunicativa en idioma inglés con fines profesionales en el posgrado. Tesis doctorado.Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, La Habana, 2017
21. Santos, Janet; Armas, Camilo. Integración de las Tecnología de la Información y la Comunicación en los procesos formativos universitarios. 12 Congreso Internacional de Educación Superior. Universidad 2020, 12, La Habana, Cuba. http://www.rsearchgate.net. Consultado 20 de agosto de 2021

**SOBRE LAS AUTORAS:**



Rosaime González de los Reyes: Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica. Profesora Asistente de Física, Facultad de Telecomunicaciones. Diplomada en Cooperación Internacional. Metodóloga de la Oficina de Colaboración Internacional de la Dirección de Relaciones Internacionales de la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría¨ CUJAE



Odalys Portela López: Doctor en Ciencias Pedagógicas. Profesora Auxiliar del Departamento de Grafica de la Universidad Tecnológica de La Habana, ″José Antonio Echevarría ”, La Habana, CUJAE

21 del 25 al 29 de noviembre de 2024
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL GEOGEBRA 3D COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO PARA LA ARQUITECTURA

**Jorge Luis Montero Bizet[1], Victor Fabián Quintero Vidal [2], Yazmín Zaldivar Montes de Oca[3], Inés Beatriz Vázquez Batistas[4]**

[1]Universidad de Oriente, Av. Patricio Lumumba No.507e/ Ave. De Las Américas y Calle 1ra, Reparto Jiménez, jorge.monterob@uo.edu.cu
[2]Universidad de Oriente, Av. Patricio Lumumba No.507e/ Ave. De Las Américas y Calle 1ra, Reparto Jiménez, victorfabianquinterovidal@gmail.com
[3]Universidad de Oriente, Av. Patricio Lumumba No.507e/ Ave. De Las Américas y Calle 1ra, Reparto Jiménez, yasmin.zaldivar@estudiantes.uo.edu.cu
[4]Universidad de Oriente, Av. Patricio Lumumba No.507e/ Ave. De Las Américas y Calle 1ra, Reparto Jiménez, inesbea.vazquezb@gmail.com

**RESUMEN**

Problemática: El diseño de un espacio arquitectónico requiere del empleo de softwares de diseños 3D en la profesión de arquitectura. En Cuba el empleo de los mismos se encuentra limitado por la escasez de recursos tecnológicos o por el desconocimiento por parte de los docentes de softwares que se puedan emplear en la infraestructura tecnológica actual. Objetivo(s): Mostrar la experiencia desde la asignatura de matemática del empleo de GeoGebra 3D como herramienta de diseño para la Arquitectura. Metodología: Se efectuó un Taller denominado ↑GeoArqui↓ donde se le asignó un problema matemático a los estudiantes para reflejar las experiencias sobre el empleo de GeoGebra 3D. Resultados y discusión: A partir de una secuencia de tareas los estudiantes diseñaron en el software el tanque prefabricado mediante la aplicación de herramientas del GeoGebra 3D. Conclusiones: La experiencia demostró la utilidad del GeoGebra 3D como herramienta para el diseño en arquitectura.

**PALABRAS CLAVES:** Boceto, Simulación, Dibujos, Tanque prefabricado.

## GEOGEBRA 3D AS A DESIGN TOOL FOR ARCHITECTURE

**ABSTRACT**

Problem: The design of an architectural space requires the use of 3D design software in the architecture profession. In Cuba, their use is limited by the scarcity of technological resources or by the lack of knowledge on the part of teachers of software that can be used in the current technological infrastructure. Objective(s): Show the experience from the subject of mathematics of the use of GeoGebra 3D as a design tool for Architecture. Methodology: A workshop called "GeoArqui" was carried out where a mathematical problem was assigned to the students to reflect the experiences on the use of GeoGebra 3D. Results and discussion: From a sequence of tasks, the students designed the prefabricated tank in the software by applying GeoGebra 3D tools. Conclusions: The experience demonstrated the utility of GeoGebra 3D as a tool for architectural design.

**KEY WORDS:** Sketch, Simulation, Drawings, Prefabricated tank.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciencia de la Informática ha alcanzado un gran desarrollo desde inicios de la segunda mitad del siglo XX, aplicándose en numerosas y variadas áreas del conocimiento como: la robótica, la medicina, la arquitectura, la meteorología, la industria, y las comunicaciones (Yero & Batista, 2018). Para el Ministerio de Educación Superior (MES) de Cuba hacer comprender el mundo visual en el que vivimos, las imágenes y cómo presentamos nuestras ideas es fundamental en la carrera profesional de Arquitectura.

Los programas de diseño 3D constituyen una herramienta que garantizan una optimización de los procesos de construcción (Ponce & Quinteros, 2022). El empleo de softwares de diseños 3D en la profesión de arquitectura en Cuba y principalmente desde la asignatura de Matemática resulta una necesidad por la estrecha relación directa que tiene la misma en el desarrollo de un acto creativo artístico como es el diseño de un espacio arquitectónico, donde se describe matemáticamente la superficie involucrada (Garelik et al., 2020); no obstante a pesar del esfuerzo por el MES se encuentra limitados los empleos de los software de diseños 3D ya sea por la escasez de recursos tecnológicos o por el desconocimiento por parte de los docentes de softwares que se puedan emplear en la infraestructura tecnológica actual. El siguiente estudio tiene el fin de mostrar la experiencia desde la asignatura de matemática del empleo de GeoGebra 3D como herramienta de diseño para la Arquitectura.

## 2. METODOLOGÍA

El estudio se realizó durante el periodo febrero-abril de 2023 en la Universidad de Oriente, ubicada en Santiago de Cuba, Cuba. Para reflejar las experiencias sobre el empleo de GeoGebra 3D como herramienta de diseño para la Arquitectura se efectuó un Taller denominado ↑GeoArqui↓ donde participó un profesor del departamento de Matemática Aplicada y cuatro estudiantes de primer año de la carrera de Arquitectura de la Universidad de Oriente.

La metodología empleada para efectuar el taller que se asumió fue la planteada por (Caro, 2015) modificada. Para evidenciar el empleo de GeoGebra 3D como herramienta de diseño para la Arquitectura se les asignó a los estudiantes la tarea de representar en el software un tanque prefabricado utilizado en Cuba para la distribución centralizada de agua por gravedad reflejado en la Fig.1.



Figura 1: Tanque prefabricado utilizado en Cuba para la distribución centralizada de agua por gravedad

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para resolver esta tarea los estudiantes: (i) elaboraron un ↑boceto↓ de aquella parte del fenómeno que se quiera representar en el software, (ii) identificaron las formas presentes en el boceto desde un punto de vista matemático como se muestra en la Fig.2 y (iii) construyeron los dibujos asociados a tales formas, lo cual se muestra en la Fig.3 (Bracho, 2018).

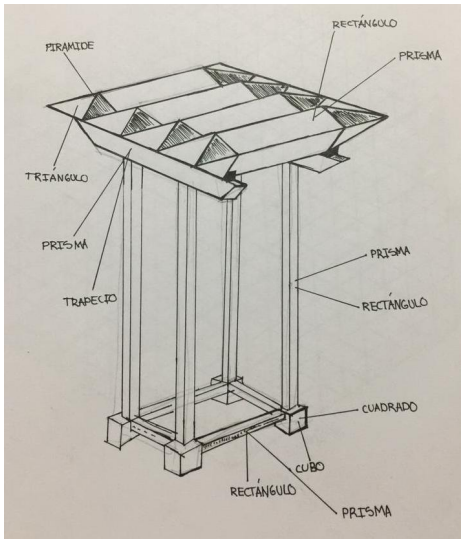


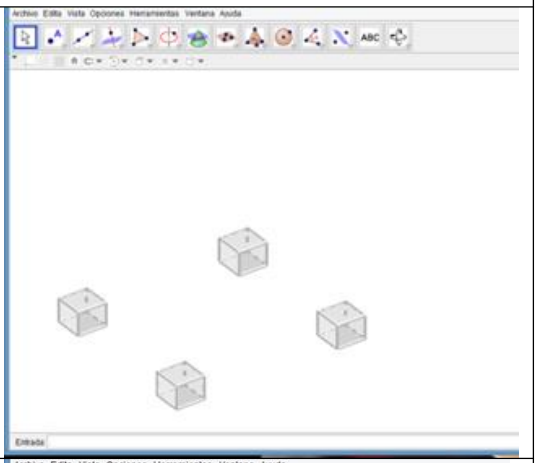
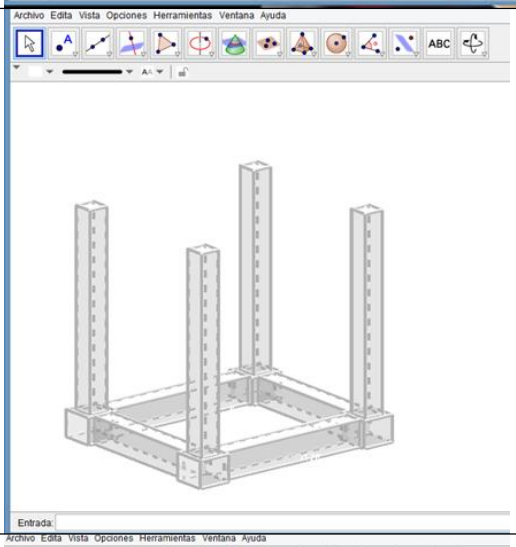
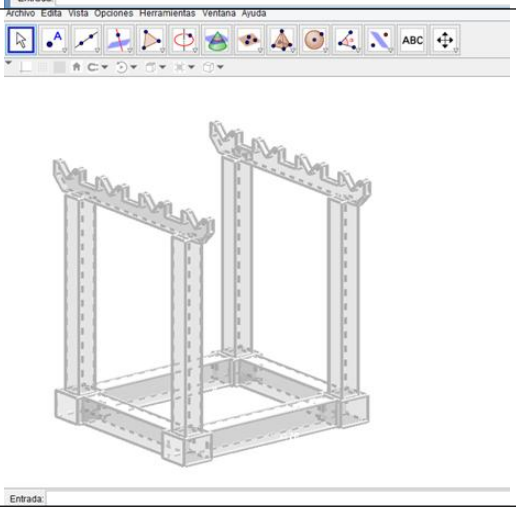

Figura 2: Formas identificadas en el boceto creado por los estudiantes

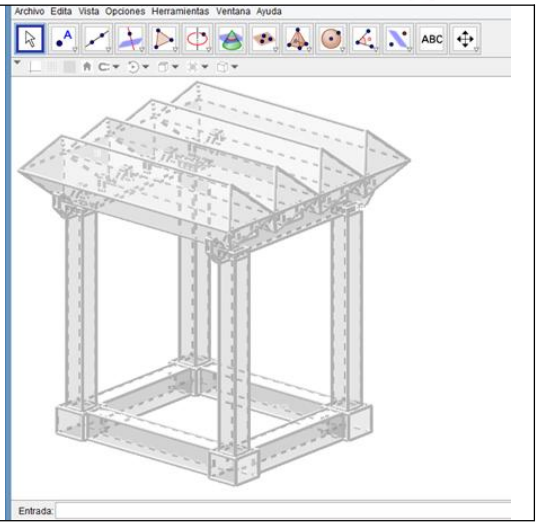


Figura 3: Trabajo de los estudiantes en la resolución del problema

A partir de la secuencias de pasos anteriores los estudiantes procedieron a diseñar en el software a partir del boceto obtenido el tanque prefabricado mediante la aplicación de herramientas del GeoGebra 3D. La Tabla 1 muestra de manera resumida dicho procedimiento.

Tabla 1: Procedimiento para la construcción del tanque con el empleo del GeoGebra 3D

| **Herramientas del Geogebra** | **Descripción del uso de la herramienta** | **Visualización del empleo de las herramientas** |
|---|---|---|
| Punto<br>Prisma | Se cran 4 puntos libres que den lugar a un cuadrado, a partir del mismo se hace un levantamiento de un prisma de base cuadrada que formaran los cubos bases del tanque. |  |
| Segmento<br>Prisma | Trazar cuatro segmentos que den lugar a un cuadrado pasando por cada vértice de los prismas realizados anteriormente y con ellos formar 4 prismas de manera horizontal para formar las vigas del cimiento. Trazar 4 prismas, uno en cada cuadrado base de manera vertical. |  |
| Polígono<br>Prisma | Trazar trapecios que sirvan de base a los prismas horizontales que formarán los soportes del tanque. Trazar pequeños primas cuyas bases sean triángulos rectángulos que formen las piezas donde estará incrustada la parte superior del tanque. |  |

| | | |
|---|---|---|
| Punto<br>Polígono | Para cada división del tanque ubicar 8 puntos que permitan forman 4 triángulos isósceles inclinados que darán lugar a los polígonos que formaran dichas divisiones. |  |

En los últimos años diferentes autores han realizados estudios basados en la utilización del GeoGebra 3D como asistente para la resolución y simulación de situaciones matemáticas y su aplicación en los distintos niveles de enseñanza. Santamaría (2021) expone una experiencia de enseñanza-aprendizaje sobre el uso de GeoGebra, en dos y tres dimensiones, como un recurso didáctico para estudiar temas relacionados con integración múltiple. Aguilar (2020) comenta una experiencia didáctica y muestra de qué manera se pueden usar las herramientas de GeoGebra para modelar estructuras. Prieto (2020) realiza una investigación centrada en las formas de colaboración humana puestas de manifiesto por profesores y alumnos de educación media que participan en una experiencia de elaboración de simuladores con GeoGebra (ESG) en la que intervienen procesos de modelación matemática. Madrid (2015) plantea una serie de actividades utilizando el GeoGebra 3D para realizar en el aula que favorecen que los maestros en formación comprendan los contenidos y las conexiones entre ellos.

## 4. CONCLUSIONES

Estos estudios reflejan la tendencia creciente existente en los distintos niveles de enseñanza al empleo del GeoGebra como medio para la resolución de problemas. Esta investigación demuestra la factibilidad del empleo de este software como vía para el diseño de estructuras arquitectónicas desde la enseñanza de la matemática.

La experiencia demostró la utilidad del GeoGebra 3D como herramienta para el diseño en arquitectura. Se logró mostrar a través de pasos sencillos el procedimiento para la construcción de un tanque a partir del empleo de un software matemático. Fomentó el trabajo de habilidades con herramientas informáticas en los estudiantes.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes de la carrera de Arquitectura de la Facultad de Construcciones en la Universidad de Oriente, Cuba, quienes fueron los principales protagonistas para la realización del estudio.
”

## REFERENCIAS

AGUILAR, G. D. “Modelos en GeoGebra para el plano y el espacio. Impresión de materiales 3D para su uso en el aula”. *Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, 2020, *9*(1), pp. 132-146. http://dx.doi.org/10.23925/2237-9657.2020.v9i1p132-146

BRACHO, L. A. C. AND J. L. PRIETO. "El uso de comandos y guiones en la elaboración de simuladores con GeoGebra". *Unión: revista iberoamericana de educación matemática*, 2018, núm 52, pp. 250-262.
https://www.researchgate.net/profile/Luis-Castillo-B/publication/324597208_EL_USO_DE_COMANDOS_Y_GUIONES_EN_LA_ELABORACION_DE_SIMULADORES_CON_GEOGEBRA/links/5ad7a5780f7e9b28593ac80f/EL-USO-DE-COMANDOS-Y-GUIONES-EN-LA-ELABORACION-DE-SIMULADORES-CON-GEOGEBRA.pdf

CARO, A. F. "Introducción a la geometría 3D con GeoGebra 5.0". *RECME-Revista Colombiana de Matemática Educativa*, 2015, vol 1, núm 1, pp. 738-742.
http://ojs.asocolme.org/index.php/RECME/article/view/144/145

GARELIK, C. E., L. PUGNI RETA, M. V. PISTONESI, M. P. MARTINEZ, et al. Desafío pedagógico en la Universidad Nacional de Río Negro. La Matemática Aplicada vinculada a un objeto arquitectónico. 3º Jornadas sobre las prácticas docentes en la Universidad Pública. ↑El proyecto político académico de la Educación Superior en el contexto nacional y regional↓. 2020.
http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/6166

MADRID, M. J. "Enseñando Geometría: Geogebra 3D en la formación para maestros". *Epsilon*, 2015, vol 2 *núm* 90, pp. 31-38.
https://doi.org/https://hdl.handle.net/11162/209268

PONCE, M. T. A. AND A. N. H. QUINTEROS. "Los programas gráficos como una opción para la expresión y creación en diseño arquitectónico". *Ciencia Sur*, 2022, vol 7*, núm* 9, pp.7-22.
http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ciencia-sur/article/view/1435/1431

PRIETO, J. L., L. A. CASTILLO AND M. MÁRQUEZ. "Formas de colaboración humana entre profesores y alumnos durante la elaboración de simuladores con GeoGebra". *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 2020, vol 34, pp. 199-224.
https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1980-4415v34n66a10

SANTAMARÍA, B. A. R. "GeoGebra en 2D y 3D como recurso didáctico en un curso de integración múltiple: una experiencia de enseñanza-aprendizaje". *Revista Digital: Matemática, Educación e Internet*, 2021, vol 21, núm 1, pp. 1-18.
https://www.redalyc.org/journal/6079/607963609003/607963609003.pdf

YERO, H. A. T. AND C. M. BATISTA. "Software educativo para el entrenamiento en temas de riesgos y manejo integrado de zonas costeras". *Arquitectura y Urbanismo*, 2018, vol 39, núm 3, pp. 113-123.
https://www.redalyc.org/journal/3768/376858947010/376858947010.pdf

## SOBRE LOS AUTORES

**Jorge Luis Montero Bizet[1]:** Profesor Asistente del Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Oriente y Licenciado en Educación Especialidad: Matemática-Física, actualmente es profesor de matematica en la carrera de Licenciatura en Arquitectura y Urbanismo, responsable de un grupo científico estudiantil denominado. ↑Matematica para Arquitectos↓, fue reconocido como ↑Premio de la Rectora 2023" en la categoría de Profesor /Investigador Joven más Destacado menor de 35 años en reconocimiento por su destacada labor como trabajador docente.
**Victor Fabián Quintero Vidal [2]:** Estudiante de la carrera Licenciatura en Arquitectura y Urbanismo, actualmente es miembro del grupo científico ↑Matematica para Arquitectos↓ donde se destaca por su creatividad y habilidades en la investigación sobre el uso del software GeoGebra 3D como herramienta de diseño en infraestructuras.

**Yazmín Zaldivar Montes de Oca[3]:** Estudiante de la carrera Ingeniería Química, actualmente es miembro del grupo científico ↑Matematica para Arquitectos↓ donde se destaca por su creatividad y

habilidades en la investigación sobre el uso del software GeoGebra 3D como herramienta de diseño en estructuras cristalinas, es reconocida en el grupo como una estudiante con grandes potencialidades en la confección de manuscritos para su publicación.

**Inés Beatriz Vázquez Batistas[4]:** Estudiante de la carrera Licenciatura en Arquitectura y Urbanismo, actualmente es miembro del grupo científico ↑Matematica para Arquitectos↓ donde se destaca por su creatividad y habilidades en la investigación sobre el uso del software GeoGebra 3D como herramienta de diseño en infraestructuras.

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY cujae

# ADVANCING HIGHER EDUCATION: INTEGRA+506 AND THE DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCIES THROUGH SERIOUS GAMES

**Juan Carlos Sandí-Delgado[1], Patricia Bazán[2]**

[1]Sede del Atlántico, Universidad de Costa Rica, Limón, Costa Rica, [2]LINTI Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

[1]juan.sandidelgado@ucr.ac.cr, [2]pbaz@mail.info.unlp.edu.ar

**ABSTRACT**

Promoting technological competencies in higher education has become essential within the educational landscape. In this regard, serious games have been employed for training, coaching, and skill development across various knowledge domains. Consequently, this study offers a methodology and framework to steer the design of serious games associated with cultivating such competencies. A methodology and software architecture was introduced to craft a non-functional prototype of the serious game named SkillNet, tailored for acquiring these competencies in higher education. The research employed a qualitative approach and a descriptive design, encompassing a thorough theoretical review of primary literature on methodologies and architectures for serious game design and prototype development. The INTEGRA+506 methodology, comprising six stages and fifteen methodological steps, was proposed to direct the design of serious games to enhance technological competencies. Ultimately, it was determined that the INTEGRA+506 methodology demonstrated efficacy in crafting the SkillNet non-functional prototype. Its implementation facilitated process organization, validated by a panel of experts who scrutinized and assessed the prototype.

**KEYWORDS:** Higher education, technological competencies, serious games, methodology, non-functional prototype.

## 1. INTRODUCTION

Serious games have been employed to cultivate digital competencies, offering training and skill acquisition across various knowledge domains. They can evoke emotions and sensations that aid in comprehending social, health, economic, and educational processes [1]. A serious game is delineated by its explicit and meticulously crafted educational approach, transcending mere entertainment to augment knowledge domains, facilitate learning, bolster formative processes, incite changes in attitude or behavior, and foster skill acquisition, among other facets. These games are distinguished by their allure, interactivity, dynamism, motivational attributes, challenges, user-friendliness, and ability to promote collaboration, reasoning, and critical thinking.

Currently, designs or architectures for serious games tailored to enhance the technological skills and competencies of educators in higher education have yet to be identified in the literature reviewed. Hence, there is a growing interest in devising a methodological and architectural framework to guide the systematic design of such games. In this regard, a methodology and software architecture are introduced for crafting a non-functional prototype of a serious game named SkillNet to foster teachers' technological skills, specifically focusing on foundational competencies and knowledge in data networks. The methodology, dubbed INTEGRA+506, amalgamates design and architectural principles (INTEGRA) and borrows the code +506 from Costa Rica, the birthplace of the methodology.

This subject holds significant interest, relevance, and importance, as there remains a need for established methodologies for developing and designing serious games to nurture technological skills. Consequently, the INTEGRA+506 methodology represents an original contribution to this research domain, founded on a thorough analysis encompassing all aspects pertinent to the design processes of serious games within the educational sphere. The methodology includes educational, methodological, and technological considerations and the exploration of diverse architectures and pertinent facets of software development.

### Background

In today's higher education landscape, incorporating digital competencies is paramount for personal and professional advancement [2]. Despite the acknowledged role of serious games in fostering technological skills, the absence of tailored methodologies for their design within educational settings has posed a significant challenge. Hence, a necessity emerges to

formulate a methodological and architectural framework to steer the design of serious games, exemplified by the SkillNet prototype, to bolster the technological proficiencies of educators in higher education.

### Theoretical Framework

This section presents a comprehensive definition and elaborate description of serious games, elucidating their distinctive features. Furthermore, the concept of digital competencies is explored to provide context for the ongoing research.

### Serious games

The term "serious games" was initially coined by Abt in 1970 [3], highlighting their distinct educational orientation and pedagogical objectives beyond entertainment. Meticulously crafted with explicit educational intent, these games facilitate skill acquisition across diverse domains through instructional, simulation, training, or educational approaches. Moreover, serious games have demonstrated efficacy in cultivating enjoyment and motivation among participants [3], [4]. Technological competencies.

The term "digital competencies" refers to the proficiency and capacity to utilize various technological tools across different domains of knowledge [5]. These competencies are deemed foundational and interdisciplinary, as they augment the development of other skills, such as linguistic and mathematical abilities, which are essential for active engagement in society and the economy [6]. As per the National Institute of Educational Technologies and Teacher Training [7], digital competencies encompass ICT's creative, secure, and critical utilization for educational, recreational, and social purposes. Rooted in basic digital technology skills, these competencies entail knowing, doing, being, and becoming [8].

Digital competencies encompass a breadth of knowledge and skills pertinent to efficiently utilizing digital technology. They empower individuals to adapt and thrive personally, academically, and professionally, ensuring their active social participation.
The subsequent section delineates the methodological framework employed in this study and comprehensively exposits the INTEGRA+506 methodology. This methodology is posited to integrate methodological and architectural dimensions in the design of serious games aimed at fortifying teachers' technological competencies.

## 2. METHODOLOGY

The research adopted a qualitative and descriptive approach in three distinct stages. An extensive literature review established the theoretical underpinnings concerning digital competencies and serious games. Following this, the INTEGRA+506 methodology was formulated, integrating methodological and architectural frameworks for designing serious games to enhance technological competencies. This methodology was developed based on foundational theoretical insights into software development and methodologies employed in serious game design. The activities undertaken in each stage are as follows:
Literature Review: A comprehensive search, review, and selection of relevant bibliographic references about the research objectives were conducted. This phase established the theoretical foundation, encompassing digital competencies and serious game concepts.

Methodological and Architectural Proposal Development: The INTEGRA+506 proposal addressed the research problem, providing a structured approach to planning and developing serious games. The methodology steps were formulated based on crucial literature recommendations and analysis of commonly used methodologies and models in game design, including SAVIE, EMERGO, VGSCL, EDoS, DODDEL, MPDSG, MECONESIS, and MPIu+a. These served as the basis for developing the SkillNet serious game prototype. Methodology Validation and Prototype Development: In the final stage, the proposed methodology underwent validation through expert evaluation and application in developing the SkillNet serious game prototype. This validation process established the groundwork for integrating methodologies and architectures tailored to serious game design.

**Stage 1: Systematic Literature Review**

A systematic literature review protocol, consisting of several methodological steps, was implemented in this initial phase.

**Selection of Bibliographic References:** The methodological steps proposed by various authors [9] were employed to formulate research questions, define search strategies in academic databases, and establish inclusion and exclusion criteria based on language, country, and area of interest [10].

**Research Questions:** Thirteen research questions were formulated as criteria for including or excluding bibliographic references. These questions addressed critical aspects related to technological competencies and serious games.

**Strategy:** A comprehensive search strategy, guided by the recommendations of [11] and [12], was employed. This involved consulting several scientific and academic databases, including Springer, ScienceDirect, and IEEE Xplore, to ensure a thorough coverage of relevant literature.

**Keywords and Search Strings:** A thematic grouping of keywords in Spanish and English was utilized to conduct searches from 2005 to 2023. These keywords were strategically combined to form relevant search strings.

**Inclusion/Exclusion Criteria:** Transparent criteria were established for the inclusion and exclusion of bibliographic references, considering factors such as language, access to full text, authorship, thematic relevance, and publication quality.

**Preliminary Process:** A preliminary screening of bibliographic references was conducted, followed by a review of titles, keywords, and abstracts to apply the established inclusion and exclusion criteria.

**Final Selection Process:** A comprehensive examination of the selected references was performed to ensure their alignment with the research objective. References that did not meet the predefined criteria were excluded from further consideration.

**Stage 2: INTEGRA+506 Methodological and Architectural Proposal**

This section delineates the methodological and architectural steps of the INTEGRA+506 methodology, offering a systematic guide for designing serious games aimed at fostering the development of technological competencies. Rooted in fundamental theoretical considerations regarding software development, methodologies, and architectural practices in serious game design, INTEGRA+506 comprises six distinct phases, each encompassing various methodological and architectural steps (PM&A) tailored to steer the development of the non-functional prototype of the SkillNet game. The formulation of these phases draws upon theoretical insights from software development and established methodologies and architectures within the realm of video game development. It is worth noting that the interpretation of these phases and methodological steps may vary depending on the expertise and background of the researcher analyzing them.

**Phase 1: General Considerations**

The inaugural phase of the methodology is paramount. It entails delineating the roles or actors engaged in the prototype's development, identifying the competencies slated for enhancement, and determining the type of application earmarked for its execution.

**FM&A01: Define Roles or Actors Involved -** This step entails pinpointing the interdisciplinary team necessary to delineate the serious game, encompassing pedagogical, subject matter, content, and developer experts [12]. The involvement of these experts is pivotal to ensuring game quality and alignment with user requisites [13].

**FM&A02: Selecting Competencies -** Defining Objectives -The initial step involves clearly outlining the game's objectives and selecting competencies for enhancement. Prior studies categorizing technological competencies are consulted concerning the TPACK model [14], which underscores the significance of technological, pedagogical, and disciplinary skills in ICT integration in education.

**FM&A03: Selecting the Type of Application Subsequently -** After identifying the competencies earmarked for bolstering, the type of application for the serious game's development is determined [15]. Varied application types are

contemplated, including online platforms, video game consoles, mobile devices, or virtual environments [2]. The selection hinges upon the game's objectives and available resources. Emphasis is placed on ensuring the prototype's accessibility across diverse Internet-connected devices and compatibility with various web browsers [16].

**Phase 2. Programming Language**

Delineating a programming paradigm and selecting a programming language is imperative in crafting software, especially the prototype of a serious game [17].

**FM&A04: Programming Paradigm -** The selection of a programming paradigm is pivotal for developing the non-functional prototype of the serious game. This paradigm dictates the software construction method, task organization, and programming styles [18]. Available paradigms encompass unstructured, structured, and object-oriented approaches.

**FM&A05: Type of Programming Language -**Regarding the programming language for the non-functional prototype application, several languages tailored for web development are viable options. A typical web application comprises two components: the Frontend, catering to user interaction, and the Backend, responsible for processing Frontend data [19].

- ✓ Frontend Development Languages - JavaScript, CSS, and HTML are prevalent choices for frontend development. JavaScript injects dynamism into websites, CSS handles styling and layout, and HTML establishes a structural foundation and layout for website construction.
- ✓ Backend Development Languages—Various languages are available for backend development, including PHP, Python, Java, C++, and JavaScript. These languages are suitable for prototype development.

The selection of a programming language hinges on the developer's expertise and the project's particular objectives.

**Phase 3. Software processes**

According to the recommendations of [20], defining a software process that guides all activities related to software production is crucial. This includes selecting a development model and implementing a user-centric approach.

**FM&A06: Software Development Model** —When designing software, selecting a software development model that guides all activities related to its production is critical. Options include waterfall, incremental, prototyping, spiral, rapid application development, or agile models.

**FM&A07: User-Centered Design -** Implementing a user-centered design approach for the prototype is essential for ensuring enhanced user satisfaction and experience (UX). Users should influence design decisions and prototype objectives. Defining website styles using Cascading Style Sheets (CSS) is advisable when styling interface components. Several options are available, including user-friendly frameworks like Bootstrap, Bulma, or MDBootstrap, which offer diverse style options based on the chosen framework. Alternatively, one can opt for the pure "vanilla" CSS version, known for its lightweight, adaptive, and open-source nature [21].

**Phase 4. Requirements Engineering**

The Requirements Engineering phase is fundamental in software development, as emphasized by [11]. It involves defining general requirements, as a well-specified set of requirements is essential for ensuring software quality [22]. This phase encompasses functional and non-functional requirements, clearly defining use cases, business rules, and the game card.

**FM&A08: Functional and Non-functional Requirements—It is crucial in software design to precisely define** the services that the system should provide, along with any associated constraints.

**FM&A09: Use Cases** - Describing specific actions or activities essential for the serious game prototype helps concretize the final design process [21].

**FM&A10: Business Rules** —Clear business rules must be established in the design of the serious game prototype to define the restrictions or limits required to achieve project objectives.

**FM&A11: Game Card** - Serious games typically include a card summarizing their story, providing play instructions, and presenting gamification elements like medals, ranking, and awards [23]. This aspect is relevant as serious games are characterized by their pedagogical approach and incorporation of ludic strategies [15].

**Phase 5. Software Design - Architectural Aspects**

Establishing a structure that elucidates how the proposed software functions will be executed through the specification of object properties is essential in this software design phase [24]. At a minimum, this involves describing the architectural style (components) and the data flow diagram.

**FM&A12 Architectural Style -** The architectural style is foundational to software design, delineating the overall structure and interaction among different components. Several aspects should be considered when selecting an architectural style, which may vary based on the developer's experience, game objectives, and application type. Some key considerations include:

- ✓ **Model, View, Controller (MVC):** This organization of the programming structure into logical capabilities facilitates software development and maintenance. It is necessary to segregate the programming structure into logical layers [25]. Microservices (Web Services): Enable the consumption of data from the database, as well as usage information and metrics (times and points) [26].
- ✓ **Integrated Development Environment (IDE):** Choose an IDE suitable for the programming language being used [26]. Numerous software options are available, offering a wide range of features. Some popular choices for web development include Visual Studio Code, known for its flexibility and language support, and WebStorm and SublimeText [27].
- ✓ **Frameworks or Libraries:** Utilize frameworks like React, AngularJS, or Vue.js to streamline frontend and backend development [24]. Depending on the specific requirements and implementation scenarios, these frameworks can greatly simplify software development [12].
- ✓ **Database Manager (DBMS):** Employ a Database Management System (DBMS) to oversee data access and storage, facilitate queries, and generate reports on player progress. Several options are available for data storage, including MySQL, SQL, or Oracle [12].
- ✓ **Cloud Hosting:** To host the application and ensure its accessibility, utilize cloud computing services provided by platforms like Azure, AWS, or Google Cloud Platform [12], [17].
- ✓ **User Authentication:** Implement user authentication using libraries like JWT or Auth0 to ensure data security and privacy [12].
- ✓ **Version Control:** The serious game prototype necessitates providing a streamlined application, maintaining a single shared version accessible to all clients [12]. Existing tools for version control, such as Git (a distributed version control system), which offers various clients like GitHub and GitLab, Subversion (a centralized version control system), and Mercurial (a cross-platform version control system), could be utilized, with the latter being less commonly used [17]. A critical distinction between Git and Subversion lies in their approach. In centralized systems like Subversion, only one copy of the application is maintained, with backups stored in a single location. Conversely, distributed systems like Git maintain a copy of the original project on each local computer, updating or uploading changes to the online repository. These changes must subsequently be downloaded from the repository to update the version for each developer [17]. The versioning of web application repositories (frontend, backend) can be updated without disrupting their workflow. Upon deployment of the application with the new repository version, it is updated with new functionalities or corrections.
- ✓

**FM&A13: Class Diagrams (UML) and Entity-Relationship Diagram (ER) -** These diagrams play a crucial role in the prototype design as they visually depict the system's structure and component relationships. Utilizing the Unified

Modeling Language (UML), the class diagram illustrates system classes, their attributes, and interconnections. Conversely, the entity-relationship (ER) diagram delineates entities and their relationships within a database [21]. Various free tools, such as Draw.io, StarUML.io, and Diagrams.net, or paid options, such as Visio, can be used to create these diagrams. These platforms offer a range of symbols, including circles, arrows, and rectangles, to vividly illustrate the structure and data interactions within the system.

**Phase 6. Software Coding**

Software coding is a crucial phase in the prototype's development, involving translating designed specifications into source code. This practice facilitates comprehension of the developed software and ensures consistency in programming style, adherence to structured coding guidelines, and application of code verification techniques. Throughout this phase, the characteristics of the software code are analyzed, and the reuse of components is considered to ensure the efficiency and quality of the final product.

**FM&A14: Characteristics of Software Code -** The quality and efficiency of software code are paramount considerations. Alignment with user requirements and adherence to standards and good programming practices are essential. Efficient algorithms and implementation of exception handling, validation, and security measures are critical to minimize errors [18]. Various measures, such as simplicity, modularity, coherent design, resource efficiency, clarity, accessibility, and stability, can be applied to achieve these objectives. These measures improve code readability, availability, and consistency across different platforms.

**FM&A15: Reuse of Components -** Reusing software components is highly recommended in prototyping, particularly within the realm of web applications [18]. This approach simplifies maintenance, enhances scalability, and bolsters the application's functionality. Reuse can occur at various levels: abstraction objects, components, and system integration. By incorporating previously developed dynamic software components, resources can be optimized and the development process streamlined, thereby enhancing project efficiency [21].

Table 1. Provides a concise overview of the phases, methodological steps, and architectural aspects of the INTEGRA+506 methodology.

Table 1. methodological and architectural phases an steps of INTEGRA+506

| **Phase** | **Methodological and architectural phases and steps** | |
|---|---|---|
| | **Phase** | **Steps** |
| Phase 1. General considerations | FM&A01<br>FM&A02<br>FM&A03 | Define roles or involved actors.<br>Select competencies.<br>Select the type of application. |
| Phase 2. Programming language. | FM&A04<br>FM&A05 | Programming paradigm.<br>Type of programming language. |
| Phase 3. Software processes. | FM&A06<br>FM&A07 | Software development model.<br>User-centered design. |
| Phase 4. Requirements engineering. | FM&A08<br>FM&A09<br>FM&A10<br>FM&A11 | Functional and non-functional requirements.<br>Use cases.<br>Business rules.<br>Game card. |
| Phase 5. Software Design - Architectural Aspects | FM&A12 | Architectural Style:<br>• Model, View, Controller.<br>• Microservices (Web Services).<br>• Development Environments.<br>• Frameworks or Libraries.<br>• Database Manager.<br>• Hosting.<br>• User Authentication.<br>• Versioning.<br>Class Diagram (UML) and Entity-Relationship Diagram |

| Phase | Methodological and architectural phases and steps | |
|---|---|---|
| | **Phase** | **Steps** |
| | FM&A13 | (ER). |
| Phase 6. Software Coding. | FM&A14<br>FM&A15 | Characteristics of Software Code.<br>Reuse of Components. |

To validate the INTEGRA+506 methodology, a panel of 10 highly trained professionals in areas such as web development, graphic design, pedagogy, and others, was assembled. This panel evaluated the proposed prototype following the principles of agile software development. Throughout the process, collaborative suggestions for improvement were made during the completion of the 23 assigned tasks. The Agile Scrum Methodology was employed, divided into 2 Sprints based on the documentation obtained from the systematization of the experts' observations (Sprint Backlog). Additionally, 9 daily follow-up meetings (Daily Scrum) and 2 overall reviews (Scrum Review) were conducted. Suggestions for improvement included aspects such as the graphical appearance of buttons and didactic adjustments related to activity completion times.

**Skillnet prototype**

The SkillNet prototype, accessible via the link https://skillnetucr.github.io/Prototipe/, requires users to log in using the username and password "admin123@gmail.com" in both cases. Its primary objective is to train technological skills among teaching staff, particularly focusing on data networks. The game comprises three stages, each containing multiple levels, where in players must overcome challenges to progress and unlock subsequent levels. The central character, Robotín, aspires to explore the Caribbean Island, and to achieve this, he must tackle obstacles related to networks and communications.

The game unfolds across three environments: the Main Distribution Frame (MDF), the main IT room, and the cruise ship to San Andrés. In each setting, Robotín confronts challenges associated with concepts such as IP addresses, network cabling, and routing protocols. Advancing through the game involves completing challenges to unlock levels, with increasing difficulty.

Players must complete all evaluative activities across all three levels to emerge victorious. The game employs gamification strategies such as scoring systems, challenges, levels, and ranking systems to motivate participation and facilitate learning. The INTEGRA+506 methodology was effectively utilized to steer the design of the SkillNet serious game's non-functional prototype, thereby enhancing technological competencies among teachers.

## 3. DISCUSSION OF RESULTS

The application of the INTEGRA+506 methodology demonstrated its effectiveness in developing the non-functional SkillNet prototype, as validated by a panel of experts in web development, graphic design, pedagogy, and related fields. The evaluation process adhered to agile software development principles, including two Sprints and collaborative feedback during 23 tasks. Daily follow-up meetings (Daily Scrum) and overall reviews (Scrum Review) facilitated continuous improvements. Experts proposed enhancements in areas like graphical interface design and the adjustment of activity completion times, which were promptly addressed to refine the prototype.

The originality and relevance of the INTEGRA+506 methodology became evident through its structured approach to developing serious games aimed at improving technological skills. By guiding the design of the SkillNet prototype, the methodology provided a practical framework for strengthening teachers' digital competencies, particularly in data networks. Additionally, its clear structure and step-by-step guidance helped in organizing the design process, demonstrating its potential to fill a gap in serious game development for educational purposes.

Moreover, a thorough analysis of ICT and technological competencies highlighted their crucial role in educational settings, emphasizing the importance of integrating serious games into digital skills development. The review of existing

serious games underscored a lack of specific methodologies designed for fostering these competencies, further validating the necessity of the INTEGRA+506 framework.
However, it is essential to note that the prototype's functionality has not yet been tested in real-world educational environments. The feedback from expert validation suggests the need for empirical testing to assess the practical impact of the methodology on teachers' technological skill development. These future implementations will be crucial to understanding how the INTEGRA+506 methodology can be adapted to different educational contexts and competency areas.

## 4. CONCLUSIONS

The INTEGRA+506 methodology proved to be a valuable framework for guiding the development of serious games, particularly for enhancing technological competencies in higher education. The successful design of the SkillNet prototype reflects the methodology's potential to serve as a reference for both national and international researchers and developers in the serious games field. By providing a structured and comprehensive approach, the methodology addresses a gap in the design processes for serious games aimed at digital skill development.

While the methodology has demonstrated its efficacy in structuring the design process, the study acknowledges the necessity for future empirical research to validate its effectiveness in real-world educational settings. Implementing the SkillNet prototype with teachers will be critical in evaluating its influence on the acquisition of digital competencies and refining the methodology based on practical application results.

The INTEGRA+506 methodology shows great promise in contributing to the development of serious games that foster technological skills. Its structured nature and adaptability to various educational needs position it as a significant innovation in the field. However, continuous refinement and adaptation to diverse educational settings will be crucial for its long-term success and relevance. The next steps involve expanding its application through international collaborations, integration with emerging technologies, and empirical validation.

## 5. FINAL CONSIDERATIONS AND RECOMMENDATIONS

The INTEGRA+506 methodology, introduced in this study, has demonstrated its effectiveness in developing the SkillNet prototype, which aims to promote technological competencies in higher education. This structured methodology, consisting of six phases and 15 methodological steps, effectively organized and guided the serious game design process. Expert validation of the SkillNet prototype further supports the methodology's feasibility in enhancing digital competencies, especially in teaching data networks. A qualitative analysis and comprehensive literature review highlight INTEGRA+506 as an innovative contribution to educational tool design. On an international level, both the methodology and the SkillNet prototype show great potential to significantly advance technological skills development, fostering interdisciplinary collaboration and the creation of serious games in diverse educational contexts.

It is recommended to apply the INTEGRA+506 methodology across various educational settings and competency areas to assess its adaptability and effectiveness, identifying potential adjustments needed for its application in diverse environments. Future empirical studies are crucial to validate the methodology's functionality, particularly focusing on the impact of the SkillNet prototype on teachers' acquisition of digital skills, as real-world insights will be vital for refining and enhancing the approach. Additionally, fostering international collaboration in the development of serious games will promote the exchange of best practices among researchers, aiding the methodology's evolution to meet different educational needs.

## REFERENCES

[1] MERCIER, Maxence; LUBART Todd. "Video games and creativity: The mediating role of psychological capital". *Journal of Creativity*, 2023, vol 33, núm. 2, pp. 1-5.
[2] SANDÍ-DELGADO, J.C. et al. "Acceptance of Serious Games to Develop Digital Competencies in Higher Education Professors". *Electronic Journal of e-Learning*, 2022, vol 20, núm. 3, pp. 351–367.
[3] ABT, Clark C. *Serious Games*. New York: Viking Press, 1970, pp.1-176. ISBN: 0-8191-6147-0.

[4] ALVAREZ, J. et al. "A Formal Approach to Distinguish Games, Toys, Serious Games and Toys, Serious Repurposing and Modding, and Simulators". *IEEE Trans. Games*, 2023, vol 15, núm. 3, pp. 399–410.
[5] RODRÍGUEZ-GARCÍA, A. M. et al. "Competencia digital, educación superior y formación del profesorado: un estudio de meta-análisis en la Web of Science". *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 2019, núm. 54, pp. 65–82.
[6] KNEZEK, G. et al. "Strategies for developing digital competencies in teachers: Towards a multidimensional Synthesis of Qualitative Data (SQD) survey instrument". *Computer & Education*, 2023, vol 193, pp. 1-14.
[7] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF). *Marco Común de Competencia Digital Docente* [Online], 2017. [ref. September 15 2024]. Available: http://educalab.es/documents/10180/12809/Marco+competencia+digital+docente+2017/afb07987-1ad6-4b2d-bdc8-58e9faeeccea
[8] LEE, G. et al. "Evaluating digital competencies for pharmacists". *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 2023, vol 19, núm. 5, pp. 753–757.
[9] KITCHENHAM, Barbara. "Procedures for performing systematic reviews". *University of Keele*, 2004, vol 33, núm. July, pp. 1–28.
[10] SANDÍ-DELGADO, Juan Carlos; BAZÁN Patricia. "Diseño de juegos serios: Análisis de metodologías". *e-Ciencias la Información*, vol 11, núm. 2, pp. 1–24.
[11] SANDÍ-DELGADO, Juan Carlos; SANZ Cecilia Verónica. "Revisión y análisis sobre competencias tecnológicas esperadas en el profesorado en Iberoamérica". *Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 2018, núm. 66, pp. 93–121.
[12] SANDÍ-DELGADO, Juan Carlos; BAZÁN Patricia. "Educational Serious Games as a Service: Challenges and Solutions," Journal of Computer Science and Technology, 2019, vol 19, núm. 01, pp. 66–80.
[13] ALSHAMRANI, Adel; BAHATTAB Abdullah. "A Comparison Between Three SDLC Models Waterfall Model, Spiral Model, and Incremental / Iterative Model". *International Journal of Computer Science,* 2015, vol 12, núm. 1, pp. 106–111.
[14] YEH, Y.-F. et al. "Exploring the structure of TPACK with video-embedded and discipline-focused assessments". *Computer & Education*, 2017, vol 104, pp. 49–64.
[15] HAINEY, T. et al. "A systematic literature review of games-based learning empirical evidence in primary education". *Computer & Education*, 2016, vol 102, pp. 202–223.
[16] ALBERT, Manuela; TORRES María. "Desarrollo de una aplicación web como catálogo de buenas prácticas de accesibilidad". Valencia: Universitat Politècnica de València, 2022, pp, 1-48.
[17] IEEE Computer Society. "IEEE Std 610.12-1990, IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology," *IEEE,* 1990, vol 121990, núm. 1, pp. 1-84.
[18] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF). *Programación Orientada a Objetos.* 2016. [Online]. [ref. September 15, 2024]. Available: http://ceaer.edu.ar/wp-content/uploads/2018/04/Apunte-Teorico-de-Programacion-OO.pdf
[19] SLIVNIK, Boštjan. "Context-sensitive parsing for programming languages". Journal of Computer Languages, 2022, vol 73, pp. 1-16.
[20] SOMMERVILLE, Ian. *Software Engineering*, 10th ed. Essex: Pearson Education, 2016, pp.1-864. ISBN 10: 1-292-09613-6
[21] MELGAREJO-TORRALBA, Mar. "Hand-developed creative prototyping. Methodological proposal and experimentation". *Thinking Skills and Creativity*, 2022, vol 44, pp. 1-11.
[22] GÓMEZ-FUENTES, María del Carmen. *Notas Del Curso Análisis De Requerimientos*, 1st ed. Tlalpan: Universidad Autónoma Metropolitana, 2011. IBSN: 978-607-477-442-9.
[23] SANDÍ-DELGADO, Juan Carlos; SANZ Cecilia Verónica. "Juegos serios para potenciar la adquisición de competencias digitales en la formación del profesorado". *Revista Educación*, 2020, vol 44, núm. 1, pp. 1–18.
[24] LEUNG, Joshua; COCKBURN Andy. "Design Framework for Interactive Highlighting Techniques". *Design Framework for Interactive Highlighting Techniques*, 2021, vol 14, núm. 2–3, pp. 1–176.
[25] FRAGOSO-DÍAZ, Olivia Graciela. "Learning Web Services for E-learning in the Workplace". *IEEE Latin America Transactions*, 2019, vol 17, núm. 11, pp. 1894–1901.
[26] YULIANTO, Budi. et al. "Harmonik=++(Web IDE)". *Procedia Computer Science*, 2017, vol 116, pp. 222–231.
[27] JANSSEN, J. et al. "pyiron: An integrated development environment for computational materials science". *Computational Materials Science*, 2019, vol 163, pp. 24–36.

**About the authors**

**Dr. Juan Carlos Sandí-Delgado,** Professor and Researcher at School of Computer Science, Sede del Atlántico, University of Costa Rica, Limón, Costa Rica**.** Doctor in Computer Science. Master and Specialization in Information Technologies Applied to Education. Specialization in Networks and Security. National University of La Plata (UNLP), Argentina. E-mail: juan.sandidelgado@ucr.ac.cr ORCID: orcid.org/0000-0003-3932-3045

**Dra. Patricia Bazán,** Doctor in Computer Science from the UNLP Faculty of Computing in 2015, also holds a master's degree in data networks obtained from the same institution in 2010. She currently serves as a Full Professor at the UNLP Faculty of Computing, teaching Software Development in Distributed Systems within the Systems Engineering program. Since 1995, her research activities have been conducted at the Laboratory for Research and Training in Advanced Computing (LINTI), where she supervises both scholarship holders and thesis candidates. E-mail: pbaz@info.unlp.edu.ar ORCID: orcid.org/0000-0001-6720-345X

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MUSEO DE ANATOMÍA HUMANA Y ANTROPOLOGÍA FÍSICA DE MATANZAS, DISEÑO DE UN MUSEO UNIVERSITARIO

**Sandra Bahr Ulloa[1], Rafael Gilberto Juara Zuaznábar[2], Katia Guisado Zamora[1], Regla Ponce de León Narváez[1]**

[1]Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas (UCMM), Carretera Central KM 101, Matanzas
[2]Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería (EMPAI), calle 183 e/274 y 278, Pueblo Nuevo, Matanzas
[1]e-mail: sandrab.mtz@infomed.sld.cu

**RESUMEN**

La necesidad de crear un espacio común a las diferentes especialidades médicas, con el fin de divulgar los avances de las ciencias básicas aplicadas a la salud, y a partir de una pequeña colección universitaria, en 2021 se creó el Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas. La presente investigación tiene como objetivo describir la propuesta de diseño para la colección universitaria del Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de dicha institución, así como sus aportes a la formación de profesionales de otras áreas del saber.
En el espacio se propuso de construcción y ampliación para acoger nuevas piezas obtenidas de la colaboración interinstitucional e interdisciplinaria. En él se exponen piezas anatómicas reales, tanto normales como patológicas, lo que aporta una nueva arista en la enseñanza contemporánea de la medicina. El diseño tuvo en cuenta las estructuras a exhibir y su implicación docente, médica y extensionista. Incluye estantes para exposiciones con colores que recuerdan la biología y un guión museográfico que recorre la anatomía comparada, el origen del hombre, el desarrollo de la anatomía humana y su aplicación en la antropología física, forense, cultural y en el desarrollo de la salud.
Este museo ha permitido la creación asociada de una cátedra multidisciplinaria de Antropología Física, grupos de trabajo científicos estudiantiles y profesionales, así como eventos y talleres convocados desde el museo que demuestran la contribución a la cultura de la sociedad desde nuestro perfil.

**PALABRAS CLAVE:** museos médicos, colecciones universitarias, cultura patrimonial.

## MUSEUM OF HUMAN ANATOMY AND PHYSICAL ANTHROPOLOGY OF MATANZAS, DESIGN OF A UNIVERSITY MUSEUM

**ABSTRACT**

The need to create a common space for different medical specialties, in order to disseminate the advances in basic sciences applied to health, and based on a small university collection, in 2021 the Museum of Human Anatomy and Physical Anthropology of the University of Medical Sciences of Matanzas. The objective of this research is to describe the design proposal for the university collection of the Museum of Human Anatomy and Physical Anthropology of said institution, as well as its contributions to the training of professionals from other areas of knowledge.
In the space, construction and expansion were proposed to accommodate new pieces obtained from interinstitutional and interdisciplinary collaboration. It exhibits real anatomical pieces, both normal and pathological, which provides a new edge to contemporary medical teaching. The design took into account the structures to be exhibited and their teaching, medical and extension involvement. It includes shelves for exhibitions with colors that recall biology and a museographic script that covers comparative anatomy, the origin of man, the development of human anatomy and its application in physical, forensic, cultural anthropology and in the development of health.
This museum has allowed the associated creation of a multidisciplinary chair of Physical Anthropology, student and professional scientific work groups, as well as events and workshops convened by the museum that demonstrate the contribution to the culture of society from our profile.

**KEY WORDS:** medical museums, university collections, heritage culture.

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de su historia, las universidades han generado un rico patrimonio, fruto de su doble vocación formadora e investigadora. Sin embargo, sin un programa establecido para el cuidado, conservación y organización de este patrimonio, y sin una filosofía clara, las piezas, los objetos, libros y documentos en su posesión solo se acumulan entre sus muros.

Los centros de enseñanza superior siempre han albergado numerosas e interesantes cantidades de material científico, por eso las colecciones ahora no pueden resultarles extrañas. Por suerte, los inventarios son cada vez más completos y resulta difícil desprenderse de los objetos que figuran en los mismos, lo que da continuidad y crecimiento al patrimonio [1]. No obstante, la mirada más allá de la colección en sí, el propósito de compartir con el público sus verdaderos valores, de forma planificada a través de su exposición, convierte una compilación de objetos e información en un naciente museo universitario. Hoy en día, muchas universidades en Cuba han tomado conciencia de la riqueza que atesoran y han emprendido acciones de salvaguardia, aunque generalmente locales, sin que por el momento se haya formulado una estrategia común. El éxito o el fracaso de las experiencias desarrolladas rara vez se comunican, por lo que no contribuyen a nutrir una reflexión global.

En la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas existe una colección universitaria de Anatomía Humana, con más de cuarenta años de atesoramiento. La voluntad política de la dirección de este centro de altos estudios de apoyar e impulsar el desarrollo de su infraestructura a partir de sus fortalezas y potencialidades científicas y docentes de sus Ciencias Básicas Biomédicas, ha permitido la creación del proyecto de Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de Matanzas [2]. El objetivo de este trabajo es describir la propuesta de diseño para la colección universitaria del Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de dicha institución.

## 2. DESARROLLO

### Museos universitarios en el mundo

Desde un punto de vista museográfico, el estudio de los museos universitarios aumentó en los últimos años tras la creación en 2000 de un comité especializado, para su estudio y fomento, en el seno del Consejo Internacional de Museos (ICOM), impulsado por Stanbury de la Universidad Macquarie de New South Wales [3]. Desde el punto de vista educativo, la necesidad de potenciar una educación permanente y de ampliar la formación a otros ámbitos de estudio diferentes a los ocupados por la educación formal, nos llevan a volver nuestra mirada a aquellas instituciones culturales más cercanas. De acuerdo con las dos funciones esenciales de la universidad: enseñar e investigar, diversos autores han descrito estos museos universitarios formados por colecciones que se crean en el transcurso del tiempo [4, 5, 6, 7].

Revitalizar sus fondos, sus colecciones y ponerlas a disposición de los estudiantes llamados a ser los maestros del futuro, puede ser uno de los grandes objetivos en los que centrar su utilidad. Del mismo modo, ponerlas a disposición de los estudiantes de educación infantil, primaria y secundaria es ayudarles a conocer nuestro pasado para entender mejor el presente, mediante el acercamiento al patrimonio educativo [8]. Actualmente se defiende la necesidad de una pedagogía del museo, sobre todo como parte de la educación informal, es decir, como actividad organizada fuera del sistema oficial educativo que facilita el aprendizaje de objetivos definidos [9, 10].

### Antecedentes en Cuba

La literatura especializada registra la existencia en Cuba desde 1723 del primer museo médico de la región con el nombre de "Museo Nacional de Anatomía Descriptiva de La Habana", perteneciente al hospital de San Ambrosio y ubicado en el convento de San Agustín, en La Habana. En 1903 se funda el Museo de Antropología Física “Luis Montané” de La Universidad de La Habana, con colecciones de cráneos de la evolución humana de gran valor [11, 12]. Más recientemente en el año 1989 se funda el Museo Anatómico de la Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, ejemplo de gestión, desarrollo y conservación de las colecciones universitarias en nuestro país, en el área de la ciencias biológicas y médicas [13].

Se reconocen colecciones aisladas que en algunas etapas se atesoraron en los entonces Institutos Superiores de Ciencias Médicas y en determinadas facultades de La Habana como en el caso de “Victoria

de Girón", "Salvador Allende", "General Calixto García" y "Manuel Fajardo"; además de la Escuela Latinoamericana de Medicina. Igualmente, el Instituto de Medicina Legal posee un pequeño museo con una interesante colección de piezas anatómicas, relacionadas con colecciones osteológicas e instrumentos e historia de esta rama y de la actuación médico forense [11].

**La colección de Anatomía Humana de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas**.

El desarrollo de la colección anatómica universitaria de esta institución está asociada al desarrollo de la Anatomía Humana como disciplina del pregrado de la carrera de Medicina y especialidad de posgrado. Se comienzan a reunir una colección para la docencia gracias al trabajo y las donaciones hechas por los propios profesores que se enriqueció a partir de piezas elaboradas por los docentes de la propia institución de esta especialidad en la década de 1980, como respuesta a los módulos de osteotecnia de la formación de residentes, donde se organizaron en una exposición alojada en un local creado al efecto en la nueva sede de la universidad. El conjunto contaba en ese momento con más de 70 piezas que documentaban el desarrollo embrionario y fetal, del crecimiento y desarrollo óseo, así como esqueletos completos.
A partir del curso 2013- 2014, se inicia una etapa donde se retoma y se amplía la colección ósea y articular por la aportación realizada de los nuevos residentes de esta especialidad, con la ampliación de piezas óseas y principalmente de articulaciones conservadas en formol. Desde el año 2020 se experimentó otra nueva ampliación de la colección relacionada con el intercambio activo con especialistas de medicina legal y antropología física, y a la fundación de la Cátedra Universitaria de Antropología Física "Dr. Manuel F. Rivero de la Calle", única de su tipo en una institución médica en el país [14].
Al aporte de objetos coleccionables se han sumado las donaciones de biólogos y médicos legistas, así como la colaboración del antropólogo físico de la provincia. Se enriqueció la colección con piezas de la anatomía comparada de diferentes vertebrados y de reproducciones de la evolución del hombre, teniendo hoy en su haber más de 120 objetos coleccionables. Esto conllevó a una heterogeneidad de sus piezas, lo que ha recaído en la dificultad de su organización museográfica y su reducido espacio.

**Desarrollo del proyecto del museo**

El rectorado de la Universidad de Ciencias Médicas se planteó la ampliación a varias salas del museo y se detectaron acciones necesarias encaminadas a una redefinición de su guión para expresar de forma más clara los contenidos a sus visitantes. Esto ha llevado, en primer lugar, la reorganización y clasificación de las colecciones que tuvo como prioridad la necesidad de documentación, uso y conservación. Para ello se lleva a cabo la evaluación de la importancia de las colecciones basada en a) el valor simbólico o artístico, b) el valor científico o técnico, así como el valor profesional y c) el valor docente aplicado; sobre todo a las colecciones históricas de modelos anatómicos y preparaciones científicas. En segundo lugar, la búsqueda de un lugar y una estructura idónea para la exposición de las colecciones, tres locales contiguos, pero no comunicados entre sí. Y por último el plan de conservación que ha implicado una evaluación del patrimonio existente, formado de materiales muy diversos y un estado de conservación desigual. El nuevo proyecto cuenta con la colaboración de numerosos especialistas y residentes de Anatomía Humana y Medicina Legal. Este proyecto implicó la reorganización de las colecciones en torno a un guión museográfico que transita desde la anatomía animal en su filogenia, la evolución del hombre, la ontogenia humana, la anatomía normal, la antropología física, la paleopatología y la acción médica sobre el organismo humano. El objetivo fundamental del museo es la conservación, investigación y difusión de piezas anatómicas de valor antropológico, producto de preparaciones y disecciones, para cumplir con su misión docente, investigativa y extensionista, en función del público general o especializado.

**Proyecto de arquitectura**

La ubicación del museo en su nueva concepción contará con tres salas contiguas del primer piso del bloque de investigaciones de edificio central de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, que asegura una amplia difusión y acceso a los numerosos profesores y estudiantes de la institución, así como visitas planificadas y guiadas de público general como parte de las actividades extensionistas de la universidad.




Figura 1: Imagen de la renderización realizada al diseño propuesto de la distribución del espacio.

El contexto físico del museo está considerado como uno de los factores clave que conforman la experiencia de su visita. Junto al aspecto personal (las experiencias, los conocimientos y los intereses del visitante individual) y al contexto social (grupo acompañante, otros visitantes, personal, familias), se crea lo que Falk y Dierking denominan: "Modelo de Experiencia Interactiva (MEI)" [15]. Los estudios museísticos abordan una diversidad de problemas tales como la forma en que podemos conceptualizar el espacio del museo, concibiendo las exposiciones como textos (narrativa) o mapas (recorridos), así como el papel del espacio en la experiencia de aprendizaje del visitante y la capacidad del museo para comunicar ideas y construir conocimientos generando significados [16].
Para la propuesta de diseño interior se tomó la línea de diseño contemporánea, con el propósito de recrear la observación y sensación del recorrido del cuerpo humano desde su interior. Para esto se empleó colores como el rojo sangre, el blanco y el color gris, así como la utilización de elementos de diseño que dan la sensación de continuo movimiento como el flujo sanguíneo, así como la iluminación puntual dirigida en las vitrinas y estantes.




Figura 2: Imagen virtual de la renderización realizada al diseño propuesto para la exposición.

Las vitrinas se concibieron de color blanco para resaltar más las piezas expuestas. Las paredes del fondo sirven como base de soporte para algunos elementos verticales a exponer, o para la colocación de carteles

decorativos acordes al guión museográfico. Las infografías fueron diseñadas por los profesores de la cátedra correspondiente y las mismas están fijos o desmontables según el interés particular de la temática. Las paredes están pintadas de blanco y los falsos techos tienen diferencias de niveles. El acabado de los casetones es de color rojo oscuro. Las cortinas son de tela gruesa, opaca, de color verde aceituna, para aliviar y refrescar el color rojo, no desviar la atención y limitar la entrada de luz natural. Todo destinado al confort, interés y aprendizaje de los interesados a la visita de los diversos espacios del sitio.



Figura 3: Foto actual de la sala 1 del Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de Matanzas.

Cuenta con tres salas de exposiciones.

- 1er salón: Generalidades, Anatomía Comparada, Evolución del Hombre, Ontogenia Humana.
- 2do salón: Anatomía Humana, Osteología, Artrología, Esplacnología, Historia de la Anatomía
- 3er salón: Antropología Física, Osteopatología, Paleopatología, Antropología Sociocultural

Cuenta con un total de 345 piezas, la mayoría en la sala de Anatomía Humana. El mayor porcentaje de piezas son originales y de origen óseo, el menor por ciento son reproducciones. En la estancia de Ontogenia Humana se exponen fetos con defectos congénitos y en la sala de Antropología Física se muestran piezas óseas con patologías infrecuentes, así como medios diagnósticos y soluciones quirúrgicas a traumatismos en los huesos.

Son numerosos los profesionales de ingeniería civil y arquitectura de todo el mundo que dedican proyectos al diseño de espacios para exhibición de colecciones, y más especialmente al diseño de museos. Actualmente se han desarrollado estudios que emplean la sintaxis espacial para intentar aportar coherencia y rigor al análisis de la distribución espacial en los museos. A partir de estos conceptos se pretende relacionar el espacio del museo con diferentes aspectos del “cómo funcionan” arquitectónicamente. El espacio se ha convertido en el tema unificador en los estudios de museos, cuyo enfoque funcional abarcaba desde la organización de la circulación interior hasta el papel del espacio museístico como sistema.

En Colombia, Martín Camargo ha desarrollado una nueva estrategia para el análisis y corrección de la espacialidad interior del museo nacional de este país [17]. Este mismo concepto es tratado por diseñadores en Italia, agregando el componente de integración de los sentidos a la percepción museográfica. Investigadores como Vivar destacan la importancia en el diseño interior de los olores, los sonidos asociados y del entorno, así como la presencia de espacios dinámicos e interactivos que involucren el tacto como percepción [18].

En Perú se ha presentado la moderna iluminación natural y artificial que se propone paralas exposiciones de arte contemporáneo [19]. Siguiendo una propuesta similar, pero con características propias y necesarias del desarrollo cultural de los pueblos, Ayala Franco presenta una propuesta de diseño

arquitectónico para un museo universitario en El Salvador que permita incorporar el diseño a los objetos en la muestra como un solo discurso [20]. Este concepto de configuración puede estar relacionado con uno de los enfoques más influyentes de los últimos años en los estudios de museos: las ideas del museo como lenguaje y como narración, basado en la idea de que la exposición en el museo funciona como un sistema de comunicación y que el significado viene dado no sólo a través de la simple presencia de objetos, sino también por su disposición. Es por eso que el diseño arquitectónico y de interior de un museo es parte indisoluble de todo lo que se quiere transmitir.

**Líneas de acción de la estrategia de desarrollo del museo**

La estrategia para el desarrollo del museo incluye: a) Reconocer, conocer y dar a conocer las colecciones científicas de interés patrimonial en el seno de las universidades, lo que precisa recursos humanos y económicos específicos desde la propia entidad. 2) Admitir la pertinencia universitaria de las colecciones. Tomar conciencia de la especificidad de este tipo de conjuntos patrimoniales es resultado de la actividad docente e investigadora de esta propia institución. 3) Coordinar el trabajo de extensión universitaria del museo en las distintas iniciativas locales y colaborar entre universidades, centros de educación general y organismos competentes en educación y gestión del patrimonio. 4) Convertir la colección museable un objeto de investigación en sí mismo. Utilizar las colecciones como soporte para la enseñanza práctica de nuevas disciplinas universitarias. 5) Extender en las plataformas digitales de la institución el museo, sus objetivos y colecciones, para incentivar la visita al centro y generar actividades de colaboración y promoción cultural.



Figura 4: Inauguración del Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de Matanzas.

**Impacto en la formación de estudiantes y la investigación**

La utilidad de estos museos desde el punto de vista del aprendizaje, es que sirven de espacio de práctica y aprendizaje para los estudiantes de la universidad [21, 22]. Además, se tiene la oportunidad de ver detalles de la configuración anatómica de algunos órganos que requerirían muchas horas de trabajo de disección por parte de los alumnos y de destreza que es difícil desarrollar en poco tiempo, por lo que en una visita al museo estos pueden ser apreciados de forma inmediata y con mayor cercanía de las que pueden apreciarse en dibujos, atlas o fotografías [13].

Una de las principales fuentes de enriquecimiento de la colección universitaria que se muestra en el museo es el resultado del trabajo de “Osteotecnia y Disección” de los residentes de la especialidad de Anatomía Humana en la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, donde se realizan preparados museables de los principales resultados investigativos de los profesionales de área del conocimiento.



Figura 5: En los exteriores del museo explicación sobre el manejo y montaje de colecciones óseas.

Los proyectos de investigación asociados tienen como objetivo desarrollar diferentes áreas que se exponen en el museo. Ejemplo de ellos son el proyecto de "Caracterización antropométrica de variantes anatómicas sujetas a procedimientos quirúrgicos en el envejecimiento patológico", que ha aportado numerosas piezas para la colección del museo. La actividad científica de la "Catedra de Antropología Física Manuel Rivero de la Calle" de esta misma universidad, la cual ha desarrollado numerosas Jornadas Científicas para profesionales asociados al trabajo de la antropología física y de estudiantes interesados en estos diversos temas.

La nueva museología ha consolidado un modelo fundamentado en el visitante y en una concepción del patrimonio al servicio de la sociedad, ya que los museos y universidades comparten funciones e intereses en aspectos como la formación, la investigación o la difusión de conocimiento [23, 24]. El diseño de los espacios de exposición, deben ser capaz de ofrecer a los visitantes la posibilidad de hacer diferentes recorridos y, por lo tanto, diferentes lecturas e interpretaciones para, en consecuencia, ofrecer un papel activo en el proceso, evidenciando la importancia del diseño en este tipo de instituciones.

## 3. CONCLUSIONES

Para un museo universitario, un museo de Anatomía Humana y Antropología Física, revitalizar sus fondos, sus colecciones y ponerlas a disposición de los estudiantes llamados a ser los maestros del futuro, es uno de los grandes retos que se convierten en objetivos en los que centrar su utilidad. Del mismo modo, poner las colecciones a disposición de los estudiantes de educación infantil, primaria y secundaria es ayudarles a conocer nuestro pasado para entender mejor el presente, mediante el acercamiento al patrimonio educativo e incentivar la vocación por carreras del ámbito de la salud.

## REFERENCIAS

1. ÁLVAREZ DOMINGUEZ, Pablo. "La interpretación patrimonial en el museo pedagógico universitario: hacia una pedagogía de la estampa histórico educativa". *Rev. Iberoam. Patrim. Histórico-Educativo, Campinas (SP)*, 2017, vol. 3, núm. 1, pp. 175 - 200, ISSN 2447-746X Ridphe_R. Disponible en Web: http://doi.org/10.20888/ridphe_r.v3i1.7775

2. MIRANDA Oriol. Visitó Primer Ministro Universidad Médica de Matanzas. Radio Reloj, 24junio 2022. Disponible en Web: https://www.radioreloj.cu/destacadas/visito-primer-ministro-universidad-medica-de-matanzas/

3. WARREN, E., MATTHEWS, G. "Public libraries, museums and physical convergence: context, issues, opportunities: a literature review part 2". *Journal of Librarianship and Information Science*, 2019, vol. 51, núm. 4, pp. 1120-1133. Disponible en Web: http://doi.org/10.1177/0961000618769720
4. OLIVEIRA URQUIRI, Haizea.; MARTÍN REY, Susana.; VIVANCOS RAMÓN, María Victoria. "Los museos y colecciones universitarias, valorización y riesgos: el Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV". II Simposio de Patrimonio Cultural ICOMOS España. Editorial Universitat Politècnica de València, 2023, pp 705-713. [ref. de 23 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://riunet.upv.es/handle/10251/200317
5. LÓPEZ GOÑI, Ignacio. "Divulgación y cultura científica desde el Museo de Ciencias Universidad de Navarra". En: Yolanda Cagigas Ocejo. "Un museo universitario". *Rev Príncipe de Viana*, 2023, vol. 285, pp. 111-126. ISSN: 0032-8472. [ref. de 23 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://revistas.navarra.es/index.php/PV/article/view/2617
6. SANDOVAL, Bertha Michel; GARCÍA GUERRERO, Miguel; ESPARZA MANRIQUE, Viridiana. "El Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas y su programa integral de divulgación científica". II Encuentro Nacional Universitario sobre Patrimonio Cultural y Natural, Mesa temática: Los Museos Universitarios: Experiencias y perspectivas. México, Sept. 2020. 52 pp. Disponible en Web: http://irpmzcc2.org/upload/secciones_archivos/0-mesa-20_compresse_202009060037.pdf
7. LATABAN CAMPOS, Anabela; ARÉVALO VILLANUEVA, Fernando. "Museo universitario José Juárez -Uagro: un espacio de diálogo, encuentro y agente del cambio social". II Encuentro Nacional Universitario sobre Patrimonio Cultural y Natural Mesa temática. Los Museos Universitarios: Experiencias y perspectivas. México, Sept. 2020. 52 pp. Disponible en Web: http://irpmzcc2.org/upload/secciones_archivos/0-mesa-20_compresse_202009060037.pdf
8. ANDRADE, Silvia Marina; VELASCO, Melina Alicia; SCAZZOLA, María Soledad. "De la escuela al museo y del museo a la escuela". Ponencias Congreso Sudamericano de Museos Universitarios "Los Museos Universitarios en el Siglo XXI", Buenos Aires, 2018, pp. 39 – 45. ISSN: 2618-3714. [ref. de 5 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150052
9. CORTÉS PÉREZ, Paola. "Museos universitarios, espacios de formación". *Rev Universidad Veracruzana*, 2015, vol. 14, núm. 598 [ref. de 5 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://www.uv.mx/universo/cultura/museos-universitarios-espacios-de-formacion/
10. JIMENEZ AREVALO, Ginger Aracely; PLAZA SOLEDISPA, Adriana Estefania y ECHEVERRIA REYES, Patricia Pilar. "Museos temáticos como recurso didáctico para la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Sociales". *Rev Conrado*, 2019, vol.15, núm. 66, pp. 116-122. ISSN 1990-8644 [ref. de 18 de agosto 2024], Disponible en Web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000100116&lng=es&nrm=iso
11. NÁPOLES VEGA, D., SEBASCO RODRÍGUEZ, K.M. "El museo de anatomía y su vinculación con la disciplina bases biológicas de la medicina". En IX Jornada Científica de la SOCECS, Edumed Holguín 2020. Disponible en Web: https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=iODZGBwAAAAJ&citation_for_view=iODZGBwAAAAJ:eQOLeE2rZwMC
12. CAÑIZARES LUNA Oscar, SARASA MUÑOZ Nélida, LOYTRA Anatoly. "Museos anatómicos en las universidades médicas cubanas". Editorial Ciencias Médicas, La Habana, 2018. ISBN: 978-959-313-518-4.
13. CAÑIZARES LUNA Oscar., FRANCO Miriam. "Museo anatómico de Villa Clara: una mirada tridimensional a la naturaleza humana". *Rev Edumecentro,* 2018, vol. 10, núm. 3, pp. 3. [ref. de 18 de agosto 2024], Disponible en Web: http://scielo.sld.cu/pdf/edu/v10n3/edu21318.pdf
14. LEMUS DOMINGUEZ Yenli. En Matanzas, proyecto vincula anatomía, docencia e investigación. Matanceros, Portal de la Atenas de Cuba, 22 junio 2022. Disponible en Web: https://www.matanceros.gob.cu/es/ciudadania/educacion/12408-en-matanzas-proyecto-vincula-anatomia-docencia-e-investigacion.html
15. MAGLIACANI, Michela; SORRENTINO, Daniela. "Embedding sustainability dimensions in university collections management: a "scientific journey" into a natural history museum". Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 2021, vol. 11, núm. 4, pp. 395-410. [ref. de 23 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2020-0044
16. CUMPA GONZÁLEZ, Luis. "Arquitectura: institución, museo e identidad". *Rev. Tesis*, 2023, vol. 16, núm. 23, pp. 63-78. [ref. de 3 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/tesis/article/view/26611

17. MARTÍN CAMARGO, Laura Alejandra. "Espacialidad interior en los recorridos de las salas del Museo Nacional de Colombia". Informe de pasantía para optar el título de Arquitecto. Fundación Universidad de América, Facultad de Arquitectura, Bogotá D.C, 2023. Disponible en Web: http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9245/1/1182931-2023-2-AR.pdf
18. VIVAR CORDERO, María Carolina. "Diseño del espacio interior a partir de la integración de los sentidos: la configuración espacial en la percepción museográfica." Tesis de doctorado en Diseño, Universidad de Palermo, Italia. 2023. http://www.palermo.edu/dyc/doctorado_diseno/vivero-cordero.pdf
19. LA RIVA GUZMÁN, José Diego. "Estrategias de iluminación natural y artificial aplicadas al diseño de un museo de arte contemporáneo en la ciudad de Trujillo" Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte. Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Perú, 2021. Disponible en Web: http://hdl.handle.net/11537/29346
20. AYALA FRANCO, Sandra Lisseth. "Propuesta de diseño arquitectónico para el museo de historia de la Universidad de El Salvador". Trabajo de Grado para optar por el título de Arquitecta, Universidad de El Salvador, 2022. Disponible en Web: http://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/27212/
21. ÁLVAREZ DOMINGUEZ, Pablo. "Museos pedagógicos universitarios en ciudades educadoras del tiempo presente: divulgación del patrimonio histórico educativo". *Revista Tempo e Argumento*, 2020, vol. 12, núm. 31, e0201. [ref. de 3 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://www.redalyc.org/journal/3381/338169073011/html/
22. OCHOA ROMERO, Maurely Edith; ERRAEZ ALVARADO, Jhonny Leonardo; ORDONEZ OCAMPO, Byron Patricio y ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. "Los museos en la enseñanza de historia". *Universidad y Sociedad*, 2021, vol.13, núm.4, pp. 439-444. ISSN 2218-3620. [ref. de 16 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000400439&lng=es&nrm=iso
23. NAVA RODRÍGUEZ, Teresa; PAZOS-LÓPEZ, Ángel. "Museos y universidades. Espacios compartidos para la educación, la inclusión y el conocimiento". *Gijón*: Ediciones Trea, 2020, núm. 463 pp. 48, ISBN: 978-84-18105-31-9 [ref. de 23 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://revistaseug.ugr.es/index.php/caug/article/view/29140
24. PLAZA, Camila. "Museums in Universities: Predicaments and Potentialities". *Museum International*, 2022, vol 74 núm 1–2, pp.74 – 85. [ref. de 16 de agosto 2024]. Disponible en Web: http://doi.org/10.1080/13500775.2022.2157563

**Sobre los autores**

**Sandra Bahr Ulloa:** Médico, especialista en Anatomía Humana de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, Profesora Auxiliar de esta disciplina. Máster en Antropología Física y en Educación Médica. Ha publicado más de 20 artículos e impartido más de 300 horas de posgrado. Es Investigadora Auxiliar y Jefa de Proyecto por el cual recibió en 2020 el Premio Citma Sectorial y en el 2022 el Premio Anual de Salud Provincial. Es miembro desde el 2022 de la Sociedad Internacional para el Avance en Cineantropometría (ISAK). Pertenece a la Red Iberoamericana de Investigadores en Antropometría Aplicada (RIBA$^2$) y a la Red Iberoamericana de Pedagogía (REDIPE). Es miembro de la Asociación Cubana de Pedagogos (ACP), de la Sociedad Científica de Antropología Biológica (SOCAB) y la Sociedad Científica de Ciencias Biomédicas (SCCB).

**Rafael Gilberto Juara Zuaznábar**: Arquitecto graduado en 2008 de la CUJAE. Se desempeña como arquitecto en el área de proyectos de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería (EMPAI) de Matanzas. Experiencia laboral de 16 años. Ha realizado diseños de obras como escuelas primarias y secundarias, remodelaciones de cabañas, restaurantes, así como el diseño interior del Museo de Anatomía Humana y Antropología Física de Matanzas. Es miembro desde el 2014 de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAIC).

**Katia Guisado Zamora:** Médico, especialista en Anatomía Humana de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, Profesora Auxiliar de esta disciplina. Máster en Educación Médica. Ha publicado más de 15 artículos e impartido más de 250 horas de posgrado. Es Investigadora Auxiliar. Es miembro de la Red Iberoamericana de Pedagogía (REDIPE). Es miembro de la Asociación Cubana de Pedagogos (ACP) y de la Sociedad Científica de Ciencias Biomédicas (SCCB).

**Regla Ponce de León Narváez:** Médico, especialista en Anatomía Humana de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, Profesora Titular de esta disciplina. Doctora en Ciencias Pedagógicas. Es Investigadora Titular y Jefa de Proyecto por el cual recibió en 2020 el Premio Citma Sectorial. Ha publicado más de 50 artículos e impartido más de 800 horas de posgrado. Miembro del Comité Doctoral de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas y miembro del Comité Académico de Anatomía Humana. Es miembro de la Red Iberoamericana de Pedagogía (REDIPE), de la Asociación Cubana de Pedagogos (ACP), y presidenta del Capítulo de Matanzas de la Sociedad Científica de Ciencias Biomédicas (SCCB).

**CONTACTO**

Si tiene alguna pregunta u observación en la preparación de su artículo por favor diríjase a la siguiente dirección de correo electrónico: sandrab.mtz@infomed.sld.cu o sandrab.mtz.cu@gmail.com

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL VIDEO COMO MEDIO DE EXPRESIÓN CULTURAL EN LA ENSEÑANZA DE ESPAÑOL COMO LENGUA EXTRANJERA

Evelyn Abreu Márquez[1], Ada de la Caridad Cabrera González[2], María Luisa Pérez Rosales[3] , Caridad Antonia Catasús Díaz[4]

[1] Centro de Idiomas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Cuba. Email: evelyn@icb.cujae.edu.cu
[2]Centro de Idiomas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Cuba. Email: cabrera@icb.cujae.edu.cu;
[3]Centro de Idiomas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Cuba. Email: mluisa@icb.cujae.edu.cu ;
[4]Centro de Idiomas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Cuba. Email: caridadcd@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El trabajo que se presenta es el resultado de una investigación que se relaciona con temáticas de índole cultural, que tienen como punto de partida el uso de los medios audiovisuales en la clase de español como lengua extranjera, para estudiantes no hispanohablantes de nivel intermedio de la Cujae, cuya procedencia es diversa; por lo que en la práctica docente afluyen varias lenguas y culturas. De acuerdo con las dificultades que tienen en el desarrollo de las habilidades comunicativas en general (comprensión lectora y auditiva y comunicación oral y escrita), el propósito de las autoras es demostrar cómo la utilización de diferentes medios que apoyen el proceso de enseñanza aprendizaje, en este caso el video como recurso educativo, tributan al aprendizaje de los estudiantes y favorece la motivación, tan importante para que los estudiantes gestionen sus conocimientos. Además, despierta el interés no solo hacia el aspecto cognitivo, sino también, contribuye a la comunicación. El uso de un medio audiovisual y a través de actividades sugerentes, posibilita el desarrollo de la competencia comunicativa de los estudiantes y enriquece su universo cultural.

**Palabras clave:** medios audiovisuales, español como lengua extranjera, habilidades comunicativas orales

# THE VIDEO AS A MEANS OF CULTURAL EXPRESSION IN THE TEACHING OF SPANISH AS A FOREIGN LANGUAGE

**ABSTRACT**

The presentation of this paper is the result of a research that is related to cultural topics that have as a starting point the use of audiovisual media in the Spanish classes as a foreign language for intermediate level students in CUJAE that come from different countries where different languages and cultures come across. According to the difficulties that these students have in the development of their communicative abilities (reading comprehension, listening, oral and written communication) the purpose of the authors is to show how to use these different media that support the teaching-learning process, in this case the use of videos as an educational resource, they make possible the students´learning and favors motivation something important for the students so that they develop' their knowledge. Besides, it favors the interest not only to the cognitive aspect but it also contributes the communication. The use of some audiovisual media and through interesting activities, they make possible the development of the communicative competence of the students and it enriches its cultural universe.

**Key Word**

Audiovisual media, Spanish as a foreign language, oral communicative abilities

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una alta demanda de aprendizaje del español como lengua extranjera; asimismo, ha crecido la movilidad de estudiantes por motivos académicos y profesionales. A la Universidad Tecnológica de La Habana acuden estudiantes de diferentes continentes, mayormente de Asia, África y el Caribe para estudiar carreras de ingeniería o arquitectura, que además necesitan enriquecer su horizonte cultural.

La enseñanza del español como lengua extranjera recibe continuamente nuevas orientaciones hacia una mejor aplicación de las estrategias de aprendizaje y de enseñanza con el objetivo de adquirir esta lengua de modo efectivo y fructífero. Este esfuerzo común realizado por parte de los especialistas, tanto lingüistas como profesores, pretende llevar al alumno hacia una inmersión completa en lo sociocultural y crear un nuevo perfil de alumnado intercultural, cuyo bagaje sociolingüístico sea único [1].

En esto influye en gran medida el uso de medios audiovisuales, poco explotado en la enseñanza precedente, a través de los cuales el estudiante refuerza el contenido de aprendizaje en la medida en que emplea estos recursos en su aprendizaje autónomo.

En cuanto a las necesidades lingüísticas en la enseñanza del español como lengua extranjera (ELE) con fines académicos, los discursos académicos con mayor dificultad son las clases expositivas, las presentaciones orales, la comprensión lectora de textos de la especialidad y la escritura de artículos científicos e informes de investigación [2].

Por esa razón, aunque hay que trabajar con los estudiantes en la clase las cuatro destrezas (escuchar, hablar, leer y escribir) desde el nivel inicial para desarrollar las estrategias necesarias para la comunicación, pues la lengua es un sistema, no se puede divorciar una habilidad de la otra, forman un todo; mas es necesario profundizar en el trabajo con las habilidades orales, por ser difíciles, puesto que la expresión oral es más espontánea y menos elaborada que la escrita, en la que hay más tiempo de perfilar las ideas.

No obstante, cuando el estudiante está motivado a través de una actividad interesante o de un medio audiovisual, favorecerá su expresión oral; porque estos recursos se han considerado como una importante técnica educativa, ya que la mayor parte de la información que reciben las personas se realiza a través del sentido de la vista y del oído. La principal razón para la utilización de imágenes en los procesos educativos es que resultan motivadoras, sensibilizan y estimulan el interés de los estudiantes hacia un tema determinado, de modo que facilitan la instrucción completando las explicaciones verbales impartidas por el profesorado [3]

En este trabajo se presenta una muestra de las unidades elaboradas para las clases de español de nivel intermedio, en la que se trabajan las cuatro habilidades de la lengua, pero se enfatiza en la comunicación oral, cuyo punto de partida y de motivación es un video del cantante jamaicano Bob Marley, cuya figura y obra musical adquirieron reconocimiento internacional. El uso de este medio en clase facilita la construcción de un conocimiento significativo, pues se aprovecha el potencial comunicativo de las imágenes, los sonidos y las palabras para transmitir una serie de experiencias que estimulen los sentidos y los distintos estilos de aprendizaje en los estudiantes. La posición que asumen las autoras de este trabajo está en correspondencia con los estudios que en el campo de la Psicología, y especialmente, de la escuela histórico-cultural, se han llevado a cabo acerca del papel del lenguaje como mediador en los procesos de comunicación y apropiación de la cultura. En el terreno de la Didáctica, los estudios relacionados con la motivación y su importancia en el aprendizaje significativo. Por último, en el aspecto lingüístico, se consideran los estudios acerca de la Lingüística del texto, que se centran en los procesos de comprensión y construcción de significados en diferentes contextos.

## DESARROLLO

### 1. La enseñanza del español como lengua extranjera

La Educación Superior tiene la misión de garantizar una formación profesional de calidad en los estudiantes, es decir, asegurar la formación de un profesional competitivo, con amplia movilidad ocupacional, capaz de insertarse en el mundo del trabajo, la ciencia y la tecnología, lo cual significa garantizar un egresado con una sólida formación, capaz de superarse y comunicarse, generar ideas, transformaciones y, estar dotado de una amplia polivalencia y actualidad en diferentes ámbitos del saber [4].

Para ello, la enseñanza del español como lengua extranjera tiene el rol de desarrollar la competencia comunicativa en los estudiantes no hispanohablantes de ingeniería y arquitectura de la Cujae, para lograr en ellos una formación profesional competente. Necesitan conocer y familiarizarse con el contexto social, cultural y académico donde se va a desarrollar la comunicación y son las clases de español precisamente, un escenario en el que lograrán desarrollar las habilidades comunicativas de la lengua.

La competencia comunicativa es la capacidad de una persona para comportarse de manera eficaz y adecuada en una determinada comunidad de habla; ello implica respetar un conjunto de reglas que incluye tanto las de la gramática y los otros niveles de la descripción lingüística (léxico, fonética, semántica) como las reglas de uso de la lengua, relacionadas con el contexto socio-histórico y cultural en el que tiene lugar la comunicación [5].

Este concepto ha evolucionado a partir de las nuevas concepciones que consideran el uso social de la lengua en diferentes contextos de comunicación y rechaza aquellas posiciones que centraban el aprendizaje de la lengua a lo estrictamente lingüístico.

Las tareas elaboradas para que los estudiantes no hispanohablantes se enfrenten a la construcción de textos orales se centran en el enfoque cognitivo, comunicativo y sociocultural, porque se sustentan en las siguientes características [6]: Constituyen una perspectiva discursiva e interactiva que se centra en el estudio del lenguaje como medio esencial de cognición y de comunicación social humana; abordan el estudio del discurso desde tres dimensiones: la semántica, la sintáctica y la pragmática; operan con los componentes funcionales comprensión, análisis y construcción textual en estrecho vínculo; ponen de relieve el análisis de las estructuras lingüísticas en contextos de significación que asume como condicionador del discurso, permiten la descripción de las estructuras lingüísticas y su explicación en función de la comunicación entre los sujetos.

La base del enfoque por tareas consiste en la enseñanza de los recursos necesarios para la comunicación y su puesta en práctica en las diferentes situaciones comunicativas que se producen en los diferentes contextos donde conviven los estudiantes.

Si se quiere trabajar con tareas, hay que aceptar que es el alumno el que dirige el discurso, y que es el profesor el que va detrás de él, proporcionándole los elementos necesarios para que el alumno pueda cumplir sus objetivos [7].

Garantizan que las actividades comunicativas propicien el desarrollo de la competencia cognitiva, comunicativa y sociocultural; que den una respuesta a los problemas de los estudiantes en la comunicación tanto oral como escrita; que permitan el papel activo del estudiante dentro y durante el proceso de enseñanza aprendizaje, en el que aprende de forma independiente y en colaboración, y en el que el profesor es mediador, orientador y no solo trasmisor de conocimientos, que el estudiante reflexione acerca de cómo construye su propio conocimiento y que contemplen el aspecto formativo de la enseñanza y refuercen los valores humanos. De ahí, que sean tareas interactivas de aprendizaje que ofrezcan oportunidades de aprender mediante la interacción social [8].

## 2. EL VIDEO COMO MEDIO DE EXPRESIÓN CULTURAL

La ciencia y la tecnología no se pueden estudiar fuera del contexto social en el que se manifiestan, ellas conviven en beneficio mutuo. Por tanto, su entrada a la educación: el conocimiento científico apoyado en la tecnología es, sin duda, un recurso didáctico ineludible en esta nueva era.

El acelerado desarrollo de la ciencia y la técnica ha invadido todos los ámbitos y niveles sociales; por eso, en los tiempos actuales, la nueva tecnología se ha convertido en uno de los productos fundamentales del consumo de la modernidad. El impacto social de la ciencia y la tecnología es un tema aún en pleno desarrollo. Como elemento nuevo en rápido desarrollo que se gesta en el mundo, trae consigo cambios que repercuten en procesos y fenómenos sociales y en específico, en la mente del ser humano, en su forma de vivir, pensar y hacer [9].

En este sentido, se habla del impacto, de cómo han impresionado en la sociedad las nuevas tecnologías, qué resistencias pueden provocar y los reajustes que necesariamente se deben hacer para un estilo de educación. Una de las temáticas en el debate actual consiste en determinar cuánto han servido para configurar a las sociedades modernas y trasformar a las tradicionales. Tanto los progresos científicos como los tecnológicos han modificado radicalmente la relación del hombre con la naturaleza y la interacción entre los seres vivos. Esta realidad implica un desafío para el sistema educativo en general y para los responsables más directos de la formación profesional ocupacional, en particular.

Actualmente, los jóvenes están inmersos en un mundo audiovisual, y les resulta más fácil que a un adulto su uso; pero leer una imagen necesita un aprendizaje específico, pues la realidad que reflejan las imágenes es variada y múltiple, de modo que su comprensión depende de diversos factores personales como la experiencia, la memoria, el contexto, la cultura y los códigos de cada sociedad. La educación puede ofrecer los instrumentos necesarios para leer e interpretar imágenes como lo hace con los signos de la lengua; mas las instituciones educativas no han promovido el aprendizaje y la utilización de los medios audiovisuales en igual medida que el uso del lenguaje, aunque la situación está cambiando en los últimos tiempos.

Constituyen los recursos educativos un elemento importante dentro de la enseñanza del español como lengua extranjera y por ello, es fundamental incorporarlos en la metodología docente de un profesor. Son innumerables los que se pueden utilizar: los clásicos (explicaciones orales con ayuda de la pizarra, libros de texto, apuntes...) y los tecnológicos, que requieren el manejo de un instrumento para poder transmitir los mensajes de la enseñanza.

En estos procesos de comunicación interactiva que se producen en el aula, los recursos tecnológicos intervienen como medios complementarios para el enriquecimiento del universo cultural, adquirido y expresado a través de la lengua.

Lengua y cultura constituyen el núcleo de la enseñanza de una lengua…el conocimiento de otras culturas y la convivencia de culturas diversas posibilita enseñar y aprender una lengua extranjera de forma más completa [10].

Al aprender las culturas de países extranjeros los estudiantes tienen la oportunidad de entender diversas identidades culturales que pueden ser previamente desconocidas para ellos. En todas partes existen estereotipos sobre otras culturas, pero hasta que uno no estudia una cultura no se aproxima a las realidades de la misma.

El uso adecuado de los medios audiovisuales aumenta la eficacia de las explicaciones del profesor, permite analizar la relación existente entre las partes y el todo en un modelo o proceso, y puede ayudar a desarrollar capacidades y actitudes; puede producir un impacto emotivo que genere sentimientos favorables hacia el aprendizaje, estimulando la atención y la receptividad del alumno, además de que introduce al alumnado en la tecnología audiovisual que es un componente importante de la cultura moderna.

El video es uno de esos interesantes medios y su uso en clase facilita la construcción de un conocimiento significativo, pues se aprovecha el potencial comunicativo de las imágenes, los sonidos y las palabras para transmitir una serie de experiencias que estimulen los sentidos y los distintos estilos de aprendizaje en los

alumnos. [11]. Este recurso educativo no puede sustituir al profesor, pero puede utilizarse como instrumento motivador y servir de complemento a las explicaciones verbales. Se puede emplear para introducir un tema, confrontar ideas, presentar hechos… Mas en este caso, se emplea para motivar a los estudiantes, enriquecer sus expresiones culturales Bob Marley es una figura internacional, promotor del movimiento rastafari, portavoz por la paz y la igualdad social y racial, y el más importante creador del reggae. Su música llegó a los cofines del mundo. Los estudiantes deben identificarlo y relacionarlo con sus propias culturas. Además de que propicia el intercambio cultural en el aula, también es un tema interesante para favorecer el desarrollo de las habilidades de la lengua.

**Un cantante de éxito: Bob Marley**

Para motivar a los estudiantes, se les presentará un video donde aparece Bob Marley interpretando una canción.

1. ¿Cuál es el nombre de ese cantante?
2. Diga el nombre de su país.
3. Localice en el mapa dónde está ubicado.
4. Una vez identificado el cantante, se pasará al teléfono de los estudiantes un video cuyas imágenes ilustran pasajes sobre su vida y obra y se hará un intercambio oral de opiniones.
5. Lea detenidamente el siguiente texto a través del que conocerá algunos elementos de la vida del cantante.

Robert Nesta Marley Booker (Bob Marley) nació el 6 de febrero de 1945 en Nine Mile, una pequeña localidad al norte de la isla de Jamaica, en el Mar Caribe. Era hijo de una afro-jamaicana y de un jamaicano blanco de ascendencia inglesa. Aunque era mulato, se identificaba simplemente como negro y esa fue la única parte de su herencia racial por la que demostró interés. Se casó con Rita, cubana de Santiago de Cuba y tuvo cuatro hijos, aunque nacieron dieciocho más fuera del matrimonio.

Bob Marley recibió cierta formación musical. La visita del Emperador de Etiopía impulsó y renovó el importante movimiento rastafari de la isla y el acercamiento de Bob con la creencia Rastafari comienza a reflejarse en su música. Viajó con su banda de reggae, los míticos The Wailers y ofreció conciertos en innumerables partes del mundo.. Era ya un pacifista apolítico en Jamaica, un músico consagrado y un auténtico propulsor de la fe rastafari. Fue víctima de un atentado en su país por promover la paz y la reconciliación nacional en sus conciertos.

Bob Marley tiene su propia estrella en el Paseo de la Fama de Hollywood. Recibió en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York la Medalla por la Paz. A pesar de que se descubrió que tenía cáncer, deseó seguir adelante con las actuaciones programadas y participó de forma activa en la preparación de una gira mundial que tendría lugar en 1980. Tras la gira, le otorgaron la Orden del Mérito de Jamaica, la tercera mayor honra de la nación, en reconocimiento a su inestimable contribución a la cultura del país, pero no pudo estar presente. Muchos rastafaris lo consideraron ¨el rey del reagge¨.

Marley regresó a Jamaica, donde murió en la mañana del 11 de mayo de 1981, a la edad de 36 años. La expansión del cáncer fue la causa de su temprana muerte. Las últimas palabras fueron a su hijo Ziggy Marley: "el dinero no puede comprar la vida".

Marley recibió un funeral de Estado el 21 de mayo de 1981. Fue enterrado con su guitarra roja en una capilla próxima al lugar en donde nació. Su casa en Nine Mile fue declarada monumento nacional por el gobierno de Jamaica.

El primer ministro de Jamaica, Edward Seaga, pronunció el panegírico del funeral:

Su voz fue un grito omnipresente en nuestro mundo electrónico. Sus rasgos afilados, su aspecto majestuoso y su forma de moverse se han grabado intensamente en el paisaje de nuestra mente. Bob Marley fue una experiencia que dejó una huella indeleble en cada encuentro. Un hombre así no se puede borrar de la mente. Él es parte de la conciencia colectiva de la nación"

**Información interesante**
**Rastafari:** es un movimiento espiritual que debe su nombre a *Ras* (príncipe) Tafari Makonnen


**BANDERA DEL RASTAFANISMO**

Marcus Garvey creía que toda la población negra del mundo debía unirse en hermandad y retomar el continente africano de los poderes blancos coloniales. Fue influyente entre los negros de clase baja en Jamaica. Haile Selassie llegó al trono de Etiopía y casi inmediatamente ganó seguidores que llegaron a ser conocidos como los Rastas.

**Rastas:** Los llamados Rastas, apasionados por la defensa de su identidad y creencias, hacen uso de la estética de su fe luciendo cabelleras con Dreadlocks (cabellos hilados), tams (gorros tejidos), ropas cómodas hechas con fibras vegetales, pantalones anchos y camisetas holgadas. Toda su vestimenta muestra los colores de la Tierra Madre de Etiopía, a los que adjudican un gran valor simbólico.


**Música Rastafari:** A través de ella, los Rastafari buscan escapar de la frustración y opresión social en la que viven e incluso algunos le conceden poderes curativos; para ellos, la música es la mejor manera de dar gracias a Dios y además representa también un arma y una forma de protesta.

**El reggae**: nació en medio de los barrios pobres en Trenchtown, el Gueto principal de Kingston, Jamaica. Generalmente se asocia con Rastafari, debido a que muchos de los más prominentes músicos de reggae en la década de 1970 y 1980 eran Rastafari, como Bob Marley.

**Vocabulario**
Panegírico: alabanza, discurso
Omnipresente: universal, presente
Indeleble: inquebrantable, imborrable, indestructible

**Trabajo de comprensión (preguntas orales)**

1. Después de haber conocido sobre la vida y obra de Bob Marley, qué opinión tiene sobre esa figura.
2. ¿Cómo eran los rastas? Descríbalos.
3. ¿Qué fin tiene la música rastafari?
4. ¿Qué piensa sobre las últimas palabras de Marley?
5. ¿Está de acuerdo con el panegírico del primer ministro de Jamaica?
6. ¿A qué figuras de la cultura de su país con reconocimiento mundial pudiera hacer referencia?

**Trabajo con el vocabulario**

Coloque al lado de casa vocablo extraído del texto:

a) Clase de palabra (sustantivo, adjetivo, pronombre, verbo, adverbio, forma no personal del verbo, preposición o conjunción)

b) Un sinónimo
c) Un sustantivo para cada adjetivo / un adjetivo para cada sustantivo
d) Clasificación de la palabra de acuerdo con su acentuación. Fundamente.

ascendencia

desaires
alternó
renovó
benéfico
empeoramiento
propulsor
reconciliación
represalia
atentado
huella

**Redacción**

Redacte un párrafo en el que exponga sus ideas acerca del panegírico del primer ministro de Jamaica en el funeral de Bob Marley y en el que utilice alguno de los vocablos anteriores.

## CONCLUSIONES

El uso del video como expresión cultural engrandece la utilización de medios de enseñanza y rompe con patrones tradicionales en el aprendizaje de la lengua, además con su proyección se fortalece el desarrollo de las cuatro habilidades de la lengua que como un todo tributan al análisis, la comprensión y construcción como componentes funcionales en el estudio del lenguaje.

El conocimiento de diversas culturas tiene el poder de transformar la manera que tienen los estudiantes de ver el mundo, de lograr que reconsideren su identidad personal y les permite responder positivamente al conflicto que puede plantear la comunicación entre culturas tal y como demandan las relaciones que se establecen entre los individuos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CALLE ARANGO, Lina. ¨El texto argumentativo como entrada al discurso académico en el CESA¨. *Revista Folios*, 2019, núm. 47, pp.81-98. ISSN 1123-4870. https://doi.org/10.17227folios.47-7399.

2. PÉREZ LÓPEZ, María Soledad. ¨ La expresión escrita de los estudiantes universitarios bilingües¨. RMIE. *Revista mexicana de Integración Educativa*, 2019, vol 21, núm.70, pp.847-.879.
ISSN 1405-6666. http://www.redalyc.org

3. XIMENA MENESES, Julie; OSORIO CASTALLEDA, Katerine; RUBIO QUINTERO, Ana María. ¨La comprensión de textos argumentativos como estrategia para el aprendizaje significativo y el desarrollo del pensamiento crítico¨. *Actualidades pedagógicas*,2018, núm. 72, pp.29-47. ISSN 0120-1700.

4. ARCHILA, Pablo Antonio. “Uso de conectores y vocabulario espontáneo en la argumentación escrita: aportes a la alfabetización científica”. Universidad de Cádiz. *Revista Eureka sobre la enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2019, vol 2, núm.3, pp. 402-418. ISSN 1697-011X. https://revistas.uca.es.

5. ARCHILA, Pablo Antonio, LUNA CALDERÓN, Pilar; MESA PIÑEROS, Pilar. ¨El empleo espontáneo de conectores y vocabulario relacionado con las ciencias. Implicaciones en la argumentación científica¨. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2020, vol. 14, núm. 1, pp 3-23. ISSN 1697-011X.

6. ERRÁZURIZ CRUZ, María Constanza. ¨ El desarrollo de la escritura argumentativa académica: los marcadores discursivos¨. *ONOMÁZEIN. Revista de Lingüística, Filología y traducción. Pontifica Universidad Católica de Chile*, 2017, núm.30, pp217-236. ISSN 0717-1285.

7. GONZÁLEZ, Gala: ¨El uso de los conectores discursivos o argumentativos¨. Disponible en: www.pampalabrasamedida.com/el-uso-de-los-conectores-discursivos-o-argumentativos

8. PADRÓN NOVALES, Carmen Isabel; QUESADA PADRÓN, Náyade; PÉREZ MURGUÍA, Ada; GONZÁLEZ RIVERO, Pedro Luis; MARTÍNEZ, Luis Enrique. ¨Aspectos importantes en la redacción científica¨. *Revista de Ciencias Médicas*, 2019, vol 18, núm. 2, ISSN 1561-3194.

9.Centro de estudios de lectura y escritura (Celee). ¨Los conectores y su función. Departamento de Humanidades. *Enciclopedia de conocimientos fundamentales UNAM-SIGLO XXI,* 2019, vol. 1, pág. 101-102 ISSN 978-607-03-0225-1

10. ALTAMAR RONDÓN, Wajibe. ¨La cultura como herramienta para la enseñanza del español como lengua extranjera¨. *4to Encuentro Internacional de Español como lengua extranjera. Enseñanza, aprendizaje y evaluación. Universidad del Norte. Departamento de Español*, 2018.

11.MOSCHINI, Analia. ¨ Uso de material audiovisual en el aula¨. Disponible en: http://campuseducativo.santafe.gob.ar/uso-de-material-audiovisual-en-el-aula/ 2018

**Sobre los autores**

Evelyn Abreu Márquez es Máster en Ciencias de la Educación Superior y profesora auxiliar. Imparte clases de idioma español como lengua extranjera en el Centro de Idiomas del Instituto de Ciencias Básicas en la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene una experiencia en la profesión de más de 35 años.

Ada de la Caridad Cabrera González es Doctora en Ciencias Pedagógicas y profesora titular. Imparte clases de idioma español como lengua extranjera en el Centro de Idiomas del Instituto de Ciencias Básicas en la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene una experiencia en la profesión de más de 35 años.

María Luisa Pérez Rosales es Doctora en Ciencias Pedagógicas y profesora titular. Imparte clases de idioma español como lengua extranjera en el Centro de Idiomas del Instituto de Ciencias Básicas en la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene una experiencia en la profesión de más de 35 años.

Caridad Antonia Catasús Díaz es Máster en Ciencias de la Educación Superior y profesora auxiliar. Imparte clases de idioma español como lengua extranjera en el Centro de Idiomas del Instituto de Ciencias Básicas en la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene una experiencia en la profesión de más de 35 años.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA INTEGRACIÓN DE LAS TIC, EN LOS PROCESOS DE SUPERACIÓN CON PROFESORES NOVELES PARA LAS CARRERAS DE INGENIERÍA EN EL ÁREA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**1 Misleidy Arzuaga Ramírez, 2 Carlos Rafael Fernández Medina**

Centro de estudio de la Educación Superior Agropecuaria. Universidad Agraria de La Habana
misleidisa@unah.edu.cu

## RESUMEN

Los profesores noveles de la Universidad Agraria de La Habana desempeñan un importante papel en la continuidad de la formación del estudiantado universitario. Se presentan problemáticas: didáctica-pedagógica, tecnológica, demográfica, de envejecimiento poblacional, emigración y socioeconómicas que entorpece la incorporación de nuevas tecnologías al proceso de enseñanza aprendizaje y persisten las didácticas tradicionales. La ponencia presenta una propuesta desde el postgrado de cómo ha de contribuir a la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, para profesores noveles que se incorporan a la docencia universitaria. Se utilizaron métodos tales como: modelación, revisión documental, análisis de la actividad, observación., los que permitieron alcanzar el objetivo propuesto: La integración de las TIC al proceso de enseñanza-aprendizaje de los profesores noveles de la Universidad Agraria de La Habana. Como logro fundamental se alcanzó la integración de las TIC a las didácticas particulares de cada una de las **asignaturas** impartidas por los profesores en sus respectivas áreas. Se tomó como escenario el diplomado en "Formación básica de profesores universitarios", como vía esencial para su superación.

**PALABRAS CLAVES:** integración TIC, superación, profesores noveles

# THE INTEGRATION OF ICTIN THE IMPROVEMENT PROCESSES WITH NEW TEACHERS FOR ENGINEERING COURSES IN THE AREA OF AGRICULURAL SCIENCES

## ABSTRACT

The novel teachers of the Havana Agrarian of University play an important role in the continuity of the training of the university students. Problems arise pedagogical didactics, technology, demographic, population aging and socioeconomic, this hinder the incorporation of new technologies into the teaching-learning process. The presentation presents a proposal of how this process should be for new teachers who join the university teaching. We used methods such as: modeling, document review, activity analysis, observation, among others, which allowed us to achieve the proposed objective: The integration of information and communication technologies to novel teachers of the Havana Agrarian of University. The fundamental achievement of the integration of information and communication technologies of the particular didactics to each of the subjects taught. The scenario of the diploma "basic training for university professors" was the essential way to improve it.

**KEYWORDS**: integration, overcoming, novel teachers.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las transformaciones educacionales en Cuba exigen a un profesor universitario a tono con los cambios en el modelo económico y social que vive el país. Las tecnologías de la información y la comunicación son demandadas cada vez más por estudiantes y profesores para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El auge tecnológico evidenciado en los últimos tiempos en la sociedad, la incorporación de dispositivos y herramientas tecnológicas y de inteligencia artificial en el salón de clase, es inevitable; por ello el profesor no debe quedarse a la zaga en su empleo e integración a los componentes didácticos y a la apertura de espacios de virtualización, cooperación y apoyo para la apropiación de los contenidos profesionales esenciales a aprender por parte de sus estudiantes.

Las Ciencias de la Educación, revolucionan, en particular la Didáctica, con un proceso de enseñanza-aprendizaje complejo no solo por su naturaleza, sino también y, sobre todo, por las condiciones sociales, medioambientales, tecnológicas que hoy el mundo experimenta y que sin lugar a dudas trascienden a la dirección de este proceso.

En este proceso de enseñanza-aprendizaje complejo, multifactorial, dinámico donde confluyen y emergen disímiles situaciones de aprendizaje, el empleo de métodos, de recursos y herramientas tecnológicas, el profesor deberá estar adecuadamente preparado desde lo didáctico, tecnológico y educativo para enfrentar los desafíos de la ciencia de enseñar y aprender.

La experiencia pedagógica que los autores ponen a consideración parte de la necesidad de integrar las tecnologías digitales al proceso de enseñanza-aprendizaje, caracterizada **por la articulación de las tecnologías digitales a las tareas de aprendizaje, la mediación de estas tecnologías en las interacciones entre educadores y estudiantes y el aprovechamiento de la infraestructura existente.**

Por otro lado, la superación a los profesores noveles partió fundamentalmente de potenciar el papel protagónico y cooperado de educadores y estudiantes en sus procesos de toma de decisiones, en la autogestión y gestión del conocimiento, en la autodeterminación de sus metas y objetivos futuros y la autorregulación del aprendizaje para que les permita alcanzar satisfactoriamente y con éxitos las tareas de aprendizaje proyectadas en el diplomado impartido.

La ponencia tiene como objetivo: exponer los principales resultados obtenidos en el proceso de superación pedagógica matizado por la integración de las Tecnología de la Información y las Comunicación, lo adelante TIC, en cada una de los cursos con los profesores noveles de la Universidad Agraria de La Habana, en lo adelante UNAH. Se realizó mediante los cursos de posgrado, implementado en el diplomado de formación básica de profesores universitarios.

Para lograr los resultados se emplearon métodos de investigación: modelación, observación, revisión documental, análisis de la actividad, que permitieron transformar los modos de actuación en lo particular a la superación pedagógica, didáctica y tecnológica en los profesores noveles; todos ellos integrados al acompañamiento docente mediante la plataforma Moodle.

Se obtiene como principal resultado: el montaje de las asignaturas en la plataforma antes mencionadas, la preparación pedagógica-didáctica para la ejecución, control y evaluación del aprendizaje mediante las herramientas y actividades que ofrece la plataforma, la profesionalización y actualización de los componentes didácticos en la asignatura que imparten, la modelación de una actividad docente; todo ello para favorecer la calidad de la formación técnico-profesional integral de ingenieros en las áreas de las ciencias agropecuarias y sociales.

## 2. DESARROLLO

### La integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos formativos. Características esenciales

A luz de las nuevas transformaciones que se llevan a cabo en la Educación Superior, en correspondencia con las exigencias sociales y tecnológicas; las experiencias pedagógicas adquieren sentido cuando de ellas se derivan la solución de problemáticas que aún persisten en la formación pedagógica del profesor universitario.
Todo escenario pedagógico creado en beneficio a la relación de ayudas ofrecidas a profesores noveles que se adiestran para ejercer la función docente educativa, es un reto. Aún más cuando ellos provienen de las ciencias técnicas, con fuerte dominio en las particularidades de los procesos tecnológicos propios de las carreras para la cual se han formado; pero con poco dominio de las habilidades didácticas y en particular de las derivadas de los entornos virtuales de formación. Este proceso se torna más complejo al incorporarse nuevas herramientas tecnológicas que se emplean en los entornos virtuales de formación, así como los recursos en la creación de escenarios para la formación virtual en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por las condiciones sociales, tecnológicas y pedagógicas en que se desarrolla hoy el proceso pedagógico en la educación superior, se hace necesario elevar los niveles de integración de las TIC al proceso de enseñanza-aprendizaje desde la didáctica para estos entornos. Sin lugar a dudas, es esta ciencia la que matiza el quehacer del profesor y los estudiantes para alcanzar los fines educativos.

Adentrarse en la supuración pedagógica didáctica y tecnológica fue esencial para alcanzar la integración de estas como proceso contextualizado, sistémico, continuo y reflexivo orientado a la transformación de la práctica pedagógica y en el seno de los procesos que conforman el proceso de enseñanza-aprendizaje (1).

Con el fin de transformar la práctica pedagógica, se retomaron dos dimensiones de la variable: **Proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas de la Educación Superior, concebidas en el perfil del proyecto: "El proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas para la formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social sostenible",** coincidente con las dimensiones las características esenciales que se abordaron fueron las siguientes:

**Exigencias del modelo del profesional:** profesionalización del proceso de enseñanza-aprendizaje, integración de lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista y transformación de la realidad social, profesional y personal.

**Integración de las tecnologías digitales al proceso de enseñanza-aprendizaje:** articulación de las tecnologías digitales a las tareas de aprendizaje, mediación de estas tecnologías en las interacciones entre educadores y estudiantes y aprovechamiento de la infraestructura existente.

**El montaje de la asignatura en la plataforma de tele formación con la herramienta tecnológica (Moodle).** Se emplearon elementos esenciales del modelo didáctico para el diseño de cursos o asignaturas en entornos virtuales de formación (2). Esencialmente se partió de la apertura de la asignatura impartida por el profesor novel en la plataforma antes referida. Para el montaje y apertura de estas asignaturas se tuvieron en cuenta requisitos didácticos y tecnológicos como, por ejemplo:

-el análisis previo del programa analítico de la asignatura que imparte el profesor adiestrado: Datos generales, objetivos generales, formas de enseñanza, conocimientos, habilidades y valores, sistema de evaluación, bibliografía en interacción con los del año académico en los que se desarrolla dicho programa.

-la utilización de las actividades de autoevaluación, estudio de casos, ejercicios, foro, lecciones de aprendizaje, wiki, talleres, cuestionarios, consultas, tareas y los recursos de aprendizaje (materiales didácticos, guías de estudio, video tutoriales, ayuda).

-la utilización de otros recursos tecnológicos en entornos virtuales de formación: dispositivos móviles: tabletas, teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, aplicaciones de inteligencia artificial.

**La modelación de actividades docentes, teniendo en cuenta su estructura didáctica en dichos ambientes.** Para esta modelación se tuvo en cuenta los elementos de las formas organizativas fundamentales del trabajo docente en la educación superior, según la resolución vigente en la Educación Superior cubana.
Los profesores noveles diseñaron la actividad docente mediante la planificación, ejecución y control de los componentes didácticos y las actividades de aprendizaje en correspondencia con el sistema de evaluación. Las que fueron argumentadas a partir de las características esenciales de la carrera de ciencias técnicas donde laboran, su plan de estudio y la disciplina a la cual pertenecen las asignaturas impartidas.

**Procedimiento pedagógico empleado para la superación en la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en los cursos propuestos.**

La experiencia pedagógica en la preparación didáctica, tiene su sustento teórico-metodológico en la concepción formativa del proceso de enseñanza-aprendizaje (3). Esencialmente parte del trabajo cooperado de educadores y estudiantes, la dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la facilitación de la dinámica grupal y la mediación para la orientación de las situaciones de aprendizaje que permita interiorizar las acciones y los conceptos trabajados en cada una de los encuentros. Así como el libre intercambio, de ideas y vivencias, de la comprensión empática, autenticidad, aceptación a la diversidad en las relaciones interpersonales y el descubrimiento conjunto de problemas y elaboración y ejecución de proyectos para su solución.

Se utilizaron el diseño de situaciones de aprendizaje que permitieron, modelar las actividades docentes de los profesores noveles y el montaje de sus asignaturas en la plataforma tele formación con la herramienta tecnológica Moodle.

En la misma medida en que los profesores noveles realizaban las tareas de aprendizaje de todos los cursos, se preparaban las asignaturas a montarse y a su vez sesionaba la superación didáctica a través de todos los cursos del diplomado en “Formación Básica para Profesores Universitarios Noveles”.

Se realizaron actividades tales como talleres, seminarios, conferencias y sobre todo trabajo independiente en la plataforma para lograr el dominio de las habilidades tecnológicas. Además, se empleó la misma plataforma tele formación y la herramienta tecnológica Moodle para la auto preparación de los contenidos a aprender por los profesores noveles.

Predominaron como métodos la elaboración conjunta, el trabajo independiente y en equipo, el debate, las discusiones y el análisis crítico de la práctica pedagógica en la universidad; así como el papel de las tecnologías educativa en los procesos sustantivos, del protagonismo de los estudiantes en la gestión y autogestión del conocimiento, y el deber ser de la Didáctica como ciencia bajo las condiciones socio-históricas actuales.

Se emplearon materiales didácticos y videos para la valoración del proceso de enseñanza-aprendizaje en diversas asignaturas impartidas en la propia universidad. Estos videos fueron tomados por los propios profesores noveles utilizando sus teléfonos inteligentes, los cuales fueron colocados en la plataforma para su posterior discusión.

**Principales resultados de la integración de las TIC, en los procesos de superación con profesores noveles en las carreras de ingeniería en el área de ciencias agropecuarias**

La experiencia pedagógica tuvo como escenario la Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, en el Centro de la Educación Superior Agropecuaria”, CEESA, con los profesores noveles de la propia universidad.

La superación ha constituido un proceso en el que paulatinamente se ha introducido la utilización de dispositivos móviles, recursos tecnológicos en entornos virtuales de formación; sitio web para potenciar el aprendizaje y la búsqueda y empleo de materiales didácticos y de autoaprendizaje.

Se ha perseguido como objetivo de la experiencia pedagógica: transformar la práctica pedagógica en la asignatura impartida por los profesores noveles de la universidad, a partir de la profesionalización y la esencialidad de los componentes didácticos, la incorporación de las TIC y el trabajo cooperado entre educadores y estudiantes.

Los participantes de esta experiencia son los veinticinco profesores noveles del curso académico del 2024, que participaron en la décima quinta edición del diplomado antes referido. Se contó con su participación en todos los encuentros realizados, de manera que se pudo recoger datos cualitativos y cuantitativos de los resultados obtenidos por ellos.

La experiencia pedagógica se sustenta en una metodología con un enfoque mixto, en el que se utilizaron métodos a nivel teórico y empírico, que permitieron: apropiarse de conceptos, procederes metodológicos y formas de hacer tanto en la plataforma como en el contexto presencial.

Entre los métodos utilizados se encuentran: modelación, revisión documental, análisis de los resultados de la actividad, observación, entre otros. Se realizaron instrumentos que permitieron la recogida de lo información: guía de observación, guía para la revisión documental y el análisis de los resultados de la actividad realizada.

Ejemplo de ello, se utilizó en al análisis de sus planes de clases, donde contenía la modelación de la actividad docente, la observación a la actividad realizada en el aula y en la plataforma como entorno virtual de aprendizaje, así como la información recogida en la aplicación de las técnicas de dinámica grupal empleada en las sesiones de trabajo.

Se consideró al grupo de profesores como un todo, se tuvo en cuenta la experiencia didáctica acumulada, los avances y retrocesos en la transformación de su práctica pedagógica, la participación en cada una de los encuentros realizados por los profesores, así como las ayudas solicitadas por los profesores adiestrados para dicha transformación.

El análisis metodológico realizado para caracterizar los resultados obtenidos en la experiencia pedagógica se tuvo en cuenta tres elementos esenciales: análisis de contenido, análisis de los instrumentos, y la triangulación de los métodos empleados.

Para el análisis de contenido se retomaron las características esenciales declaradas en esta ponencia: la profesionalización y esencialidad de los componentes didácticos en la asignatura, el montaje de la asignatura en la plataforma de tele formación con la herramienta tecnológica (Moodle), y la modelación de actividades docentes, teniendo en cuenta su estructura didáctica en dichos ambientes.

Los principales resultados obtenidos, demuestran que la experiencia pedagógica fue satisfactoria y pertinente a la luz de la preparación didáctica en ambientes con alta presencia de las TIC. Se resaltan los resultados siguientes:

De los catorce profesores adiestrados solo 1 no logró el avance en ninguno de las tres características esenciales antes mencionada. En sentido general el 92% de los profesores adiestrados logra transformar su práctica pedagógica.

Concretamente se analizaron las siguientes dimensiones, indicadores, con sus correspondientes parametrizaciones, las cuales permitieron realizar un análisis cuantitativo y cualitativo, lo que se aprecia en la tabla 1.

**Tabla. 1. Dimensiones e indicadores. Criterios utilizados para el análisis de los resultados obtenidos**

| **Dimensiones** | **Sub-dimensiones** | **indicadores** | **No logrado** | **Parcialmente logrado** | **Logrado** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Exigencias del modelo del profesional** | **Profesionalización del PEA** | Correspondencia de los objetivos con el modelo del | No se corresponde los objetivos con el modelo | En ocasiones se corresponden los objetivos | Correspondencia de los objetivos con el modelo del |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | profesional | del profesional | con el modelo del profesional | profesional |
| | | Esencialidad del contenido | No existe esencialidad del contenido | En ocasiones se manifiesta la esencialidad de los contenidos | Existe esencialidad del contenido |
| | | Realización de tareas que acerquen al modo de actuación profesional | La realización de las tareas no se acercan al modo de actuación profesional | La realización de las tareas en ocasiones se acercan al modo de actuación profesional | La realización de las de tareas se acercan al modo de actuación profesional |
| | **3.2. Integración de lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista** | Interrelación entre los componentes didácticos de las asignaturas y los de la práctica laboral investigativa | No existe interrelación entre los componentes didácticos de las asignaturas y los de la práctica laboral investigativa | Ocasionalmente se interrelacionan los componentes didácticos de las asignaturas y los de la práctica laboral investigativa | Existe interrelación entre los componentes de la didácticos de las asignaturas y los de la práctica laboral investigativa |
| | | Interrelación sistémica entre las disciplinas | No existe interrelaciones sistémica entre las disciplinas | Ocasionalmente se interrelacionan sistémicamente las disciplinas | Existe interrelaciones sistémica entre las disciplinas |
| | | Solución de los problemas de la comunidad, mediante la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación | No se solucionan los problemas de la comunidad, mediante la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación | Ocasionalmente se solucionan los problemas de la comunidad, mediante la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación | Se solucionan los problemas de la comunidad, mediante la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación |
| | **Transformación de la realidad social, profesional y personal** | Diseño de proyectos dirigidos a la transformación del ambiente físico y social comunitario | No Se diseñan proyectos dirigidos a la transformación del ambiente físico y social comunitario | Ocasionalmente se diseñan proyectos dirigidos a la transformación del ambiente físico y social comunitario | Se diseñan proyectos dirigidos a la transformación del ambiente físico y social comunitario |
| | | Ejecución de los proyectos de transformación diseñados | No se ejecutan de los proyectos de transformación diseñados | Ocasionalmente se ejecutan los proyectos de transformación diseñados | Se ejecutan los proyectos de transformación diseñados |
| | | Evaluación de los proyectos | No se evalúan de los | De manera ocasional se | Se evalúan los proyectos |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ejecutados | proyectos ejecutados | evalúan de los proyectos ejecutados | ejecutados |
| **Integración de las tecnologías digitales al proceso de enseñanza-aprendizaje** | **Articulación de las tecnologías digitales con las tareas de aprendizaje** | Contextualización de las tecnologías digitales a las exigencias de las tareas de aprendizaje | No se contextualizan las tecnologías digitales a las exigencias de la tareas de aprendizaje | Ocasionalmente se contextualiza las tecnologías digitales a las exigencias de las tareas de aprendizaje | Se Contextualiza las tecnologías digitales a las exigencias de las tareas de aprendizaje |
| | | Interrelación sistemática de las tecnologías con las tareas de aprendizaje | No existe una interrelación sistemática de las tecnologías con las tareas de aprendizaje | Ocasionalmente se interrelacionan sistemáticamente las tecnologías con las tareas de aprendizaje | Existe una interrelación sistemática de las tecnologías con las tareas de aprendizaje |
| | | Interrelación Conscientemente intencionada de las tecnologías digitales con los componentes didácticos del PEA. | No existe una Interrelación Conscientemente intencionada de las tecnologías digitales con los componentes didácticos del PEA. | ocasionalmente se Interrelacionan Conscientemente y de manera intencionada las tecnologías digitales con los componentes didácticos del PEA. | Existe una Interrelación Conscientemente e intencionada de las tecnologías digitales con los componentes didácticos del PEA. |
| | **Mediación de las tecnologías digitales en las interacciones entre educadores y estudiantes** | Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades académicas | No existe una Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades académicas | Ocasionalmente se Interacciona mediante los recursos digitales durante las actividades académicas | Se interacciona mediante los recursos digitales durante las actividades académicas |
| | | Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante la práctica laboral-investigativa | No existe una interacción entre educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante la práctica laboral-investigativa | Ocasionalmente Interaccionan educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante la práctica laboral-investigativa | interacciona n educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante la práctica laboral-investigativa |
| | | Interacción de | No | casionalmente | Interaccionan |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades de extensión universitaria | Interaccionan educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades de extensión universitaria | Interaccionan educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades de extensión universitaria | educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades de extensión universitaria |
| | **Aprovechamiento de la infraestructura existente** | Accesibilidad a los recursos | No se tiene accesibilidad a los | Ocasionalmente se accede a los | Se tiene Accesibilidad a los |
| | | Inmediatez en el acceso | No se tiene Inmediatez en el acceso | Ocasionalmente se utiliza con Inmediatamente el acceso | Se utiliza con Inmediatez el acceso |
| | | Adaptabilidad a los recursos disponibles | No se adaptan los recursos disponibles | Ocasionalmente se adaptan los recursos disponibles | Se adaptan los recursos disponibles |

Fuente: elaboración propia

Un análisis cualitativo del comportamiento de las características esenciales asumidas para esta experiencia indica que en la primera característica lo referido a la profesionalización y esencialidad de los componentes didácticos: objetivo, contenido y evaluación, fueron los que más dificultades tuvieron.

Con respecto al componente didáctico objetivo las dificultades radican en su elaboración general a partir de sus componentes y estructura, en la identificación de la habilidad y la intencionalidad formativa al no comprender su función en el desarrollo integral de los estudiantes. En el componente didáctico contenido la dificultad mayor radica en la no determinación de la esencialidad de los contenidos profesionales a aprender. En el componente didáctico evaluación, no son capaces de tenerla en cuenta sistemáticamente, ni en carácter de sistema en interrelación con los demás componentes didácticos.

A pesar de estas dificultades el 92% de los profesores lograron la modelación y el montaje de la asignatura en la plataforma tele formación con la herramienta tecnológica Moodle, con resultados satisfactorios.

Los recursos de aprendizaje de la herramienta tecnológica Moodle, más empleados por los profesores son el foro, la wiki y las actividades de aprendizaje que los profesores diseñan para su posterior socialización en el ambiente digital. Se evidencia su empleo en actividades docentes como talleres, conferencias y en menor medida clases prácticas.

Finalmente, para lograr mayores resultados se necesita del apoyo de los profesores tutores en su continua y permanente superación, así como el acompañamiento docente continuado en cada uno de sus departamentos, desde las visitas a clases hasta las discusiones de estas para proponer mejoras en su ejecución.

Un análisis general por dimensiones nos indica la necesidad de continuar profundizando en algunas de ellas al expresarse como se muestra en la figura 1.

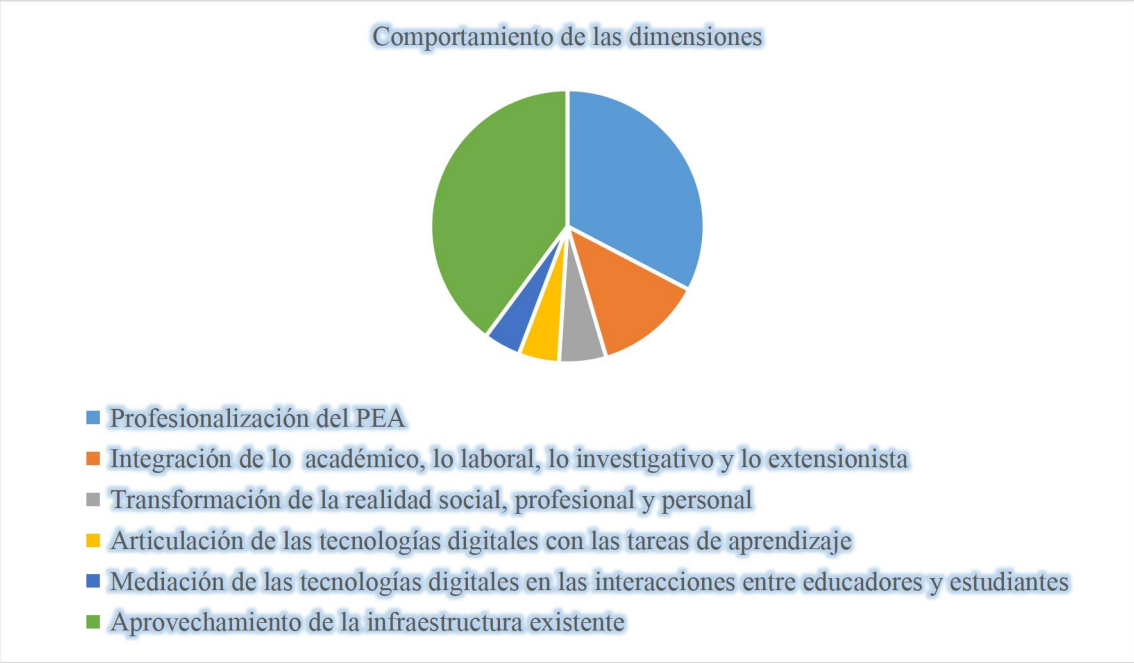



Figura 1. Comportamiento de las dimensiones

## 3. CONCLUSIONES

La superación pedagógica y didáctica con la integración de las TIC con profesores noveles de la UNAH, precisa del dominio la profesionalización y esencialidad de los componentes didácticos, de la modelación de actividades docentes y su montaje en la plataforma tele formación. A pesar de las dificultades encontradas, estos profesores fueron capaces de alcanzarla, evidenciando las potencialidades de la integración de las TIC a sus asignaturas mediante la plataforma tele formación con la herramienta tecnológica Moodle.

El trabajo investigativo, logró que se transformara la práctica de esos profesores al influenciar en su modo de actuación, específicamente en la función docente-educativa. Se resaltan los resultados satisfactorios alcanzados en la preparación didáctica aun cuando no tienen una base didáctico-metodológica para ejercer dicha función.

El proceso de superación antes llevado revela la necesidad de la continuidad y acompañamiento de los profesores noveles en el departamento docente, en la carrera y en el colectivo de año, en función de perfeccionar el trabajo realizado y el logro del cambio de categorías hacia niveles superiores.

## REFERENCIAS

1. CABRERA J. F.; GÉ CHANFÓN J., y LORENZO O., “Las herramientas tecnológicas integradas en el proceso de enseñanza-aprendizaje”. En “Ed” Félix Varela. (2009). *Preparación pedagógica para profesores de la nueva universidad cubana* (pp. 51-84). La Habana.

2. SANTOS, J. y ORDOÑES I. *Modelos para el diseño de cursos en línea. Enfoques desde lo pedagógico y desde lo tecnológico de los entornos virtuales de formación.* (2018). Centro de Referencia para la Educación de Avanzada, CREA. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae.

3. BERMÚDEZ, R. y otros. *Perfeccionamiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas con bajos resultados académicos en las carreras de ciencias técnicas de la Educación Superior*. (2017). Centro de Referencia para la Educación de Avanzada, CREA. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae.

**SOBRE LOS AUTORES**

Misleidy Arzuaga Ramírez.. Dr.C. Pedagógicas. Centro de estudios de la Educación Superior Agropecuaria. Universidad Agraria de La Habana.

Carlos Rafael Fernández Medina
Dr. C. en Educación. Centro de estudio de la Educación Superior Agropecuaria. Universidad Agraria de La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# REALIDAD VIRTUAL EN LA EDUCACIÓN: MEJORA DEL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE EXPERIENCIAS INMERSIVAS

**Tatiana Rigal Permuy[1],**

[1] Empresa de Ciencia y Tecnología Simuladores,
e-mail: trigal54@gmail.com

**RESUMEN**

Las tecnologías de realidad virtual tienen un gran potencial en la educación, sin embargo, su implementación efectiva requiere un diseño pedagógico adecuado y de la formación de los docentes para su empleo. **Objetivo**, presentar los resultados de las investigaciones realizadas a partir de la implementación de un modelo de gestión de entornos de formación con el empleo de las tecnologías de realidad virtual. **Métodos,** se utilizaron el análisis de documentos, el estudio de casos en universidades y entidades docentes que han implementado estas tecnologías en sus procesos de formación y capacitación, la modelación, el análisis estadístico-matemático y la matriz de pronóstico Chanlat**. Resultado**, se obtiene un conocimiento contextual y profundo sobre el empleo de estas tecnologías en los procesos de formación. Conclusión, el empleo de las tecnologías de realidad virtual tiene un impacto significativo y presenta un gran potencial para mejorar las experiencias de aprendizaje, fomentar la participación de los alumnos y promover un aprendizaje más activo y personalizado.

**PALABRAS CLAVE,** Diseño didáctico de la interacción; Entornos inmersivos; Entornos virtuales; Realidad virtual.

## VIRTUAL REALITY IN EDUCATION: IMPROVING LEARNING THROUGH IMMERSIVE EXPERIENCES

**ABSTRACT**

Virtual reality technologies have great potential. However, their effective implementation requires adequate instructional design and teacher training for their use. The objective is to present the results of the research carried out from the implementation of a management model for training environments with the use of virtual reality technologies. Methods: document analysis, case studies in universities and entities that have implemented these technologies, modeling, statistical-mathematical analysis and forecast matrices Chanlat were used. As a result, contextual and in-depth knowledge is obtained about the use of these technologies in training processes. Conclusion, the use of virtual reality technologies has a significant impact and presents great potential to improve learning experiences, encourage student participation and promote more active and personalized learning.

**KEYWORDS,** Didactic interaction design; Immersive environments; Virtual environments; Virtual reality.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Las tecnologías de realidad virtual están cambiando la forma en que interactuamos y concebimos la realidad. El estudio de estas tecnologías es esencial para comprender su impacto en los procesos formativos y aprovechar su potencial para impulsar el aprendizaje y el conocimiento [1].

Entre las particularidades de las tecnologías de realidad virtual [2] se revelan en la bibliografía sus posibilidades interactivas, especialmente en un enfoque inmersivo relacionado con imágenes y sonido en 3D, pero también con la posibilidad de abarcar otros sentidos y canales perceptivos humanos. Las posibilidades de crear lenguajes innovadores (utilizando enfoques expresivos y comunicativos) basados en toda la gama de percepción humana son casi ilimitadas y dependen del desarrollo tecnológico.

Las tecnologías de realidad virtual desvanecen las divisiones hasta ahora definidas entre las actividades o ámbitos de la vida que tradicionalmente hemos visualizado como separadas. Conceptualmente los

términos aprendizaje/entretenimiento, acceso/creación de información, público/privado, se desdibujan. Se desafían la dinámica tradicional de los centros educativos y los periodos de tiempo que asignamos a las clases desde la presencialidad, manejada en la enseñanza tradicional como fuente principal de aprendizaje. Los actores del proceso educativo ahora tienen acceso a una amplia variedad de recursos de aprendizaje. Los alumnos pueden participar en experiencias de aprendizaje individualizadas, basadas en sus habilidades, conocimientos, intereses y objetivos. También pueden colaborar en grupos de aprendizaje para alcanzar metas comunes y enfrentar desafíos relevantes para el mundo laboral actual y futuro.

Un análisis preliminar de la bibliografía relacionada con el tema (Boude, O. 2022; Area, M., y Adell, J. 2021; Cabero Almenara, J., Valencia-Ortiz, R. y Llorente-Cejudo, C. 2022; UIT. 2022) revela que, con la introducción de las tecnologías de realidad virtual a los procesos formativos, existe la necesidad de nuevas concepciones sobre la gestión de los entornos virtuales de formación, en el que se acentúa la implicación activa del alumno en el proceso de aprendizaje; la atención individual y diferenciada de las destrezas emocionales e intelectuales a distintos niveles; la preparación para asumir responsabilidades en un mundo en rápido y constante cambio.

Los resultados iniciales de los estudios de casos en universidades y entidades que han implementado estas tecnologías, revelan que: La falta de una gestión adecuada de los entornos virtuales de formación puede dificultar la integración de estas tecnologías en la educación, lo que puede llevar a una brecha en la calidad de la educación.

La falta de capacitación y formación adecuada en el uso de tecnologías de realidad virtual para la educación, tanto por parte de los docentes como de los alumnos, puede limitar la efectividad de la implementación de estas tecnologías en los procesos formativos. Así se encontró, en el estudio de casos, que uno de los factores determinantes es la falta de competencias asociadas al: saber cómo se manejan las tecnologías de realidad virtual; saber cómo integrarlas de forma pedagógica y didácticamente, de una manera creativa e innovadora; saber cómo realizar planeaciones orientadas al uso de las tecnologías y al no saber las nuevas tendencias que existen para su incorporación.

Algunos docentes se resisten a adoptar nuevas metodologías basadas en tecnologías de realidad virtual, lo que puede obstaculizar su integración efectiva en el proceso educativo. Un factor que influye de forma determinante es la utilidad percibida por ellos en diversos procesos como: los de enseñanza donde las tecnologías permiten "sistematizar contenidos", "seguimiento de las clases", "generar una mayor dinámica en la enseñanza", "permite mayor ampliación de las temáticas", se "optimizan diversas estrategias de enseñanza", una mejor retroalimentación a los procesos y los de aprendizaje donde se mejoran las competencias mediante la utilización de las tecnologías de realidad virtual.

La dependencia únicamente de las tecnologías para el aprendizaje, incide en que los alumnos pierdan habilidades básicas de aprendizaje y adaptabilidad.

Es crucial asegurar que la implementación de tecnologías de realidad virtual no comprometa la calidad educativa, ya que su uso inadecuado podría afectar negativamente la experiencia de aprendizaje [3].

Otro aspecto a considerar está relacionado con que las tecnologías de realidad virtual pueden ser una fuente de distracción para los alumnos y limitar su capacidad para concentrarse en el aprendizaje.

Es fundamental que las tecnologías de realidad virtual se integren con un enfoque pedagógico sólido, orientado a mejorar la calidad educativa y no solo a su implementación técnica. Para mitigar estos efectos negativos, es importante que los docentes y alumnos adquieran habilidades y conocimientos específicos para el uso responsable de las tecnologías de realidad virtual en el aprendizaje. Esto incluye la formación continua para docentes, la promoción de habilidades metacognitivas y la creación de ambientes de aprendizaje que fomenten la colaboración y la interacción entre los miembros de la comunidad educativa.

De ahí que, los objetivos de la investigación están orientados a demostrar que los aprendizajes obtenidos con el uso de estas herramientas son significativos y dan las bases para que los alumnos puedan tener las competencias prácticas y desarrollarse en el ámbito laboral, a partir de la implementación de un modelo de gestión de entornos de formación con el empleo de las tecnologías de realidad virtual.

## 2. DESARROLLO

### Materiales y métodos.

La metodología que se aplicó para el desarrollo de esta investigación tiene un enfoque mixto [4]. La investigación se desarrolla mediante un trabajo de campo, se realiza el estudio de casos [5], en las

universidades y entidades que han implementado tecnologías de realidad virtual y tienen vínculos de trabajo con la Empresa de Ciencia y Tecnología Simuladores.

La población de estudio de la presente investigación es una población accesible o finita, según lo menciona [6], quien se refiere a la población muestreada como aquella a la que se puede acceder en su totalidad, por lo tanto, no reviste extraer una muestra. En tal sentido los sujetos que representan la población muestreada son 15 instructores/profesores y alumnos de las entidades seleccionadas.

Para la recolección de información se emplea una encuesta a los profesores y alumnos, se utiliza como instrumento el cuestionario. Con el fin de hacer un empleo adecuado del cuestionario, el mismo se someterá a pruebas de validez y confiabilidad, a través del procedimiento "juicio de expertos", como lo señala [7]

["la confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto, produce iguales resultados"].

Para ello, se contó con la participación de tres (03) expertos, profesionales universitarios con amplia experiencia en el área de metodología de la investigación y la tecnología educativa.

La investigación se enfoca en las tecnologías de realidad virtual y se explora orientado a identificar cómo estas transforman el panorama educativo. Además, se profundiza en los modelos educativos subyacentes en las nuevas modalidades de formación en entornos de formación, lo que posibilita una comprensión más completa de los retos y las oportunidades que nos deparan.

Se utilizan los métodos estadístico-matemático, matrices de pronóstico (Chanlat), para corroborar la efectividad esperada, a través del criterio de 15 especialistas.

La implementación del modelo que se propone fue dirigida por el mismo instructor y el operador de la tecnología virtual dada, estos se encargaron de programar las sesiones de entrenamiento, según programa analítico aprobado para la preparación del personal de la muestra y de recoger los datos. El volumen medio de entrenamiento semanal en el simulador (con tecnología virtual) fue solo de 16,6 ± 2,5 horas y el resto de las horas, de un total de 44 horas semanales, cada grupo transitó por el aula tecnológica de teoría y por el hemiciclo del simulador.

Los datos se recogieron durante un periodo de entrenamiento de tres meses, interrumpido por un descanso de dos semanas y que comenzó un mes después de reanudar el entrenamiento para una nueva sección de entrenamiento en los simuladores con tecnología de realidad virtual.

**Resultados y discusión.**

Se utiliza la Matriz de Chanlat, con el objetivo de obtener valoraciones que aporten juicios pronósticos sobre la efectividad esperada en relación con la implementación del modelo de gestión de los entornos de formación con el empleo de las tecnologías de realidad virtual para contribuir a la formación profesional de los alumnos.

A estos especialistas se les solicitó que analizaran los componentes del modelo de gestión de los entornos de formación y se les solicitó que analizaran las variables siguientes: impacto, funcionalidad y solidez de la estructura (tabla 1), y los correspondientes indicadores sobre la base de una escala valorativa de los indicadores de las dimensiones como sigue: Excelente (10); Muy bueno (9); Bueno (8); Regular (7); Insuficiente (6).

**Tabla 1.** Resultado de la ponderación de las variables e indicadores sometidos a consideración de los expertos.

| 1 | Variable Impacto (I) | Media |
|---|---|---|
| | Contribuye a mejorar la eficacia del PDE en el entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9,3 |

| | | |
|---|---|---|
| **Indicadores** | Contribuye a mejorar la eficiencia del PDE en el entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9,3 |
| | Asequibilidad en la implementación del modelo de gestión del entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9,6 |
| | Orientación a la mejora continua del PDE en el entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9,5 |
| | Nivel de aporte a la gestión del entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9,3 |
| | **Promedio de la variable impacto** | **9,5** |
| **2** | **Variable Funcionalidad (F)** | |
| **Indicadores** | Adaptabilidad de la estructura del modelo a las necesidades de formación en el entorno virtual | 9,6 |
| | Apoya en la organización de las actividades docentes en el entorno virtual de formación que integra las tecnologias de realidad virtual | 9,6 |
| | Fortalece y promueve el trabajo colaborativo y en equipo en el entorno virtual de formación que integra tecnologias de realidad virtual | 9 |
| | Condiciona el aprovechamiento de las potencialidades de las tecnologías | 9 |
| | Posibilita el despliegue de la creatividad en el empleo de las tecnologías de realidad virtual por los profesores y alumnos | 9,6 |
| | **Promedio de la variable funcionalidad** | **9,3** |
| **3** | **Variable Solidez (S)** | |
| **Indicadores** | Se definen las funciones de cada elemento de la estructura del modelo | 9,6 |
| | La agrupación en dimensiones de las acciones contribuye a su comprensión | 9,3 |
| | Están definidas las relaciones entre los componentes del modelo y su dinámica | 10 |
| | Se establecen las responsabilidades de los actores en cada una de las acciones prevists en el modelo | 9 |
| | Garantiza la retroalimentación y el reajuste del resultado | 10 |
| | **Promedio de la variable solidez** | **9,5** |

El criterio evaluativo de las dimensiones de la Matriz de Chanlat se valora como sigue: PD > 8 (Se cumple); 6 ≤ PD ≤ 8 (Precisa modificaciones); PD < 6 (No se cumple); PD (Promedio de la dimensión).
En tanto el criterio evaluativo del promedio general (PG) de la matriz se considera así: PG ≥ 8 (Tiene validez) y cuando PG < 8 (No tiene validez).
Para el cálculo de las ponderaciones promedios se aplicó la siguiente fórmula con la finalidad de determinar la efectividad esperada:

$$E.E = \frac{I \times F \times O}{100} = \frac{9{,}5 \times 9{,}3 \times 9{,}5}{100} \qquad (1)$$

Como se muestra en (1): E.E - Efectividad Esperada, I – Impacto, F – Funcionalidad, O - Oportunidad
Se considera que si EE: es mayor de 8, es fuerte; cuando está entre 6 y 8, es media; cuando es menor que 6, es débil.
El resultado obtenido de la aplicación de la matriz proporcionó una valoración pronostica de 8,4 valores en el rango considerado para una efectividad esperada fuerte.
Los grupos que participaron en la investigación fueron dirigidos por el mismo instructor y operador, que se encargaron de programar las sesiones de entrenamiento y de recoger los datos durante los momentos de evaluación, como se representa en la figura 1 a continuación.
Los datos del entrenamiento con la tecnología de realidad virtual, de cada uno de los grupos participantes, se recogieron durante un periodo de entrenamiento de tres meses, interrumpido por un descanso de dos semanas y que recomenzó un mes después de reanudar el entrenamiento para una nueva sección de entrenamiento. El presente estudio longitudinal utilizó los datos recogidos sin provocar cambios en el programa de entrenamiento.

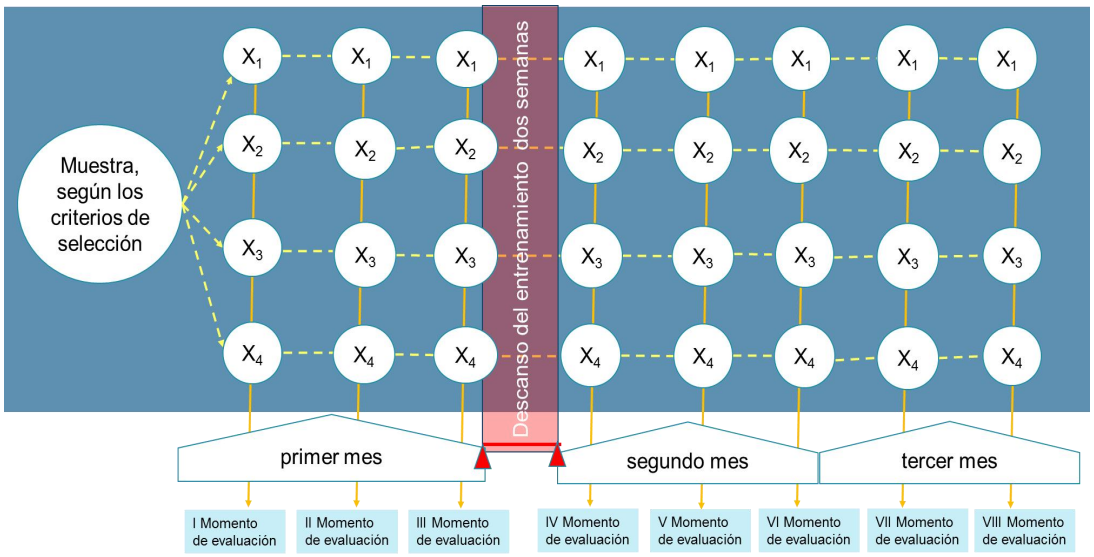



Figura 1: Representación del diseño de las secciones de entrenamiento y los momentos de evaluaciones en el tiempo.

En el estudio solo se utilizó la variante de entrenamiento individual, en los tres niveles de complejidad de la tecnología que se describe a continuación; las secciones de entrenamiento se realizan con cada grupo, alumno por alumno.

- Complejidad baja: se basa en tecnologías de realidad virtual con modelos sencillos que permiten entrenar habilidades básicas aisladas.
- Complejidad intermedia: se basa en tecnologías de realidad virtual con modelos sencillos que permiten entrenar habilidades que ya requieren un nivel de integración entre sí.
- Complejidad alta: se basa en el empleo de tecnologías de realidad virtual de alta interactividad, es decir, que simulan la realidad con elevado nivel de realismo, ofrecen información y requieren respuestas activas del alumno; permiten entrenar habilidades psicomotoras difíciles de adquirir.

En todos los casos se estudiaron cuatro variables con empleo de tecnologías de diferentes niveles de complejidad para la formación de habilidades profesionales.

Como resultado de la implementación del modelo, se obtuvieron mejores resultados en las curvas de aprendizajes individuales y grupales, comparados con las curvas de aprendizaje obtenidas en el aprendizaje de las habilidades sin el empleo de las tecnologías de realidad virtual.

La inclinación de las curvas obtenidas varía en función de los individuos y procedimientos que se entrenan con el empleo de las tecnologías de realidad virtual.

Se confirmó que alumnos sin experiencia profesional son capaces de aprender procedimientos y técnicas básicas de la actividad dada. El análisis de la curva de puntuación total puso de manifiesto que con las repeticiones de los ejercicios se realizaron en menos tiempo las acciones y operaciones previstas para el entrenamiento y se cometieron menos errores. Al analizar las variables por separado objetivamos la mejoría significativa del tiempo total en todos los ejercicios, pero se cometieron errores significativos en los primeros ejercicios. Esto podría justificarse porque los sujetos se concentraron inicialmente en mejorar el tiempo de ejecución más que en el número de errores durante la realización de los ejercicios. La experiencia previa acumulada por los alumnos podría permitirles reducir no solo el tiempo, sino también el número de errores en la ejecución de los ejercicios de manera significativa.

En la figura dos, a continuación, se muestran las curvas de aprendizaje en el entrenamiento acumuladas, de un alumno representativo. Los puntos representan los valores sistemáticos de la carga de entrenamiento acumulada y las líneas verticales sólidas indican la ocurrencia de las sesiones de entrenamiento, estas secciones de entrenamiento son en cada uno de los componentes estructurales del simulador de realidad virtual, dígase aula de teoría, hemiciclo y simulador. En el eje de las x, se representa el tiempo de entrenamiento total y en el eje de las y, se representan los valores de evaluación.

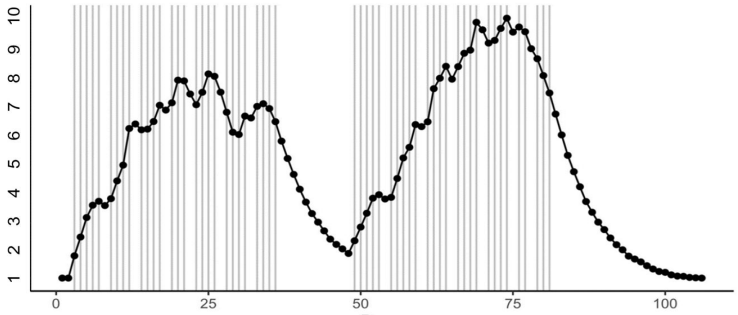



Figura 2: Curvas de aprendizaje de un alumno representativo en el entrenamiento de la variable $X_1$.

De forma general los resultados indicaron que las tecnologías de realidad virtual tienen un alto potencial, de impacto positivo en la formación profesional de los alumnos.
De acuerdo con los resultados obtenidos en la aplicación del instrumento, los estudiantes obtienen mejores resultados con el uso de simuladores de realidad virtual, por tanto, es viable la aplicación del uso de estas tecnologías; el 73% de los especialistas considera es una herramienta de apoyo fundamental en la formación profesional de los alumnos y en sus aprendizajes.
Se revela que las tecnologías de realidad virtual tienen el potencial de transformar significativamente la forma en que se gestionan los entornos de formación. Pueden mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, fomentar la participación activa y facilitar la personalización del contenido educativo.

## 3. CONCLUSIONES

El modelo propuesto proporciona pautas para la implementación efectiva y la optimización de estas herramientas tecnológicas en el entorno educativo, orientado a la obtención de un impacto positivo en la formación profesional de los alumnos.
Se realizó un cálculo de pronóstico para evaluar la validez del resultado científico obtenido en la investigación.
En general, la investigación realizada destaca la importancia de las tecnologías de realidad virtual en la educación y proporciona un marco de referencia para generalizar su implementación efectiva. Este artículo contribuye al conocimiento existente sobre la mejora de la gestión de los entornos de formación con la introducción de tecnologías de realidad virtual y ofrece perspectivas sobre los retos y oportunidades asociados.

## REFERENCIAS

1. **AREA, M., Y ADELL, J.** Tecnologías Digitales y Cambio Educativo. Una Aproximación Crítica. REICE. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educación, 2021. 19(4). https://doi.org/10.15366/reice2021.19.4.005
2. **MARCHISIO, S.** Tecnología, educación y nuevos "ambientes de aprendizajes". Una revisión del campo y derivaciones para la capacitación docente**,** 2023. RUEDA 5, 10-19.
3. **NAGUSI INTELLIGENCE CENTER – BEHATOKIA.** Informe Monográfico ¿Cómo mejorar la usabilidad de las tecnologías digitales para las personas mayores? 2022, Antares Consultado en: SL Pl. d'Urquinaona, 6, Planta 10 Oficina A 08010 Barcelona info@antares-consulting.com
4. **HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., Y BAPTISTA, P.** Metodología de la investigación (10a. ed.). 2010. México: McGraw-Hill Interamericana. (p. 243).
5. **JIMENEZ CHAVES**, **VIVIANA ELIZABETH**. El estudio de caso y su implementación en la investigación. Rev. Int. Investig. Cienc. Soc. [online]. 2012, vol.8, n.1 [cited 2024-10-05], pp.141-150. Consultado en: <http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2226-40002012000100009&lng=en&nrm=iso>. ISSN 2226-4000.
6. **FIDIAS G. ARIAS**. "El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición". 2012, Editorial Episteme, pp. 13 - 20.
7. **HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ Y BAPTISTA.** Metodología de la investigación. México, D.F. McGraw-Hill, 2010. Edición: 5a ed.

**Sobre la autora:**

Se desempeña como investigador en la Dirección de Investigaciones Pedagógicas, Empresa de Ciencia y Tecnología Simuladores, Ingeniero Radioelectrónico. Dr. C., Profesor e Investigador Titular, orcid.org/0000-0001-7149-9759/. Miembro del claustro de profesores de la Maestría en Dirección del Proceso Docente Educativo y del Programa de Doctorado de Dirección del ITM “José Martí”.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# METODOLOGÍA INTEGRADORA DE LAS TIC AL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DEL JUDO EN LA CUJAE

**Maikel Barrera Balbuena** [1], **Pablo Poso Xique** [2]

[1] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, La Habana, Cuba, mbalbuena@tesla.cujae.edu.cu [2] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, La Habana,Cuba, pablopoxo264@email.com

**RESUMEN**

En el presente trabajo se expresa el resultado de un largo proceso de investigación sobre bases teórico-conceptuales y metodológicas a través del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el proceso de enseñanza –aprendizaje (PEA) aplicadas a la disciplina judo enmarcada en la Educación Física de la enseñanza superior. El objetivo del trabajo es Diseñar una metodología integradora que utilice las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) en el proceso de Enseñanza- aprendizaje, del Judo en los estudiantes de la Cujae. Se emplearon varios métodos de investigación de carácter prácticos aplicados con un enfoque dialéctico–materialista, para valorar el estado actual insuficiente de la utilización de las TIC en el ámbito deportivo en la Cujae. Además, se diseña un espacio llamado Portal Educativo Judo Cujae que permitirá un mejor aprendizaje desarrollador tanto a docentes como a estudiantes que practiquen esta disciplina deportiva en el centro.

**PALABRAS CLAVE** Metodología integradora, TIC, Proceso Enseñanza-Aprendizaje del Judo.

## METHODOLOGY INTEGRATING ICT INTO THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF JUDO AT CUJAE

**ABSTRACT**

This work expresses the result of a long research process on theoretical-conceptual and methodological bases through the use of information and communications technologies in the teaching-learning process (PEA) applied to the judo discipline framed in Physical Education of higher education. The objective of the work is to design an integrative methodology that uses information and communications technologies (ICT) in the teaching-learning process of Judo in Cujae students. Several practical research methods were used, applied with a dialectical-materialist approach, to assess the current insufficient state of the use of ICT in the sports field in Cujae. In addition, a space called Judo Cujae Educational Portal is designed that will allow better developmental learning for both teachers and students who practice this sports discipline at the center.

**KEY WORDS** Integrative methodology, ICT, Judo Teaching-Learning Process

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología solamente es posible gracias al perfeccionamiento de la ciencia. No es posible separar el estudio de la tecnología del estudio de la ciencia. La tecnología está en todos los segmentos de la sociedad moderna y en el deporte no podría ser diferente. Por tanto, la globalización, inherente al propio desarrollo científico-técnico atañe a las actividades físicas y el deporte en su aspecto positivo (la globalización del desarrollo) y el negativo (desarrollo desigual, en virtud de la hegemónica unipolaridad capitalista actual del mundo). Es por eso que progresivamente las raíces históricas de cada país, el legado cultural de los reconocidos profesionales que establecieron las bases del área y la gran influencia de las tradicionales escuelas de gimnasia, de deportes, o de Educación Física (EF), son reemplazadas por un discurso educativo mundial que involucra la informatización de los procesos, sobre todo de los educativos. Según Jover, en los tiempos actuales la Revolución Científico Técnica, abarca todas las esferas de la vida social, nada está excluído de las influencias de las tecnologías[1].

La tecnología en el deporte es el conjunto de conocimientos que permiten junto con las técnicas especializadas, solucionar problemas relativos a la de los Educadores Físicos, profesores de Educación o de Cultura Física alumnos y deportistas, que trabajan con la prescripción y control de las actividades físicas. Tecnología que tendrá como misión crear una Nueva Cultura de la Educación Física y el Deporte, y sin duda, las nuevas tecnologías de la información constituyen un punto clave del desarrollo estratégico. [2]. Lo anteriormente expuesto aplicado al caso particular del PEA del Judo como expresión de la Disciplina Educación Física permite compartir el criterio de Contreras, cuando afirma que "(…) el proceso enseñanza-aprendizaje es simultáneamente un fenómeno que se vive y se crea desde dentro, esto *es, procesos de interacción e intercambio regidos por determinadas intenciones." [3].*
La entrevista a un grupo de expertos en la materia junto con la observación a los alumnos durante las clases de judo utilizando las TIC.

La Educación Física, debe de aprovechar las TIC para lograr ambientes enriquecidos de aprendizaje y hacer más atractiva su enseñanza. Para ello, dichas herramientas deben favorecer el cambio metodológico que coloque nuevamente a los alumnos como protagonistas en la gestión de su conocimiento en el centro de atención y le devuelva el rol protagonista que le ha sido usurpado por prácticas pedagógicas arcaicas (fundamentadas en la rigidez de los contenidos, el monólogo docente o el injustificado protagonismo del libro de texto). [4].

Por otra parte, la Educación Física con ser una materia práctica no debe obviar en ningún momento que tiene una fundamentación teórica y en este sentido las nuevas tecnologías pueden ser un excelente recurso de apoyo, sirviendo estas para la observación de detalles técnicos en los movimientos realizados en clases. Hay coincidencia con Sáenz-López, en que "La Educación Física se aprende practicando (…) nada sustituye a la práctica, pero es necesaria la justificación del movimiento, que nuestro alumnado conozca la fundamentación de lo que hace" [5]. Refuerza esta idea Claudio Ariel, cuando menciona que el uso de las TIC en la formación de los docentes en general, y de la educación física en particular, debe garantizar la satisfacción de las nuevas necesidades sociales y educativas de esta sociedad del conocimiento. Es importante la utilización de las TIC para: -crear contextos de aprendizaje, al momento y lugar en el que se desarrolle, y al grupo de estudiantes. [6].

La relevancia de las Tecnologías de la Información y la Comunicaciones (TIC) en nuestra sociedad y de su influencia cultural, surge la necesidad de aproximar las nuevas tecnologías al sistema educativo y particularmente a las clases de Educación Física [7]. Si bien la aplicación de las nuevas tecnologías en los centros escolares sigue sin tener una adecuada implantación dentro del sistema educativo y más concretamente en el área de Educación Física. En cualquier caso, la aplicación de las nuevas tecnologías en los centros escolares sigue sin tener una correcta implantación dentro del sistema educativo y más concretamente en el área de Educación Física. En la mayoría de los casos los recursos

TIC utilizados por los docentes no aportan nada novedoso al área y son sustitutos del libro de texto, agenda y enciclopedias. [8].
El uso de la TIC crea avance en el conocimiento de los contenidos sobre Educación Física. Tanto profesorado como alumnado tienen una actitud positiva hacia el empleo de Internet en Educación Física, y vemos que en general existe la posibilidad de utilizar este recurso en sus casas y en las aulas de Informática de los centros. El reto consiste en aumentar, mejorar y hacer más atractivos los contenidos para el alumnado, aprovechando las ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías. [9].
Igualmente, en algunas experiencias se destaca el empleo de blogs como recurso didáctico de apoyo a la materia de Educación Física y el gran valor pedagógico que los estudiantes dan a estas herramientas digitales como recurso didáctico innovador que resulta útil como fuente de información y aprendizaje, al mismo tiempo que permite un tratamiento más entretenido y ameno de los contenidos. [10].

A partir de estas encontradas opiniones de autores de una misma tendencia pedagógica, que además responde a la optimización del PEA de la Educación Física es importante tomar en cuenta el equilibrio en la integración de las TIC al PEA de la Educación Física, según el contexto, contenido, propósito y medios disponibles en cada universidad. La integración de las TIC viabiliza el uso de métodos activos de aprendizaje que conducen a la vinculación de saberes por la aplicación de una Didáctica Desarrolladora que genera la integración de conocimientos, habilidades y valores en el desempeño de los futuros profesionales en su proceso de formación en los Centros de Enseñanza Superior (CES). En estos, muchas veces los cursos se ven sesgados o interrumpidos por dificultades con la sistematicidad y mantenimiento de la tecnología. Sin embargo, a nivel global, al margen de las posibles particularidades en este sentido, que puedan existir en diferentes países la tendencia es la integración de las TIC al proceso enseñanza-aprendizaje de la educación superior, donde gracias a las TIC actualmente se agrega otras modalidades de estudio, consideradas básicas al igual que la presencial (tradicional), diferentes por el modo de asumir la relación estudiante-profesor; a saber, la “presencial” y “a distancia”. El impacto de las TIC en el PEA no excluye la modalidad presencial.

Álvarez Álvarez y su grupo de investigación del Centro de Referencia para la Educación Avanzada (CREA) en la Cujae, consideran que las TIC deben abordarse en el proceso de enseñanza-aprendizaje con un enfoque de integración, donde se valoren armónicamente aspectos tecnológicos y pedagógicos, a tono con las políticas educativas del contexto concreto en que se integran. [11]. Como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Aspectos más relevantes que distinguen los niveles de integración TIC por los profesores en el PEA

| **ENTRADA** | **ADOPCIÓN** | **ADAPTACIÓN** | **APROPIACIÓN** | **INVENCIÓN** |
|---|---|---|---|---|
| -Adquirir habilidades básicas en TIC.<br>-Se gana cultura en las potencialidades de las TIC.<br>-Baja frecuencia de uso. | -Dominio de herramientas TIC. elementales.<br>-Inicio del uso de las TIC en la asignatura como complemento y apoyo a la clase tradicional.<br>-Producción de materiales. | -Se definen funciones pedagógicas y didácticas de las TIC en la práctica docente.<br>-Experimentan nuevos Métodos.<br>-Aumenta frecuencia de uso.<br>-Rediseño de medios de enseñanza. | -Solución de problemas con herramientas más complejas.<br>-Alto trabajo colaborativo.<br>-Explotación del entorno virtual<br>-Transformación del PEA. | -Generación de conocimiento.<br>-Creación de nuevas herramientas para cumplir objetivos educativos.<br>-Diseño didáctico innovador.<br>-Sentida necesidad en el uso Sistemático. |

Fuente: Tomado de A. Álvarez y col, 2013, basada en el proyecto ACOT (Apple Classroom of Tomorrow).

El Judo, es un deporte educativo con un amplio componente socializador. Su práctica, desde las más tempranas edades, supone un excelente medio de educación física que subraya los valores del respeto por el compañero, el autocontrol, el juego, la disciplina, el esfuerzo y la superación constante basada en el progreso de uno mismo definidos en un entorno humano y un código de comportamiento; fomenta la autoestima que produce el desafío físico, la aceptación del resultado de la confrontación (rechazo de la trampa o ganar a cualquier precio), el desarrollo de la capacidad de análisis y de adaptación, hacen que el Judo contribuya de una forma destacada a la construcción de la personalidad individual y social del alumno; contribuye de manera muy sólida al aprendizaje de los principios elementales de la ciudadanía, desarrollo de la motricidad, mejora del control y rendimiento motor, mejora de los mecanismos perceptivo-cognitivos y sensomotores. [12].

Lo antes expuesto, motivó, al autor de este trabajo a realizar un diagnóstico de la utilización de las TIC en el proceso de enseñanza del Judo en la Cujae. Una vez concluido el mismo, y analizado los resultados alcanzados, que demostraron la poca utilización de las TIC en dicho proceso de enseñanza, lo conllevo a la necesidad de crear una metodología integradora que permitiera hacer de forma organizada y didáctica, el uso de los medios que brindan la nueva tecnología en las clases de judo, la cual le proponemos en este trabajo. **Objetivo:** Diseñar una metodología integradora que utilice las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) en el proceso de Enseñanza- aprendizaje, del Judo en los estudiantes de la Cujae

## 2. MUESTRA Y METODOLOGÍA

**Introducción a la Metodología para la integración de las TIC al PEA de la disciplina Judo.**

Dentro de las diferentes definiciones de metodología es importante para representar la que se propone, aquellas que algunos autores consideran que debe ser definida "(…) como un enfoque, doctrina o parte de la Filosofía que sobre la base del conocimiento de la realidad, establece las normas o guías para la transformación de esta, expresadas por medio de los principios generales del conocimiento y el sistema categorial de la ciencia".Kaprivin, 1981; García Galló, 1980, citados por [13].

**Estructura y funcionalidad de la Metodología Integradora.**

La metodología se estructura por procedimientos con carácter de sistema que van conduciendo la lógica de la transformación de la realidad. La actualización teórica y metodológica que le proporciona el diagnóstico desarrollador que se realiza al inicio sirve de base a la asimilación de los pasos subsiguientes que le ofrece carácter de proceso y posibilidad de retroalimentación. Por eso el primer paso se asocia a la superación profesional que se inicia con el proceso diagnóstico de necesidades teórico-metodológicas de los directivos y docentes y concluye con el estado de integración de las TIC al PEA del Judo. Al conjunto de pasos que dan cuerpo a la metodología y permiten su descripción como sistema, es decir, los procedimientos, se separan por el autor de las funciones que de ellos se derivan para una mejor comprensión.

**Estructura procedimental de la metodología de integración de las TIC al Proceso Enseñanza-Aprendizaje de la disciplina Judo.**

1. Diagnóstico de la integración de las TIC a la enseñanza del Judo.
2. Determinación de necesidades de materiales actualizados atendiendo a los objetivos y contenidos del programa de la disciplina Judo.
3. Clasificación de materiales por temáticas o encuentros.

4. Elaboración de guías y selección de recursos para el trabajo independiente de los estudiantes con una adecuada Base Orientadora de la Actividad (BOA).
5. Precisión en la planificación sistemática del curso de la vinculación evaluación - empleo de las TIC, en aquellos encuentros donde las últimas se comportan como medio.
6. Planificación de la actividad final de socialización de los resultados del aprendizaje y del curso.
7.

**Función de la metodología aplicada a una clase tipo.**

Los medios del Proceso Enseñanza-Aprendizaje, son un componente del proceso que establece una relación de coordinación muy directa con los métodos, en tanto que el "cómo" y el "con qué" – preguntas a la que responden enseñar y aprender, son casi inseparables. El "cómo", responde al método a emplear y el "con qué" a los medios de enseñanza. C. M. Álvarez de Zayas plantea que el medio de enseñanza como el componente operacional del proceso docente-educativo que manifiesta el modo de expresarse el método a través de distintos tipos de objetos materiales, es el vehículo mediante el cual se manifiesta el método, o sea, que es el portador material del método. [14].

La clase de Educación Física está estructurada en tres partes: Inicial; Principal y Final, o lo que es igual, introducción, desarrollo y conclusiones, las cuales están estrechamente relacionadas y determinadas por el objetivo y el contenido a desarrollar. Cada clase tiene un transcurso diferente y debe organizarse siguiendo puntos de vista específicos desde lo metodológico, lo didáctico y lo educativo, para evitar el aburrimiento y la falta de interés.La clase de educación física constituye el acto pedagógico a través del cual se concretan la instrucción y la educación, así como las estrategias docentes educativas dentro del diseño curricular.El empleo de la metodología integradora que se propone garantiza la posibilidad de construir este sistema de medios de la disciplina Judo, ya que sus procedimientos dan lugar a la preservación de una serie de recursos tecnológicos y de otro tipo que poseen carácter de sistema por el dictado del contenido que soportan a la luz de la lógica del curso. Especialmente el procedimiento No.1 y 4.

Los materiales y recursos didácticos facilitan las condiciones necesarias para que el alumno pueda llevar a cabo las actividades programadas con el máximo provecho. Los materiales contribuyen a concretar y orientar la acción docente en la transmisión de los conocimientos o aprendizajes. Los recursos y materiales didácticos son todo el conjunto de elementos, útiles o estrategias que el profesor utiliza, o puede utilizar como soporte, complemento o ayuda en su tarea docente. En los tiempos actuales, el uso de las TIC, cuando es pedagógicamente adecuada su vinculación a la docencia, para contribuir al desarrollo de la enseñanza-aprendizaje es considerado recurso que proporciona materiales. La presencia en la red de materiales docentes, que respondan a los conocimientos teóricos para la salud y la auto ejecución del ejercicio físico, resultan imprescindibles para facilitar la consulta de los estudiantes. Tomando en cuenta lo anterior se afirma que una clase representa, por sus características didácticas, metodológicas y educativas, una unidad compleja de análisis del programa que, por tanto, porta en sí las propiedades de todo el programa. Por ello se emplea por el autor una clase tipo del programa para aplicar la metodología y analizar sus resultados.

**Acciones en la aplicación de la Metodología Integradora a una Clase del programa de la Disciplina Judo.**

1. **Procedimiento No.1.**Diagnóstico de nivel de entrada del grupo.
2. **Procedimiento No.2.**Determinación de necesidades de materiales actualizados atendiendo a los objetivos y contenido del programa de la disciplina Judo.

Se relaciona objetivo y contenido de la clase, los medios necesarios y de actualidad. Para ello se requiere buscar en las siguientes fuentes:

a) Recursos particulares del programa obtenidos mediante el empleo de métodos activos de enseñanza que dan lugar a videos, donde se aprecian detalles técnicos de la técnica a aprehender en la clase.

b) Materiales recolectados por especialistas, aficionados y estudiantes.
c) Búsqueda en Internet de recursos audiovisuales, PDF, etc.

3. **Procedimiento No.3.**Clasificación de materiales por temáticas o encuentros.

Se clasifica en Tecnológicos (audiovisuales, tutoriales, PDF, JPG, Word, Ppt, redes, otros) y material impreso (Libros, manuales, revistas, imágenes impresas, gráficos, infografías).

4. **Procedimiento No.4.**Elaboración de guías y selección de recursos para el trabajo independiente de los estudiantes con una adecuada Base Orientadora de la Actividad (BOA).
5.

Diseño de guía de estudio, de ejercitación y de observación orientada al uso de las TIC en el aprendizaje del Judo como disciplina deportiva en la Educación Física en la formación integral de ingenieros y arquitectos.

6. **Procedimiento No.5.** Precisión en la planificación sistemática del curso de la vinculación evaluación y empleo de las TIC, en aquellos encuentros donde las últimas se comporta como medio.

En la clase se analizan los momentos en que se emplean las TIC y el tipo de evaluación a que contribuyen: La observación de videos permitió la evaluación sistemática; la toma de videos con dispositivos móviles posibilita el logro del segundo objetivo y la cualificación del aprendizaje de la técnica cuando al trabajar en equipo ocurre la co-evaluación y a un tiempo la autoevaluación, toda vez que las parejas observadas y analizadas valoran los señalamientos que reciben. Finalmente, el profesor realiza su propia evaluación docente tomando en cuenta la calidad del ejercicio que cada estudiante y parejas realizan, así como la calidad de sus observaciones y del empleo de la tecnología para su aprendizaje y ampliación del marco de referencia en general ya que continua el uso de las TIC en la actividad independiente que orienta en la parte final de la clase.

7. **Procedimiento No.6.** Planificación de la actividad final de socialización de los resultados del aprendizaje y del curso.

Se contempla el uso de zapya y bluethooth, así como de otras aplicaciones para socializar los videos captados en el proceso de análisis y valoraciones de los detalles técnicos durante la realización del ejercicio. También se comparan las apreciaciones percibidas de forma analógica y las percibidas con apoyo de recursos tecnológicos, a fin de valorar el aporte de las TIC en la observación de los detalles técnicos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La clase seleccionada es del tipo teórico-práctica, que ocupa el encuentro N0.9 en el Programa de la disciplina, tiene como asunto El Koshi–guruma con Uke (rodar por la cadera). Tiene como antecedente la clase 8 que trata los elementos básicos de la técnica Koshi–guruma con Uke. El resto de sus características didácticas se aprecia en el Anexo 1.

## 4. DISCUSIÓN

En esta sección se analizarán e interpretarán los resultados mostrados, comparándolos con los obtenidos por otros autores publicados, indicando si los propios superan aquellos, lo igualan, se diferencian o tienen aspectos de coincidencia. Se hará referencia a las limitaciones y aportes de la investigación, así como a l significación práctica o teórica de sus principales resultados.

- Con la orientación previa del profesor, los estudiantes tuvieron acceso a videos específicos sobre los detalles técnicos del Koshi-guruma y las reglas que lo caracterizan, así como a fotos, juegos, infografías y bibliografías básicas y complementarias referidas a esta técnica señalada en el (Anexo 2) Se diseñó el “Portal Docencia JudoCujae”.

- Se orientó el uso de la guía del trabajo independiente, ubicada en el sitio portal docencia Judo Cujae como parte de la base orientadora adecuada (BOA) de la actividad docente que permitió mayor precisión en la identificación del detalle errático y también del adecuado.
- La comprobación de la efectividad del empleo de las nuevas tecnologías, mediante la ejercitación posterior de los estudiantes, lo que facilitó la evaluación individual y colectiva durante la clase.

- Como parte de la evaluación, los estudiantes emitieron criterios favorables al empleo de las TIC como medio de enseñanza en la clase de Judo. Se demostró en esta clase, como en las anteriores, la efectividad de las TIC, para el mejoramiento del Proceso Enseñanza-Aprendizaje en la asignatura Educación Física.

La Metodología integradora que se propone también es validada mediante criterio de expertos cuyos resultados se exponen a continuación.

**Resultados de la aplicación del criterio de expertos.**

Para iniciar el proceso de criterio de expertos se aplica una encuesta a un grupo de expertos (Para seleccionar 21) a fin de evaluar coeficiente de inteligencia de quiénes participan. (Grafico1). Los resultados del procesamiento de la encuesta demuestran que las competencias de los expertos fluctúan de medio a alto (Gáfico1) lo que hace que se acepten sus valoraciones sobre la Metodología Integradora.
-A los expertos seleccionados se les presenta un grupo de aspectos a valorar que se consideran atributos de la Metodología (Grafico 2) estos sintéticamente expresados se relacionan a continuación:

1. Naturaleza integradora de la Metodología al PEA y su carácter sistémico y continuo, contextualizado y reflexivo, así como su contribución a la formación integral de los estudiantes.
2. Aprobación de los indicadores seleccionados de la Metodología y su derivación de la operacionalización de las dimensiones de los niveles de integración de las TIC al PEA de A. Álvarez y Col (2013).
3. Carácter fino y desarrollador del diagnóstico aplicado.
4. Introducción en la práctica de la definición de integración de las TIC al PEA [11].
5. Carácter orientador de la Metodología en el proceso de investigación para los docentes.
6. Carácter de sistema de la Metodología.
7. Equidad, asequibilidad y acceso de la Metodología a los docentes.
8. Funcionalidad para la creación de medios.
9. Sustentación de la Metodología en beneficio del componente medio del proceso didáctico.

El procesamiento de esta encuesta mediante el método Delphy demuestra en el gráfico 2 que los expertos participantes evalúan la Metodología en los rangos de muy adecuado a Adecuado, lo que demuestra su validación teórica.

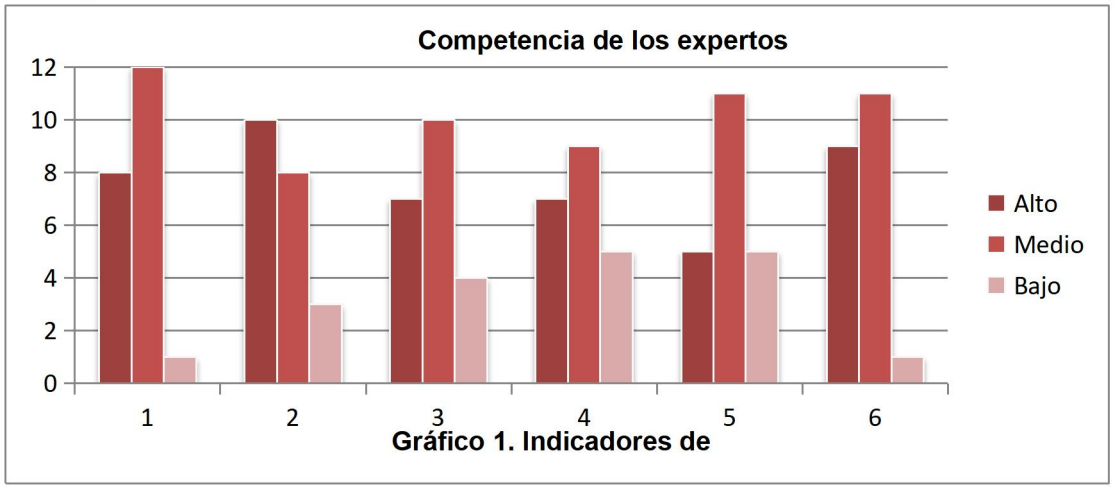



Gráfico 1. Indicadores de

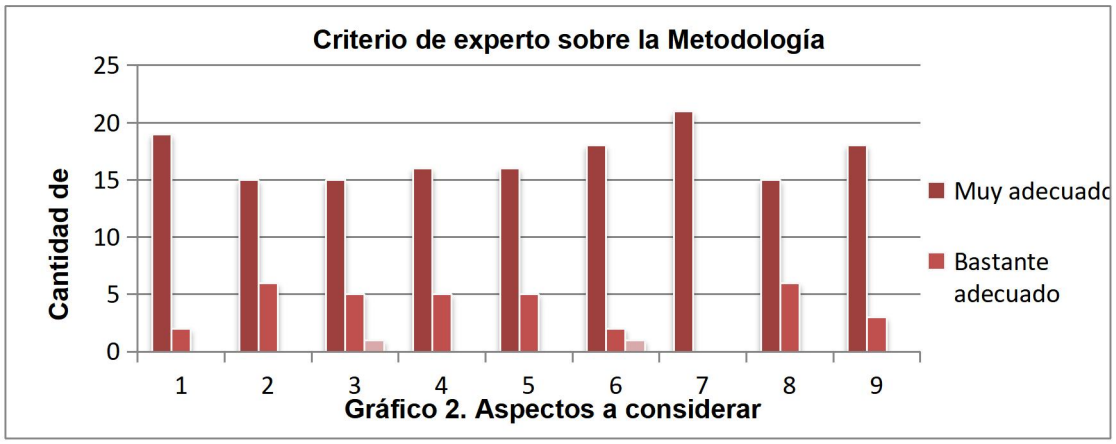



Gráfico 2. Aspectos a considerar

## 5. CONCLUSIONES

1. La necesidad de utilizar de forma sistemática el uso de las TIC en las clases de Judo que se imparten a los estudiantes de la CUJAE utilizando una metodología integradora.

2. El estado actual de la integración de las TIC al PEA del Judo en la Cujae marca niveles bajos que fueron discretamente superados mediante el diagnóstico de la Metodología y el proceso de investigación en general.

3. La Metodología Integradora de las TIC a la disciplina Judo como medio didáctico de su PEA es de actualidad indudable para la formación integral del estudiante en la Cujae, al ser la informatización y el dominio de la computación palabra de orden en el contexto de globalización y desarrollo profesional y humano para estudiantes y docentes.

## REFERENCIAS

1. JOVER NUÑEZ, J. Ciencia y la Tecnología como procesos sociales. La Habana, Cuba: Editorial Felix Varela. (2000)

2. LÓPEZ, M. A. ¿Qué significa la globalización para la Tecnología de la Información y la Educación Física? Perspectiva latinoamericana. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte 2002., Vol. 2 (No. 7).

3. CONTRERA, J. Enseñanza, Currículum y profesorado. Madrid, Akal: Ediciones Akal. 1990.

4. PANNESSI, M. ¡Devolvamos el protagonismo al alumnado! In (pp. 145-149). Madrid, España: Editorial Ariel. 2011.

5. SAENZ-LOPEZ, P. La Educación Física y su didáctica: manual para el profesor. Sevilla, España: Wanceulen. 1997

6. CLARENC, C. Educación Física y TIC. Una propuesta pedagógica. Argentina: Lulú. 2013

7. CRISOL, E., & ALBA, E. La facilitación del proceso de enseñanza - aprendizaje en el área de Educación Física. Web 2.0 para el alumnado de Educación Secundaria: "el rincón de la Educación Física". Etic@net: Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento, 2015. 15(2), 403-431.

8. FERNÁNDEZ, C., & LADRÓN, L. El uso de las TIC en la Educación Física actual. E-motion: Revista de Educación, Motricidad e Investigación 2015. 5, 17-30.

9. BLANCO, A. Usos de los contenidos de educación física en Internet del alumnado de Educación Secundaria Obligatoria. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de Educación a Distancia, España. 2015

10. ÚBEDA, J., & MOLINA, J. P. El blog como herramienta didáctica en Educación física: la percepción del alumnado. Apunts: Educación Física y Deportes, 2016. 126, 37-45.

11. ÁLVAREZ ÁLVAREZ, A., HERNÁNDEZ RABELL, L., & Cabrera Ramos, J. Estudio de las dimensiones de la integración de las TIC en una universidad tecnológica cubana. Revista Cubana de Ingeniería. 2013., Vol. IV(No. 3), pp. 5-14.

12. GÓMEZ-FERRER, R., & RODRÍGUEZ, V. J. La integración socioeducativa a través del judo. Valencia, España: Aduli revista andaluza de ciencias sociales. 2011.

13. BERMÚDEZ SARGUERA, R., & RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, M. Teoría y metodología del aprendizaje. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 1996.

14. ÁLVAREZ DE ZAYAS, C. M. La escuela en la vida. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 1999.

**Anexo 1**

**Caso tipo de aplicación de la Metodología Integradora de las TIC a una clase de Educación Física:**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Docente: Maikel Barrera Balbuena** | **Deporte: Judo** | **Tipo de clases: teórico-Práctica** | **Clase: No 9** | **Horario: 8:00am Fecha:** |

Título de la clase: El Koshi-guruma (rodar por la cadera)
Objetivos:

- Ejercitar la técnica de cadera del Judo, Koshi-guruma con Uke para desarrollo de condiciones físicas (fuerza, equilibrio, coordinación y flexibilidad)
- Observar los detalles técnicos del Koshi-guruma con Uke, a través de videos en trabajo por equipos.




| Parte | Actividades | Dosificación | | Indicaciones metodológicas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | T | R | Forma organizativas | Métodos | Medios |
| Inicial | • Formación del grupo<br>• Presentación de la clase<br>• Pase de lista<br>• Debate político-ideológico<br>• Recordatorio de la clase anterior.<br>• Orientar el objetivo.<br>• Calentamiento general y específico.<br>• Influencia comb.Mov articular y estiramientos. | 10´ | 8R | (Fila) Frontal<br><br>(hilera) Frontal | Teórico-práctico o Explicativo – Demostrativo. | Computadoras, Móviles, laptop, cámaras fotográficas, entre otros. |

| Parte | Actividades | Dosificación | | Indicaciones metodológicas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | T | R | Forma organizativas | Métodos | Medios |

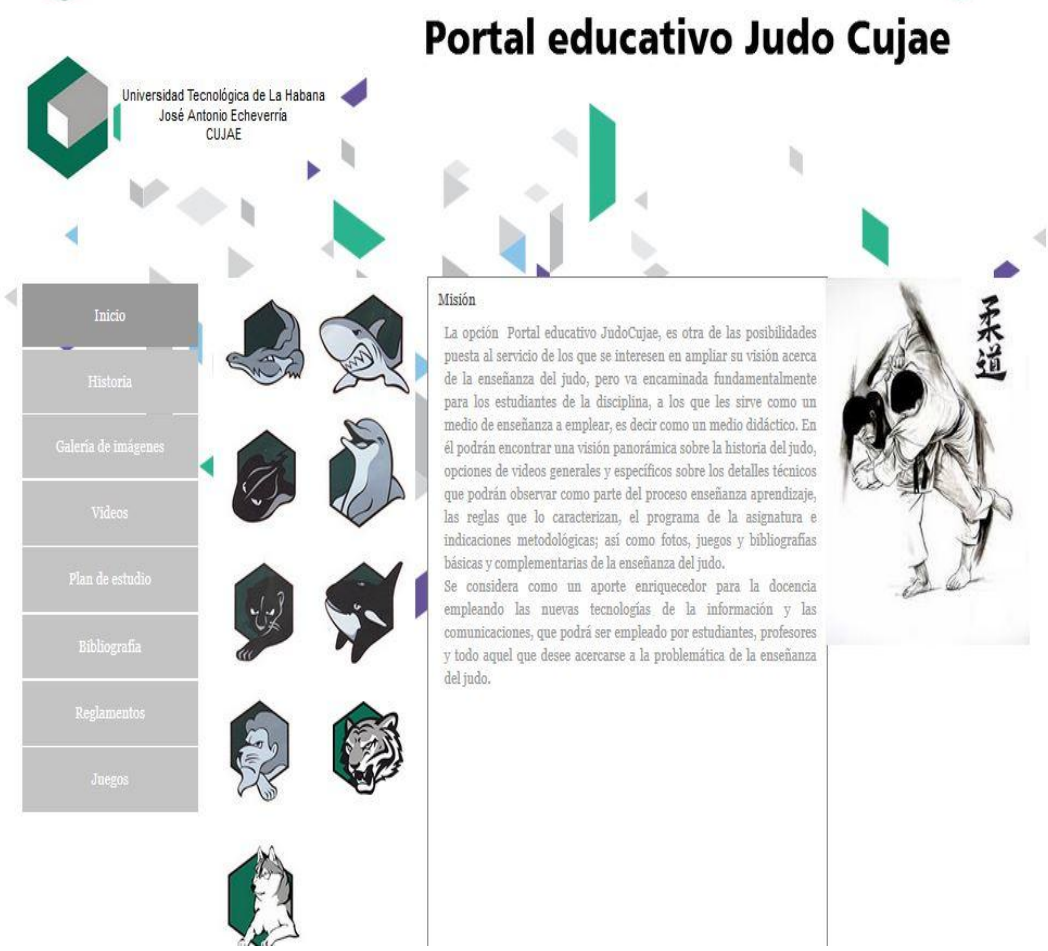
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Principal | • Ejecución del Koshi- guruma.<br>• Observación de detalles técnicos para la corrección de errores.<br>• Juegos pre-deportivos y deportivos.<br>• Elementos básicos como: Agarres, postura, desplazamientos, movimientos de cadera, entre otros.<br>• Evaluación sistemática<br>• Utilización del Sistema para la Auto Ejercitación Personalizada del Ejercicio Físico (SAPEF) como tarea. | 35´ | 2T-10R<br><br>3T-12R | En grupo y en parejas.<br><br>Dispersos<br><br>En parejas (Frontal) | Reproductivo (Repeticiones) | Computadoras, Móviles, laptop, cámaras fotográficas, entre otros. |

| **Parte** | **Actividades** | **Dosificación** | **Indicaciones metodológicas** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **T** | **R** | **Forma organizativas** | **Métodos** | **Medios** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Final | • Co-evaluación observación la ejercitación de otro equipo.<br>• Evaluación final de la clase calidad del ejercicio real autoevaluación.<br>• Ejercicios de Recuperación.<br>• Análisis de la clase.<br>• Orientación de la tarea a evaluar: Consultar sitio educativo JudoCujae.<br>• Despedida. | 5´ | 2R | (Dispersos) Frontal (Fila) Frontal | Explicativo Demostrativo Verbal | Computadoras, Móviles, laptop, cámaras fotográficas, entre otros. |

**(Anexo 2) "Portal Docencia JudoCujae".**






**Sobre los autores**
Maikel Barrera Balbuena MSc., Licenciado en Cultura Física. Master en Las Tecnologías en los procesos educativos. Profesor Asistente. Director del DEDER, CUJAE

Pablo Poso Xique MSc. Pablo Poso Xique, Licenciado en Cultura Física. Master en Teoría y Metodóloga del entrenamiento. Mención Judo. Profesor Auxiliar

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA INTEGRACIÓN DEL AULA TECNOLÓGICA DIGITAL

**Ing. Sandy Nuñez Padrón[1], Dr.C. Georgina Díaz Fernández[2], Dr.C. Anelys Vargas Ricardo[3]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba; [1]Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, Calle 108 No.29F08 e/ 29E y 29F, Marianao, La Habana, Cuba; [3]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba
[1]e-mail: snunez@uci.cu

## RESUMEN

El desarrollo vertiginoso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación y la tendencia creciente a adoptar estas tecnologías en la ejecución de procesos de todo tipo, han hecho que sea una prioridad llevar a cabo la transformación digital en disímiles organizaciones. El sector educacional se ha imbricado en este fenómeno, resultando el proceso de enseñanza-aprendizaje como uno de los más beneficiados. En el caso cubano, en el año 2015 comenzó la introducción de las aulas tecnológicas digitales en el Sistema Nacional de Educación con ese propósito. No obstante, no basta solamente con concebirla desde el punto de vista comercial e informático, se necesita comprender, además, cómo se produce el PEA y cómo dicho producto pueden facilitarlo. A partir de ello, se traza como objetivo general: proponer una estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. La investigación se basa en un enfoque dialéctico-materialista y utiliza métodos teóricos y empíricos para analizar la evolución y los desafíos de la integración del aula tecnológica digital. Se identifican elementos que limitan este proceso de integración. Como resultado, se propone una estrategia didáctica que busca facilitar la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del proceso de enseñanza-aprendizaje, promoviendo un enfoque centrado en el estudiante y fomentando el aprendizaje colaborativo.

**PALABRAS CLAVES:** estrategia didáctica, aula tecnológica digital, instrumento mediador, proceso de enseñanza-aprendizaje.

## DIDACTIC STRATEGY FOR THE INTEGRATION OF THE DIGITAL TECHNOLOGICAL CLASSROOM

## ABSTRACT

The rapid development of Information and Communication Technologies and the growing tendency to adopt these technologies in the execution of processes of all kinds have made it a priority to carry out digital transformation in diverse organizations. The educational sector has become involved in this phenomenon, with the teaching-learning process being one of the most benefited. In the Cuban case, in 2015 the introduction of digital technological classrooms in the National Education System began for this purpose. However, it is not enough to only conceive it from a commercial and informatic point of view; it is also necessary to understand how the teaching-learning process is produced and how said product can facilitate it. Based on this, the general objective is to propose a didactic strategy for the integration of the digital technological classroom as a mediating instrument of the teaching-learning process. The research is based on a dialectical-materialist approach and uses theoretical and empirical methods to analyze the evolution and challenges of the integration of the digital technological classroom. Elements that limit this integration process are identified. As a result, a teaching strategy is proposed that seeks to facilitate the integration of the digital technological classroom as a mediating instrument in the teaching-learning process, promoting a student-centered approach and encouraging collaborative learning.

**KEY WORDS:** didactic strategy, digital technology classroom, mediating instrument, teaching-learning process.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo vertiginoso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y la tendencia creciente a adoptar estas tecnologías en la ejecución de procesos de todo tipo, han hecho que sea una prioridad llevar a cabo la transformación digital en disímiles organizaciones. Consiste en un proceso natural y necesario para adoptar procesos y prácticas de negocios, que deben responder a las tendencias digitales de los clientes, independientemente de la esencia del negocio, en función de que la organización sea altamente competitiva en un mundo cada vez más de nativos digitales. Para ello, se debe prestar atención tanto a la tecnología, como a la estrategia, la gestión del talento, la estructura organizativa y el liderazgo. [1–3]

El sector educacional se ha imbricado en este fenómeno [2, 4–8]. Esto contribuye al cumplimiento del objetivo 4 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por parte de las organizaciones y los gobiernos [9]. Como resultado, la educación se encuentra frente a un escenario disruptivo [2, 10]. En ese ámbito, uno de los procesos que más se ha visto beneficiado con la transformación digital del sector educacional [11–13], ha sido el de enseñanza-aprendizaje.

En el caso de Cuba, “el estado orienta, fomenta y promueve la educación, las ciencias y la cultura en todas sus manifestaciones y se promueve el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación como elementos imprescindibles para el desarrollo económico y social mediante la actividad creadora e investigativa, así como se estimula la investigación científica con un enfoque de desarrollo e innovación” [14]. En ese sentido y con el propósito de contribuir a la elevación de la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA), se han introducido las TIC en el Sistema Nacional de Educación (SNE) [15–26]. Estos autores tratan el fenómeno desde una o dos tecnologías en particular y no analizan la coexistencia armoniosa de todas ellas en el aula. Este proceso ha sido gradual y ha implicado la formación de docentes, la adquisición de infraestructura tecnológica y la creación de contenidos digitales como algunos de sus principales aspectos.

En consonancia con lo anterior, se ha incentivado la adopción de las TIC y la transformación digital del SNE [14, 27, 28]. De ahí que se fomente el uso de dichas tecnologías en el proceso docente educativo [29–31]. Todo ello, con una visión que contribuya a lograr a corto y mediano plazos el cumplimiento de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 [32].

Como resultado, comenzó la introducción de aulas tecnológicas en el SNE en el cuarto quinquenio de los años 2000. Con ese propósito, la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) y la Empresa Industrial para la Informática, las Comunicaciones y la Electrónica GEDEME desarrollaron el aula tecnológica digital XAUCE ATcnea para sustituir importaciones. No obstante, no basta solamente con concebirla desde el punto de vista comercial e informático, se necesita comprender, además, cómo se produce el PEA y cómo dicho producto pueden facilitarlo. A partir de ello, se determina como objetivo general: proponer una estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA.

## 2. METODOLOGÍA

Para la conducción de la investigación se siguió la concepción dialéctico-materialista como vía para la construcción del conocimiento, que permitió el estudio de la compleja evolución, desarrollo y realidad del PEA mediado por el aula tecnológica digital. Constituyó la base filosófica para la selección del sistema de métodos científicos, del nivel teórico y del nivel empírico, que garantizaron la ejecución de la investigación con el fin de cumplir el objetivo propuesto.

**Métodos teóricos**

Histórico-lógico: para el análisis de la evolución histórica de las diversas posiciones teóricas de varios autores que han tratado la integración del aula tecnológica digital en el PEA. Permitió revelar regularidades generales y esenciales de la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA.

Analítico-sintético: permitió determinar las características de la integración del aula tecnológica digital en el PEA en sentido general. Posibilitó el análisis de los resultados obtenidos.

Inductivo-deductivo: viabilizó la determinación de tendencias y posiciones teóricas, así como en la elaboración de la estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Igualmente, favoreció el procesamiento de la información empírica.

Sistémico-estructural-funcional: para la determinación de las etapas y sus relaciones, de la estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Esto permitió establecer la estructura y dinámica de dicha estrategia.

**Métodos empíricos**

Estudio documental: abarcó los programas, indicaciones metodológicas, los planes de clases de los profesores y otros documentos normativos.

Observación: para conocer la realidad mediante la percepción directa en la etapa de diagnóstico inicial. Se empleó para constatar la existencia del problema científico e interactuar con los sujetos protagónicos del uso del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA.

Encuesta a estudiantes, y Entrevistas a profesores y directivos docentes: contribuyeron al diagnóstico del estado inicial de la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. En ese sentido, se valoraron los saberes, destrezas, modos de pensar y actuar relacionados con el uso del aula tecnológica digital.

Se aplicó la triangulación de datos para contrastar la información obtenida durante el diagnóstico del estado inicial de la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA.

## 3. MARCO TEÓRICO

Diversos autores han abordado la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Las primeras definiciones conciben en aula tecnológica como un espacio educativo en el cual se integran recursos tecnológicos como computadoras, software educativo, acceso a Internet y herramientas interactivas para apoyar el PEA. Se enfatiza la importancia de que los recursos tecnológicos se utilicen de forma activa y centrada en el estudiante. Este enfoque se centraba en la enseñanza de contenidos curriculares a través de la tecnología, como el uso de programas de matemáticas o idiomas como medio de enseñanza-aprendizaje. [33, 34]

A partir de la década de 2000, con el auge de Internet, se comenzó a utilizar la web como fuente de información, comunicación y colaboración en el aula. Se amplía el concepto de aula tecnológica al expresar que constituye un espacio en el cual se utilizan herramientas y recursos tecnológicos para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de manera más efectiva y significativa. Resaltan la importancia de que los docentes utilicen la tecnología de manera pedagógicamente relevante y alineada con los objetivos de aprendizaje. [35]

Por otro lado, se acentúa que es importante tener en cuenta que la integración del aula tecnológica no es un proceso lineal y ha enfrentado diversos desafíos y resistencias a lo largo de su historia. Resalta lo fundamental de la formación y el apoyo necesario con el que deben contar los docentes para utilizar de manera efectiva los recursos tecnológicos en el aula. Señalan desafíos y barreras que pueden surgir al integrar la tecnología en el aula. Algunas de ellas son la brecha digital, la falta de acceso equitativo a los recursos tecnológicos y la resistencia al cambio por parte de los docentes. [36]

Otros autores retoman el concepto de aula digital y argumentan que no solo implica el uso de tecnología como medio de enseñanza-aprendizaje, sino que requiere cambios en los enfoques pedagógicos y didácticos. Según ellos, el aula digital se basa en la idea de combinar el conocimiento tecnológico,

pedagógico y de contenido para diseñar y aplicar de manera efectiva entornos de aprendizaje enriquecidos por la tecnología. [37]

La United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), por su parte, reconoce que el aula tecnológica se relaciona con el uso de tecnología como medio de enseñanza-aprendizaje. Menciona, específicamente, el aula digital para referirse a espacios educativos equipados con tecnología digital para mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje. Se considera una herramienta clave para desarrollar habilidades del siglo XXI y fomentar la participación activa de los estudiantes. [38]

También se abordó la integración del aula tecnológica como parte de la transformación educativa. Al respecto, se destaca la importancia de la tecnología como una herramienta poderosa para catalizar transformaciones en la enseñanza y el aprendizaje cuando se combina con pedagogía efectiva y liderazgo educativo adecuado. [39]

A su vez, se ha presenciado una evolución hacia la integración de tecnologías más avanzadas en el aula, como la realidad virtual, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Estas han sido exploradas para potenciar la experiencia de aprendizaje y ofrecer nuevas formas de interacción y retroalimentación. En ese sentido, se subraya que el uso de la tecnología puede fomentar la colaboración entre estudiantes y la participación activa en el aula, permitiendo una mayor interacción y trabajo en equipo. [40]

Otras posiciones tóricas, argumentan que el aula tecnológica no solo implica el uso de tecnología, sino cambios en los enfoques pedagógicos y la organización del aprendizaje. Según estas, se basa en prácticas pedagógicas centradas en el estudiante, que fomentan la participación activa, la colaboración y la construcción del conocimiento, aprovechando las oportunidades que la tecnología ofrece. [41]

Con los avances en el campo de la inteligencia artificial, surge el concepto de aula inteligente. Esta se centra en la creación de entornos de aprendizaje enriquecidos y adaptativos, donde la tecnología se utiliza de manera inteligente y personalizada para ayudar a los estudiantes a alcanzar objetivos de aprendizaje específicos. Se considera que es un tipo de aula tecnológica que va más allá del simple uso de dispositivos digitales. En ese sentido, proporciona tecnologías avanzadas como sensores, dispositivos conectados en red, análisis de datos, inteligencia artificial y aprendizaje automático, para mejorar la eficiencia, la interactividad y los resultados del PEA. [42]

También se propusieron tres niveles de adopción de las tecnologías digitales que permiten calificar el uso que le dan los docentes en el aula y en su vida personal: nivel sustitución, nivel neutro y nivel ampliación [43]. Sin embargo, el éxito de la implementación de la tecnología en el aula depende de factores clave como la disponibilidad de recursos tecnológicos adecuados, la capacitación y apoyo de los educadores, la aceptación y apoyo de la comunidad educativa, el diseño y selección de los recursos educativos tecnológicos y la evaluación. Esto requiere una consideración cuidadosa y planificada. [44]

En este estudio, se ha corroborado que la integración del aula tecnológica al PEA ha ido evolucionando a medida que la tecnología se ha vuelto más accesible y se han desarrollado nuevas herramientas y recursos educativos. Esto se constata en las definiciones estudiadas que ofrecen una perspectiva amplia sobre lo que se entiende por aula tecnológica. Igualmente, se destaca su objetivo de utilizar la tecnología como una herramienta que potencia el proceso educativo.

Teniendo en cuenta estos resultados, se entiende el aula tecnológica digital como un entorno educativo flexible y adaptable a las necesidades de los estudiantes. Se ubica en un espacio físico donde la tecnología constituye un instrumento mediador, formando parte del sistema de medidos del proceso de enseñanza-aprendizaje, como portador de contenido y apoyo de los métodos. En ella, predomina la integración de recursos y herramientas tecnológicas digitales para apoyar el PEA, mediante un enfoque centrado en el estudiante que fomente el aprendizaje colaborativo y significativo en la construcción del conocimiento.

Igualmente, se comprende el significado de la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Este se traduce en la coherencia entre el diseño didáctico de las tecnologías digitales

como medio de enseñanza-aprendizaje, su utilización en el aula y los fundamentos del PEA donde la tecnología enriquezca el contenido.

## 4. RESULTADOS DE LOS INSTRUMENTOS APLICADOS

Se realizó un análisis documental cuyos resultados arrojaron que se destaca la importancia de los recursos educativos y herramientas digitales para enriquecer la práctica docente y cultural. Se sugiere el uso de tecnología en actividades específicas en clase, con una selección basada en los objetivos y contenidos propuestos. Sin embargo, se limita a recomendaciones sobre medios audiovisuales, excluyendo otras herramientas digitales y sin proporcionar directrices para su creación.

Aunque se reconoce la alineación entre los objetivos de la clase y el uso de tecnología, hay una falta de conexión con las estrategias de aprendizaje y métodos de evaluación. No se ofrecen pautas para definir objetivos de aprendizaje relacionados con el uso de tecnologías ni para integrar las TIC en el PEA. Se busca garantizar un acceso equitativo a la tecnología, pero la selección de esta no siempre es adecuada.

Se presentan opciones generales para adaptar estrategias a las necesidades individuales de los estudiantes, pero estas no abarcan completamente las ventajas que ofrece la tecnología. Aunque algunos docentes han recibido capacitación en recursos digitales, esta es considerada insuficiente para impactar a todos los profesores. Además, se identifican deficiencias en la planificación, mantenimiento y actualización de las tecnologías digitales.

Las clases observadas, por otro lado, revelaron que se establecen objetivos de aprendizaje generales para el uso de tecnologías digitales, y aunque los contenidos están organizados lógicamente, la integración en el proceso educativo es superficial. Esto se debe a una selección inadecuada de tecnologías digitales, limitaciones en su uso para la evaluación y casi nula implementación en estrategias de interacción y atención diferenciada.

A pesar de contar con dispositivos digitales y conexión a internet, la cantidad de equipos es insuficiente, lo que obliga a compartirlos. Además, los problemas frecuentes en algunos software limitan su uso, que es esporádico. Pocos profesores crean recursos educativos digitales y la conectividad se utiliza principalmente para la comunicación entre dispositivos, no para el acceso a internet. Cognitivamente, los docentes conocen ciertas tecnologías, pero su comprensión sobre cómo estas pueden mejorar el proceso educativo es limitada. Aunque reconocen la utilidad de integrar las TIC en el aula, su falta de dominio sobre las herramientas digitales restringe el desarrollo de habilidades y la aplicación de conocimientos por parte de los estudiantes.

Los directivos y profesores entrevistados señalaron que la mayoría de los profesores no desarrollan recursos educativos digitales, a pesar de que se les ha proporcionado tecnología para ello y de que reconocen la utilidad de las TIC en el PEA. Los docentes tienen conocimientos básicos sobre las tecnologías disponibles, pero requieren capacitación adicional para utilizarlas eficazmente en el PEA. La conectividad entre dispositivos se emplea principalmente para interactuar con el contenido y casi no se utiliza el acceso a internet. No obstante, los profesores son conscientes de que no están aprovechando todas las potencialidades del aula tecnológica digital y buscan oportunidades de superación. Aunque hay políticas institucionales para apoyar la integración de estas tecnologías en el proceso educativo, su implementación no ha sido completamente efectiva. Además, la falta de mantenimiento de los dispositivos y software contribuye a estos problemas.

Los estudiantes, por su parte, expresaron que pocas veces se utilizan las tecnologías digitales para evaluar en clases y que, cuando se utilizan, se es coherente con el objetivo de la clase y se recibe una adecuada retroalimentación. Sobre la utilización de los recursos educativos digitales, coincidieron en que se utilizan con una baja frecuencia y tienen calidad. Refieren que todos los estudiantes tienen acceso frecuente al aula tecnológica digital y a su tecnología digital. A esta última la califican de adecuada en base a su calidad, su accesibilidad y su conectividad. No sienten que estas tecnologías digitales hayan aportado mucho al desarrollo de habilidades durante las clases, ni a la aplicación de los conocimientos mediante su uso.

Al realizar un análisis general de estos resultados, se constata la necesidad y pertinencia de la elaboración de una estrategia didáctica para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA.

## 5. PROPUESTA DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA INTEGRACIÓN DEL AULA TECNOLÓGICA DIGITAL AL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Una estrategia didáctica se puede definir como el conjunto de acciones secuenciales e interrelacionadas que partiendo de un estado inicial y considerando los objetivos propuestos permite dirigir el desarrollo del PEA en la escuela. Ese conjunto de acciones tiene carácter de sistema, debe estar orientado a la motivación, orientación, ejecución, control y valoración y ejecutarse de forma coordinada entre profesores y estudiantes. Para ello, se debe tomar como punto de partida el diagnóstico del contexto educativo e involucrar todos los componentes del PEA, en función de la meta a lograr. [45, 46]

En base a lo anterior, se elabora la presente estrategia didáctica que se propone como objetivo general: contribuir a la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Se caracteriza por ser planificada porque se concibe esta integración como parte del PEA en el currículo y se contextualiza en las condiciones en las que tiene lugar el dicho proceso. Se estructura en un sistema de acciones dividido en etapas progresivas estrechamente relacionadas entre sí, por lo que adquiere carácter sistémico. Exige la inclusión de las competencias digitales como parte del sistema de conocimientos y competencias propias del profesional, lo que conlleva la asimilación de los continuos avances tecnológicos, de ahí que sea continua. Su flexibilidad radica en que contempla la posibilidad de hacer las adecuaciones que se consideren pertinentes, a partir del contexto educativo y el carácter sistémico del proceso.

Esta propuesta introduce cambios en todos los componentes del PEA. En el objetivo, incluye la formación de competencias digitales en los estudiantes para su futuro desempeño profesional. En cuanto al contenido, se añaden conocimientos relacionados con el uso de recursos educativos y herramientas digitales al sistema de conocimientos. En lo que respecta a los métodos, se incorpora dinamismo en el tratamiento metodológico mediante las posibilidades que ofrecen los recursos educativos y herramientas digitales para manipular, interactuar y experimentar. Por otro lado, se incrementan los medios de enseñanza-aprendizaje con los recursos educativos y las tecnologías digitales. Por último, en las formas de organización, las relaciones entre los protagonistas tienen lugar en un entorno multidispositivo que conduce a la reformulación de la dimensión espacial y temporal del PEA.

**Etapa 1: Diagnóstico de la disponibilidad de recursos educativos y herramientas en el aula tecnológica digital**

Esta etapa tiene como objetivo: caracterizar el estado actual de disponibilidad de recursos educativos y herramientas en el aula tecnológica digital. Las acciones concebidas para ella están dirigidas a identificar el nivel de disponibilidad de recursos educativos y herramientas en el aula tecnológica digital existente en la institución. También abarcan la gestión de otros recursos y herramientas que se puedan obtener producto de la actividad metodológica de los docentes, así como la idoneidad de estos para incorporarlas al PEA. En consonancia con lo anterior, se precisan las siguientes acciones por parte de los docentes:

1. Superación en competencias digitales y metodologías de enseñanza.
2. Realizar análisis de la disponibilidad de recursos educativos y herramientas en el aula tecnológica digital de la institución para el trabajo en el PEA de la asignatura a impartir. Esto no excluye que pueda tenerse en cuenta la disponibilidad de los dispositivos digitales de los estudiantes.
3. Gestionar otros recursos educativos y herramientas que no posee el aula tecnológica digital de la institución y que pudieran emplearse en el PEA de la asignatura a impartir.
4. Valorar el nivel de idoneidad de los recursos educativos y herramientas identificadas, para el trabajo en el PEA de las asignaturas a impartir en el aula tecnológica digital de la institución.

5. Estudiar el programa de la asignatura a impartir en la correspondiente disciplina y carrera o especialidad, en función de la determinación de las posibilidades de integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA, a partir de la utilización de los recursos educativos y herramientas seleccionadas en la acción anterior.
6. Controlar el cumplimiento del objetivo de la etapa

Para cumplimentar este sistema de acciones, se debe tener en cuenta un conjunto de consideraciones metodológicas. En ese sentido, se precisa concebir formas de superación a partir de los resultados de un diagnóstico de la idoneidad de los docentes para llevar a cabo la integración que se pretende, durante la ejecución de la primera acción.

En la segunda acción, se requiere que los docentes, en coordinación con los departamentos o áreas que atienden la tecnología educativa, realicen el estudio para la determinación de la disponibilidad de los recursos educativos y herramientas del aula tecnológica digital que pueden emplearse en el PEA de la asignatura a impartir. Para la tercera acción, como expresión del trabajo metodológico individual y grupal, los docentes buscarán otros recursos educativos y herramientas para el trabajo en el PEA de la asignatura a impartir, fruto de la navegación por internet o la colaboración entre docentes.

Durante la cuarta acción, se valorará la idoneidad de los recursos educativos y herramientas identificadas en las acciones dos y tres para incorporarlas al aula tecnológica digital. Esta valoración debe basarse en indicadores como: alineación con los objetivos de aprendizaje, facilitación del aprendizaje activo, facilidad de uso, compatibilidad tecnológica, oportunidades de interacción, retroalimentación inmediata, exactitud y actualidad del contenido, diversidad de formatos, evaluación del aprendizaje, análisis de datos, disponibilidad de soporte técnico, actualizaciones y mantenimiento, sostenibilidad a largo plazo y otros elementos didácticos que se consideren pertinentes.

En cuanto a la quinta acción, se debe realizar un estudio exploratorio del programa de la asignatura a impartir, para determinar las posibilidades de integración del aula tecnológica digital, a partir de la utilización de los recursos educativos y herramientas seleccionadas en la acción anterior. Para ello, será necesario analizar sus posibles influencias en los componentes del PEA. Finalmente, se debe controlar que se cumpla el objetivo de la etapa para obtener retroalimentación que permita perfeccionar el sistema de acciones en la sexta acción.

**Etapa 2: Planificación de las acciones para la integración del aula tecnológica como instrumento mediador del PEA en la escuela pedagógica**

La segunda etapa tiene como objetivo: planificar un conjunto de acciones didácticas que promuevan el uso de tecnologías digitales en el aula, con el fin de facilitar la mediación en el PEA, fomentar la participación activa de los estudiantes y mejorar la calidad educativa mediante la integración de recursos tecnológicos que se alineen con los objetivos curriculares establecidos. Las acciones estarán dirigidas a la planificación de unidades didácticas, así como a la evaluación del aprendizaje y la retroalimentación:

1. Diseñar unidades didácticas que incorporen el uso de recursos educativos y herramientas digitales de manera significativa
2. Alinear los objetivos de aprendizaje con el uso del aula tecnológica digital
3. Crear o adaptar recursos educativos digitales que faciliten la comprensión de los contenidos
4. Diseñar estrategias de evaluación que valoren el uso de tecnologías digitales por parte de los estudiantes
5. Control del cumplimiento del objetivo de la etapa

Para cumplir la primera acción, se deben establecer objetivos de aprendizaje específicos que integren el uso de recursos educativos y herramientas digitales y diseñar actividades interactivas que fomenten la participación activa de los estudiantes e incluyan recursos multimedia que complementen el contenido y faciliten la comprensión. También se considera necesaria la integración de metodologías activas como aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje invertido o el aprendizaje colaborativo.

En la segunda acción, se deben tener en cuenta los objetivos de aprendizaje definidos en la anterior, durante la selección de los recursos educativos o herramientas adecuadas para el PEA de cada unidad didáctica y que forman parte del aula tecnológica. Además, se requiere contextualizar su uso dentro de las actividades de aprendizaje.

De forma similar, se debe asegurar que los recursos educativos digitales que se creen o los modificados estén alineados con los objetivos de aprendizaje, para la correcta implementación de la tercera acción. Se precisa el diseño de contenidos interactivos que promuevan la participación y el aprendizaje activo de los estudiantes, que puedan adaptarse a diferentes estilos de aprendizaje y necesidades de los estudiantes y puedan ser accesibles para todos. Aquí pueden utilizarse repositorios u otras herramientas digitales para el almacenamiento y difusión de dichos recursos, así como herramientas de autor para su creación.

En cuanto a la cuarta acción, se deben establecer criterios de evaluación específicos y claros, diversificar los métodos de evaluación y ofrecer retroalimentación con el uso de tecnologías digitales y utilizar rúbricas de evaluación. En la quinta acción, se debe controlar el cumplimiento del objetivo de la etapa con el propósito de obtener retroalimentación para perfeccionar el sistema de acciones.

**Etapa 3: Implementación de las acciones de la estrategia didáctica**

El objetivo de la tercera etapa es: implementar las acciones planificadas para contribuir a la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA. Se caracteriza por la implementación de las acciones planificadas en las etapas anteriores y la retroalimentación del proceso. Esta última, se orienta a la mejora continua en base a las necesidades contextuales, procedimentales y didácticas.

Aquí, el profesor debe emplear el aula tecnológica digital como un instrumento mediador del PEA, con el fin de impartir la asignatura. También debe controlar el cumplimiento del objetivo de la etapa. El estudiante debe participar de forma proactiva, interactiva y colaborativa en el PEA, desarrollar competencias digitales y valorar su contribución al cumplimiento de los objetivos de la etapa. El grupo debe colaborar de forma dinámica y autorregulada en el PEA, socializar las mejores experiencias en el aprendizaje y valorar como grupo el cumplimiento de los objetivos de la etapa.

En esta etapa, se concibe la participación activa todos los involucrados en el PEA. La primera acción del docente guarda estrecha relación con las acciones de las etapas precedentes y, expresa su materialización jerárquica. En este sentido, el trabajo se orienta hacia la estructuración metodológica del PEA de la asignatura asumiendo como eje transversal la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador de dicho proceso. De esta manera los docentes actúan como moderadores, los estudiantes constituyen actores y beneficiarios, mientras que el grupo se convierte en un ente regulador del proceso. En la segunda acción, se debe controlar el cumplimiento del objetivo de la etapa para perfeccionar el sistema de acciones a partir de la retroalimentación obtenida.

**Etapa 4: Evaluación de la estrategia didáctica**

En la cuarta etapa, se plantea como objetivo: evaluar el cumplimiento de los objetivos perseguidos por la estrategia, de forma general, y de cada una de sus etapas, de forma particular, en consonancia con los resultados emanados del control de las acciones diseñadas. Las acciones de esta etapa van encaminadas a obtener una valoración sobre el cumplimiento de dichos objetivos, que incluya un análisis de las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de la estrategia didáctica. De esta forma, se obtendrán los elementos necesarios para rediseñar las acciones que lo requieran.

Es esencial analizar el grado de cumplimiento del objetivo de cada etapa precedente, para realizar una evaluación general sobre el cumplimiento del objetivo de la estrategia. Teniendo en cuenta las características de los planes de estudio, la estrategia debe aplicarse durante los cuatro años. No obstante, se deben realizar cierres parciales al término de cada semestre que incluyan los criterios de docentes y estudiantes, para realizar los ajustes pertinentes en correspondencia con las particularidades de las distintas carreras o especialidades.

Se precisan las siguientes acciones por parte de los docentes: controlar y evaluar el desarrollo de la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA, así como evaluar el logro de los objetivos y ajustar los niveles de ayuda según las necesidades individuales y grupales. Se requiere que los estudiantes participen de forma activa y responsable en el proceso de evaluación, a portando juicios críticos. El grupo debe reflexionar sobre los resultados individuales y grupales alcanzados en cuanto al nivel de integración alcanzado y colaborar en los ajustes requeridos para reducir las deficiencias e incorporar modelos de actuación del profesional.

## 6. CONCLUSIONES

La estrategia didáctica que se propone para la integración del aula tecnológica digital como instrumento mediador del PEA, está estructurada en etapas interrelacionadas que consideran el contexto educativo. Esta estrategia busca motivar y orientar a docentes y estudiantes hacia un uso efectivo de las tecnologías en el aula. Enfatiza un enfoque centrado en el estudiante, promoviendo el aprendizaje colaborativo y significativo. Resalta la necesidad de que los docentes adapten sus métodos pedagógicos para aprovechar al máximo las herramientas digitales. También pone de manifiesto que es crucial que los docentes reciban formación continua sobre el uso de las TIC para poder integrarlas en sus prácticas educativas. Esto incluye no solo conocimientos técnicos, sino también pedagógicos.

## REFERENCIAS

1. ALUNNI, Laura and LLAMBÍAS, Nicolas. Explorando la transformación digital desde adentro. Online. 31 July 2018. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://dspace.palermo.edu:8443/xmlui/handle/10226/2059.
2. SERNA, Martín Darío Arango, BRANCH, John W., BENAVIDES, Lina María Castro and BURGOS, Daniel. Un modelo conceptual de transformación digital. Openergy y el caso de la Universidad Nacional de Colombia. *Education in the Knowledge Society (EKS)*. Online. 2018. Vol. 19, no. 4, p. 95–107. [Accessed 11 June 2023]. DOI 10.14201/eks201819495107.
3. HERENCIA, Cesar Alonso Calle. La transformación digital y su importancia en las pymes. *Iberoamerican Business Journal*. Online. 25 January 2022. Vol. 5, no. 2, p. 64–81. [Accessed 11 June 2023]. DOI 10.22451/5817.ibj2022.vol5.2.11059.
4. CUEVA GAIBOR, Diego Abraham. Transformación digital en la universidad actual. *Conrado*. Online. December 2020. Vol. 16, no. 77, p. 483–489. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1990-86442020000600483&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
5. DIEZ CANSECO TERRY, Raúl. *Transformación digital en la educación en tiempos de COVID-19*. Online. 1ra edición. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2020. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3e7c4b43-1d0f-41f0-aadb-329156136b69/content.
6. JIMÉMEZ, Antonio Espínola. Educación inclusiva e igualdad de las personas con discapacidad en la transformación digital. *Revista Jurídica Valenciana*. Online. June 2020. No. 35, p. 1–13. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://www.revistajuridicavalenciana.org/wp-content/uploads/0035_0006_01_EDUCACION-INCLUSIVA-A-DISCAPACITADOS-EN-ERA-DIGITAL.pdf.
7. GARCÍA-PEÑALVO, Francisco José. Transformación digital en las universidades: Implicaciones de la pandemia de la COVID-19. *Education in the Knowledge Society (EKS)*. Online. 24 February 2021. Vol. 22, p. e25465–e25465. [Accessed 11 June 2023]. DOI 10.14201/eks.25465.
8. CARBONELL, Marc Romero, FONTANILLAS, Teresa Romeu, CATASÚS, Montse Guitert and QUEMADA, Pablo Baztán. La transformación digital en la educación superior: el caso de la UOC. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. Online. 2023. Vol. 26, no. 1, p. 163–179. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://www.redalyc.org/journal/3314/331473090009/
9. CEPAL, NU. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Online. January 2018. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155.4.
10. CASTRO-BENAVIDES, Lina María, TAMAYO-ARIAS, Johnny Alexander and BURGOS, Daniel. Escenarios de la docencia frente a la transformación digital de las Instituciones de Educación

Superior. *Education in the Knowledge Society (EKS)*. Online. 21 November 2022. Vol. 23, p. e27866–e27866. [Accessed 11 June 2023]. DOI 10.14201/eks.27866.

11. ÁLVAREZ CANDELA, Ivon Nataly and HERNÁNDEZ PARDO, Yamile. *La transformación digital como apoyo en los procesos organizacionales de la gestión académica en la Institución Inem Luis López de Mesa de la ciudad de Villavicencio*. Online. Maestría. Universidad UMECIT, 2022. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://repositorio.umecit.edu.pa/handle/001/6132.

12. ALVINO BETETA, Fabiola Babel and ALVINO BETETA, Matilde Clelia. Gestión educativa y transformación digital de la enseñanza desde la perspectiva de los docentes de la carrera de Arquitectura, Urbanismo y Territorio de una universidad privada de Lima Metropolitana, durante el periodo académico 2021-2. *Repositorio Institucional - UTP*. Online. 2022. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6328.

13. GRANDA ARÉVALO, Christian Fernando. *Desarrollo de procesos de tecnologías de la información y buenas prácticas para la gestión académico-administrativa en el Instituto Superior Tecnológico Sucre de la Zonal 9 del Distrito Metropolitano de Quito*. Online. Maestría. Universidad Técnica de Ambato. Dirección de Posgrado. Maestría en Tecnologías de la Información., 2022. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/36859.

14. ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR. Constitución de la República de Cuba. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. Online. 10 April 2019. Vol. 117, no. 5, p. 69–116. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/constitucion-de-2019-de-asamblea-nacional-del-poder-popular.

15. REYES, Yuneldis, MARTÍNEZ PARDO, Dailín, REYES, Yuneldis and MARTÍNEZ PARDO, Dailín. Acciones para la implementación en el sistema educativo cubano de tecnologías emergentes identificadas por el informe Horizon. *Revista Cubana de Educación Superior*. Online. August 2019. Vol. 38, no. 2. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0257-43142019000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

16. DE LOYOLA DÍAZ, Julio César, MALDONADO MALDONADO, Antonio Alicio and DÍAZ JIMÉNEZ, Leonardo. Los dispositivos móviles en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la informática. *Revista Eletrónica KULONGESA–TES*. 2019. Vol. 1, no. 1, p. 1–12.

17. GARRIGA, Luis Angel Santana. El desarrollo de contenidos educativos digitales para dispositivos móviles: The development of digital educational content for mobile devices. *Horizonte Pedagógico*. Online. 19 December 2019. Vol. 8, no. 4, p. 4–12. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://www.horizontepedagogico.rimed.cu/index.php/hop/article/view/124.

18. FRANCO, Lilliam de la Caridad Tauler, INFANTE, Dora Caridad Peña and MOYA, Cristina Martínez. LOS DISPOSITIVOS MÓVILES EN FUNCIÓN DE LA FORMACIÓN LABORAL DEL PROFESIONAL DE LA EDUCACIÓN PRIMARIA. *Revista Varela*. Online. 1 September 2019. Vol. 19, no. 54, p. 402–413. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://revistavarela.uclv.edu.cu/index.php/rv/article/view/29.

19. HERRERA, Luis Alberto Lazo. Los dispositivos móviles y las redes sociales en la educación en salud. *Universidad Médica Pinareña*. Online. 23 November 2019. Vol. 15, no. 3, p. 294–294. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/210/210826003/index.html.

20. HERNÁNDEZ GALARRAGA, Elina, HERNÁNDEZ HERRERA, Pedro A. and BARRETO GELLES, Iván. Apuntes para el uso de la televisión y el vídeo en la escuela. In: *Temas de introducción a la formación pedagógica*. Online. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2020. p. 179–201. [Accessed 11 June 2023]. ISBN 978-959-13-3822-8. Available from: https://books.google.com.cu/books?id=j9UREAAAQBAJ.

21. GARRIGA, Luis Angel Santana, FERRER, Gustavo Deler and MORENO, Madelaine Martínez. Conceptualización del libro de texto electrónico interactivo en dispositivos móviles según la experiencia en el consejo popular San Agustín en La Lisa. *Horizonte Pedagógico*. Online. 19 December 2020. Vol. 9, no. 4, p. 52–61. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://www.horizontepedagogico.rimed.cu/index.php/hop/article/view/173.

22. VIGIL GARCÍA, Pedro Alejandro, ACOSTA PADRÓN, Rodolfo, ANDARCIO BETANCOURT, Ernesto Emilio, DUMPIERRÉS OTERO, Elizabeth, LICOR CASTILLO, Obed, VIGIL GARCÍA, Pedro Alejandro, ACOSTA PADRÓN, Rodolfo, ANDARCIO BETANCOURT, Ernesto

Emilio, DUMPIERRÉS OTERO, Elizabeth and LICOR CASTILLO, Obed. Mobile learning: el uso de Whatsapp en el aprendizaje del inglés. *Conrado*. Online. December 2020. Vol. 16, no. 77, p. 201–208. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1990-86442020000600201&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

23. CASTILLO MARTÍNEZ, Leonardo. Empleo de dispositivos móviles como medio de enseñanza-aprendizaje en las Ciencias Sociales. *UCIENCIA 2021*. Online. October 2021. [Accessed 11 June 2023]. Available from: https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/9809.

24. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Osmir de Jesús, GONZÁLEZ ARANDA, Yanet, GRILLO PALMER, Edilberto, GONZÁLEZ RUDA, Norma, PUPO TAMAYO, Miraidys, MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Osmir de Jesús, GONZÁLEZ ARANDA, Yanet, GRILLO PALMER, Edilberto, GONZÁLEZ RUDA, Norma and PUPO TAMAYO, Miraidys. Valores Patrios: aplicación móvil para el aprendizaje de la Historia de Cuba en la carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales. *Referencia Pedagógica*. Online. April 2021. Vol. 9, no. 1, p. 76–89. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2308-30422021000100076&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

25. MEDINA, Ing Dennys Lázaro Álvarez and OCAMPO, Dr C. Mercedes Francisca Medina. El uso de dispositivos móviles en la capacitación. *Horizonte Pedagógico*. Online. 19 March 2021. Vol. 10, no. 1, p. 33–42. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://www.horizontepedagogico.rimed.cu/index.php/hop/article/view/182.

26. PADILLA GARCÍA, Oliurca, GONZÁLEZ ACOSTA, Niurka de las Mercedes and CANO CONTRERAS, Martín. El uso de los dispositivos móviles en el proceso de enseñanza-aprendizaje universitario en Cuba. *Pedagogía y Sociedad*. 2021. Vol. 24, no. 62, p. 187–207.

27. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. *Primera Conferencia Nacional del PCC*. La Habana: Editora Política, 2012.

28. COMITÉ CENTRAL DEL PCC. *Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2021-2026*. La Habana: Editora Política, 2021.

29. FERRERA, Gustavo Deler, GARRIGA, Luis Angel Santana and FERNÁNDEZ, Juan Manuel Jorge. La introducción de libros electrónicos como recursos didácticos en centros experimentales del III Perfeccionamiento del Sistema Nacional de Educación cubano. *Horizonte Pedagógico*. Online. 19 December 2019. Vol. 8, no. 4, p. 45–56. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://www.horizontepedagogico.rimed.cu/index.php/hop/article/view/128.

30. CARVAJAL HERNÁNDEZ, Bárbara María, LEGAÑOA FERRÁ, María de los Ángeles, OMS PALENQUE, Doris María, CARVAJAL HERNÁNDEZ, Bárbara María, LEGAÑOA FERRÁ, María de los Ángeles and OMS PALENQUE, Doris María. La habilidad recuperar información digital en la escuela primaria cubana. *Transformación*. Online. December 2020. Vol. 16, no. 3, p. 622–646. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-29552020000300622&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

31. JUANES CABALLERO, Ibis. El III perfeccionamiento: una respuesta del sistema educativo cubano. *Ciencias Pedagógicas*. Online. 5 March 2020. Vol. 13, no. 1, p. 167–179. [Accessed 11 June 2023]. Available from: http://www.cienciaspedagogicas.rimed.cu/index.php/ICCP/article/view/229/196.

32. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. *Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista. Plan nacional de desarrollo económico y social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos*. La Habana: Editora Política, 2017.

33. PAPERT, Seymour. *Mindstorms: Children, computers and powerful ideas*. New york, NY, US: Basic Books, 1980. ISBN 9870-0-85527-163-9. //static.cambridge.org/content/id/urn%3Acambridge.org%3Aid%3Aarticle%3AS0025557200098934/resource/name/firstPage-S0025557200098934a.jpgpublisher: Cambridge University Press

34. SANDHOLTZ, Judith Haymore, RINGSTAFF, C and DWYER, D. *Teaching with Technology: Creating Student-Centered Classrooms*. Online. New York, NY, US: Teachers College Press, 1997. [Accessed 13 August 2023]. ISBN 978-0-8077-3586-2. Available from: https://eric.ed.gov/?id=ED402923.

35. HENNESSY, Sara, RUTHVEN, Kenneth and BRINDLEY, Sue. Teacher perspectives on integrating ICT into subject teaching: commitment, constraints, caution, and change. *Journal of*

*Curriculum Studies*. Online. 1 January 2005. Vol. 37, no. 2, p. 155–192. [Accessed 13 August 2023]. DOI 10.1080/0022027032000276961.
36. ERTMER, Peggy A., OTTENBREIT-LEFTWICH, Anne and YORK, Cindy S. Exemplary Technology-using Teachers: Perceptions of Factors Influencing Success. *Journal of Computing in Teacher Education*. Online. 1 December 2006. Vol. 23, no. 2, p. 55–61. [Accessed 16 August 2023]. DOI 10.1080/10402454.2006.10784561.
37. MISHRA, P and KOEHLER, M J. Too cool for school? No way! The potential for ICT in learning and teaching. In: DUVAL, E, HODGINS, T, LUCKIN, R and BARNES, S [eds.], *Technology-Enhanced Learning*. Berlín: Springer, 2009. p. 21–29.
38. UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. *UNESCO ICT Competency Framework for Teachers*. Online. 2. París, Francia: UNESCO, 2011. [Accessed 8 August 2023]. ISBN 978-92-3-01053-9. Available from: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000213475.
39. FULLAN, Michael. Stratosphere: Integrating technology, pedagogy, and change knowledge. *Alberta Journal of Educational Research*. Online. 2013. Vol. 62, no. 4, p. 429–432. [Accessed 16 August 2023]. Available from: https://journalhosting.ucalgary.ca/index.php/ajer/article/download/55489/pdf/0.
40. MERCHANT, Zahira, GOETZ, Ernest T., CIFUENTES, Lauren, KEENEY-KENNICUTT, Wendy and DAVIS, Trina J. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*. Online. 1 January 2014. Vol. 70, p. 29–40. [Accessed 16 August 2023]. DOI 10.1016/j.compedu.2013.07.033.
41. VOOGT, Joke, KNEZEK, Gerald, CHRISTENSEN, Rhonda and LAI, Kwok-Wing [eds.]. *Second handbook of information technology in primary and secondary education*. Online. 1. Cham: Springer, 2018. [Accessed 8 August 2023]. Springer International Handbooks of Education. ISBN 978-3-319-71053-2. Available from: https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-319-71054-9.
42. OECD. *Smart Classrooms: How Digital Technologies Are Shaping Education*. París, Francia: OCDE Publishing, 2020.
43. FREIXAS, Rosario, DOMÍNGUEZ-FIGAREDO, Daniel, GAMBOA-RODRÍGUEZ, Fernando, FREIXAS, Rosario, DOMÍNGUEZ-FIGAREDO, Daniel and GAMBOA-RODRÍGUEZ, Fernando. La paradoja digital: Análisis de las diferencias en la adopción tecnológica del profesorado dentro y fuera del aula. *Revista Electrónica Educare*. Online. August 2022. Vol. 26, no. 2, p. 210–230. [Accessed 26 August 2023]. DOI 10.15359/ree.26-2.12.
44. POSSO PACHECO, Richar Jacobo, ULCUANGO ASHQUI, María Transito, MORALES LOACHAMIN, Luis Alfredo, PASTAZ REVELO, Gabriela Patricia and JARAMILLO HIDALGO, Lucía Antonieta. Revolucionando la educación: Implementación efectiva de la tecnología en el aula. *GADE: Revista Científica*. Online. 2023. Vol. 3, no. 1, p. 33–47. [Accessed 26 August 2023]. Available from: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8878525.
45. VALLE LIMA, A. *Algunos resultados científico pedagógicos. Vías para su obtención*. Ciudad de La Habana: Instituto Central de Ciencias Pedagógicas. Ministerio de Educación, 2010.
46. FONT, O. *Manual sobre estrategias didácticas*. 2017. UCPEJV.

**Sobre los autores**

Sandy Nuñez Padrón: Universidad de las Ciencias Informáticas; Profesor de la Facultad de Tecnologías Educativas y Subdirector del Centro de Tecnologías para la Formación; Profesor Asistente, Ingeniero.

Georgina Díaz Fernández: Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona; Coordinadora de carrera; Profesor Titular; Doctor en Ciencias de la Educación.

Anelys Vargas Ricardo: Universidad de las Ciencias Informáticas; Profesor de la Facultad de Tecnologías Educativas y Director del Centro de Información Científico Técnica; Profesor Titular, Doctor en Ciencias de la Educación.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA: UNA NOVEDOSA INCLUSIÓN DE PHET EN LA PLANIFICACIÓN DE LA CLASE

**Yusley Llorente Rodríguez[1], Juan José Llovera González[2]**

[1] M. Sc. Profesor Asistente Departamento de Física General, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Calle 114 No.11901, Marianao CP 19390, La Habana Cuba.

E-mail; yusley@icb.cujae.edu.cu [2] Dr. C. Profesor Titular Consultante Instituto de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, Calle 114 No.11901, Marianao CP 19390, La Habana Cuba.

**RESUMEN**

Se presenta el diseño de un plan de una clase que implementó una simulación interactiva PhET (Tecnología para la Educación de la Física) impartida a los estudiantes de tercer año de la carrera de Ingeniería Química del Curso por Encuentros en el curso 2024 en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae) para lograr el desarrollo de una clase encuentro con las simulaciones virtuales que nos ofrecen las simulaciones PhET en la asignatura de Física General 3 (Mecánica Cuántica y Física Nuclear). El novedoso diseño del plan de clase propició combinar el uso de actividades y de recursos de la simulación incorporando tareas concebidas para reorganizar el proceso de enseñanza aprendizaje de la misma, logrando de esta manera una complementación didáctica entre el contenido y las simulaciones que ofrece PhET como aplicación para la simulación de experimentos.

**PALABRAS CLAVES:** simulaciones PhET, enseñanza de la Física, laboratorios virtuales

# THE INTERACTIVE DEMONSTRATION LESSON: A NOVEL INCLUSION OF PhET IN LESSON PLANNING.

**ABSTRACT**

Enseñanza de la Física, ecuaciones de la física matemática, teoría electromagnética.

The design of a lesson plan that implemented an interactive PhET (Physics Education Technology) simulation taught to third-year students of the Chemical Engineering degree of the Course by Encounters in the 2024 course at the José Antonio Echeverría Technological University of Havana (Cujae) is presented. This lesson plan to achieve the development of an encounter class with the virtual simulations offered by the PhET simulations in the subject of General Physics 3 (Quantum Mechanics and Nuclear Physics) was designed. The novel design of the lesson plan allowed combining the use of simulation activities and resources by incorporating tasks designed to reorganize the teaching-learning process of the simulation, thus achieving a didactic complementation between the content and the simulations offered by PhET as an application for simulating experiments.

**KEY WORDS:** PhET simulations, Physics teaching, virtual laboratories

## INTRODUCCIÓN

Las simulaciones PhET proporcionan simulaciones científicas y matemáticas divertidas, gratuitas, interactivas y basadas en la investigación [1]. El uso de las mismas se generalizó de manera prácticamente global y con una mayor incidencia en América Latina y el Caribe producto de la pandemia Covid19 [2]. Poseen una gran aplicación para la rama de la Física, Matemática y la Biología en diferentes niveles de enseñanza, teniendo un componente didáctico desarrollador ya que las mismas se pueden utilizar en distintos momentos de la clase ya sea como motivación o como parte de las conclusiones. Es importante señalar el rol del docente en este tipo de actividad es la de facilitar el proceso de construcción del aprendizaje por medio de la formulación de objetivos y preguntas guías que orienten la discusión y análisis por parte de los equipos de trabajo de estudiantes. Como lo muestran en diversas investigaciones, mediante este enfoque los estudiantes pueden formular sus propias conclusiones respecto a la temática sobre la cual se trabaja y se aprende de forma significativa [3], [4].

La ventaja tanto para el docente como para los estudiantes es que las simulaciones son gratuitas y que pueden trabajarse, una vez que se descarguen las mismas, sin necesidad de conexión a internet. Además, PhET ofrece la posibilidad a los docentes de formarse en el uso sistemático de los simuladores y la implementación de metodologías activas por medio de sus talleres virtuales que ofrece la plataforma de simulaciones [5], [6]. En la Cujae los profesores del departamento de Física General imparten diferentes contenidos que abarcan los temas desde la Física Mecánica hasta la Física Nuclear y la vinculación de las simulaciones virtuales en nuestras clases han enriquecido el quehacer docente de cada día, por lo que las simulaciones PhET fueron acogidas con una buena aceptación por los docentes y estudiantes.

En el enero curso 2024 se realizó la impartición de un curso a distancia “Aprendizaje activo STEM con simulaciones interactivas PhET” a profesores de diferentes universidades de Cuba como la Cujae, la Universidad de Matanzas y de Pinar del Río. El mismo fue impartido por la profesora Claudia Carolina Amaya de Serrano, la cual ejerce como Coach de Desarrollo Profesional de PhET con residencia en El Salvador.

El curso consistió de 8 clases a distancia teniendo un total de 45 horas distribuidas en 8 semanas, teniendo 15 horas de contenido conjuntamente de 10 horas de encuentros sincrónicos, y a su vez 20 horas de diseño e implementación de actividades PhET en la clase. Las actividades asincrónicas estuvieron soportadas en las Plataformas del curso virtual como Google Sites y Google Classroom. Los encuentros sincrónicos se realizaron vía Meet de 1h cada semana, siendo los domingos a las 11:00 am Hora Cuba, los cuáles se grabaron y se realizaron capturas de pantalla de los participantes. Se realizó además un seguimiento en WhatsApp para compartir con otros participantes y establecer una comunicación continua con la facilitadora de la especialización.

## DESARROLLO

Se muestra el diseño de un plan de una clase, la cual fue la tarea integradora del curso impartido, con la implementación de una simulación PhET llamada “Radiación de un cuerpo negro” (figura 1). La asignatura Física General 3 (Mecánica Cuántica y Física Nuclear) se impartió a los estudiantes de tercer año de la carrera de ingeniería Química del Curso por Encuentros y desde el primer encuentro se utilizaron al menos dos simulaciones interactivas PhET puesto que el sitio no provee de un número elevado de simulaciones para el tema de Mecánica Cuántica.

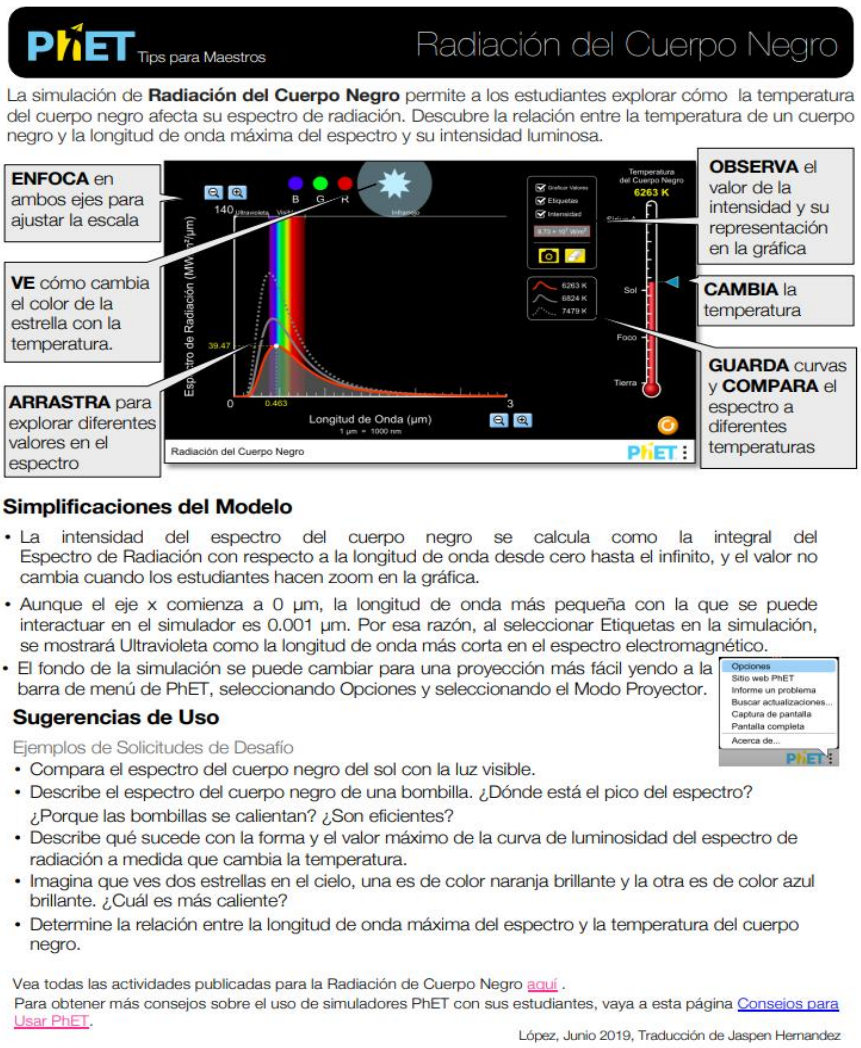



**Figura 1: Captura de pantalla sobre la ayuda para los docentes acerca de la utilización de la simulación virtual en la clase.**

Esta simulación virtual permite a los estudiantes explorar cómo la temperatura de un cuerpo negro afecta su espectro de radiación electromagnética, introduciendo de esta manera la ley de desplazamiento de Wien y el concepto temperatura de color. Los docentes tienen acceso a consejos específicos sobre las simulaciones incluyendo videos, recursos para enseñar con simulaciones y actividades compartidas por la comunidad de docentes.

## ***DISEÑO DEL PLAN DE CLASE:***
## ***RADIACIÓN TÉRMICA Y CUERPO NEGRO***

| ***Resumen*** |
|---|
| Curso: Física General III (Mecánica Cuántica y Nuclear) |
| Nivel académico Tercer Año de la carrera Ing. Química (Curso por Encuentros) / Edad de los estudiantes: 20 y 40 años |
| Prerrequisito:<br>• Conocimiento de Matemática I y II y Química General I. |
| Necesidades especiales de los estudiantes:<br>• Explicación de procedimientos matemáticos como despeje, derivadas e integrales de primer orden. |

Objetivos de Aprendizaje:

- Analizar la dependencia de la temperatura de un cuerpo (negro u ordinario) con su longitud de onda de acuerdo con la Ley de desplazamiento de Wien. Diferenciar la temperatura real de un cuerpo de su temperatura de color.

Materiales y tecnología necesaria:

- Teléfonos móviles inteligentes, laptop, conexión a internet y aula de conferencia.

Tiempo estimado: 15 min. Como se está impartiendo una conferencia, se ha tomado la simulación como motivación del tema centrado en un experimento real que se realizó previamente al amanecer y al mediodía. La clase se realiza en el horario de la tarde.

| **Calentamiento / Pre-Laboratorio** | **x minutos** |
|---|---|
| *El/la profesor/a…* | *Los/las estudiantes…* |
| • 2 min. La profesora motiva la clase con la simulación PhET y la sensación térmica que sentimos a diferentes horas del día. | • 2 min los estudiantes se dan cuenta de que la temperatura del Sol está relacionada con la sensación térmica que sentimos y las diferentes horas del día. |
| **Tiempo de Juego Abierto** *(si los estudiantes tienen acceso a un dispositivo)* | **x minutos** |
| *El/la profesor/a…* | *Los/las estudiantes…* |
| • 5 min. La profesora los invita la utilizar la simulación de radiación del cuerpo negro para observar el pico máximo que se representa en la longitud de onda de la luz emitida a diferentes temperaturas. | • 5 min. Manipulan la simulación variando la temperatura y se dan cuenta cuánto vale la longitud de onda que proporciona el Sol aproximadamente en cada caso. |
| **Compartir en Discusión Grupal** *(si tuvieron Juego Abierto)* | **x minutos** |
| *El/la profesor/a…* | *Los/las estudiantes…* |
| • 5 min. La profesora los motiva a construir un conocimiento con el compañero de clase haciendo que el aprendizaje sea significativo, autónomo y en colaboración conjunta; (indagación con la clase entera) [4]. | • 5 min. Los estudiantes discuten sus ideas entre ellos, realizando equipos de tres estudiantes y realizando hipótesis de los que se estudiará en la conferencia gracias a la simulación realizada |
| **Actividad centrada en una simulación** *(incluir cualquier discusión)* **Actividad con la Clase Entera u Hoja de Actividades** | **x minutes** |
| *El/la profesor/a…* | *Los/las estudiantes…* |
| • 3 min. La profesora los motiva a prestar atención a la conferencia ya que el conocimiento construido gracias a la simulación se complementa con las ecuaciones correspondientes al tema relacionado con la simulación anteriormente realizada. Enfatiza a seguir utilizando las simulaciones Phet para relacionar los temas a estudiar con lo aprendido. | • 3 min Los estudiantes quedan encantados con la simulación y con la organización de la clase ya que relaciona la simulación con la Clase Demostrativa Interactiva. Desean seguir vinculados con las mismas y refieren que la motivación centrada en simulaciones es completamente nuevo para ellos. |

***Extensión***

**Incluir aquí todo material para los estudiantes necesarios para esta clase (si aplica):**

- Hoja de predicciones para una Clase Demostrativa Interactiva

***Título de la simulación***: "Espectro de radiación del cuerpo negro"

Descripción de la demostración: Estaremos en presencia de un cuerpo que presenta una temperatura determinada y con una gráfica que representa una curva correspondiente a un máximo.
En la figura 2 se muestra una imagen de los estudiantes utilizando la simulación PhET



**Figura 2: Estudiantes empleando la simulación: Espectro de radiación del Cuerpo Negro**

***Pregunta de Predicción***: Imaginen el Sol a diferentes horarios (amanecer, al mediodía y al atardecer) ¿A qué se puede deber estos cambios de tonalidad en su color?

***Predicción***: Deben existir cambios, ya que los mismos son paulatinos, dependiendo de la hora del día. Estos cambios pueden depender determinar la sensación térmica que percibimos.

***Explicación inicial***: La sensación térmica puede depender de la tonalidad del color amarillo que se observa. Dependiendo la hora será la sensación térmica. ¿Será la temperatura del Sol cambia durante el día?

***Ejecución de la demostración***: Manipule la simulación, es decir, aumente o disminuye la temperatura de la estrella ¿Dependerá la longitud de onda de la luz emitida de la temperatura que se varía? ¿Por qué somos capaces de observar las tonalidades diferentes del Sol?

***Resultados y Discrepancias***: Si disminuimos la temperatura de la estrella, tomando como caso el Sol, vemos que aumenta la longitud de onda de su luz donde su emisividad es máxima. ¿Pudiera concluirse entonces que al amanecer, la temperatura del Sol debe ser menor que la que pudiera existir al mediodía? ¡Imposible! ¿Existirá otra temperatura para relacionar las tonalidades de un cuerpo con la longitud de onda de su tonalidad visible?

***Explicación final:*** Somos capaces de observar las tonalidades amarillas del Sol ya que la longitud de onda de su radiación se encuentra dentro de la región visible del espectro electromagnético. Pero los cambios en las tonalidades que apreciamos a diferentes horas del día no dependen de cambios en su temperatura que es la misma siempre. Investigue esta paradoja relacionada con la llamada **temperatura de color y defínala**.

***Conclusiónes***: Existe una ecuación que relaciona la temperatura con la longitud de onda llamada ley de desplazamiento de Wien. Gracias a la misma podemos estimar la **temperatura de color** del Sol a diferentes horas del día. Cuando su color es amarillo, la longitud de onda correspondiente a este color se ubica entre 570 nm y 580 nm y aplicando dicha ley, su temperatura de color sería entre 5084 K y 4996 K o sea alrededor de los 5000 K.

**CONCLUSIONES**

Se concibió un plan de clase que organiza el PEA de una Clase Encuentro y se tomó como ejemplo su implementación con estudiantes de tercer año del Curso por Encuentros de la carrera de Ingeniería Química. Se puso de manifiesto la aceptación y la aplicabilidad de la simulación virtual interactiva PhET que nos proporcionó el sitio en los estudiantes y docentes, rompiendo el paradigma tradicional de impartir las clases encuentro de la asignatura Física General 3 sin relacionar las simulaciones en la clase presencial, dejándolas solamente para la actividad de laboratorio a distancia. Se recomienda potenciar el uso de las simulaciones PhET con otros tipos de clase como conferencias, clases práctica y prácticas de laboratorio ya sea en el curso regular diurno como para el curso por encuentros.

## REFERENCIAS

1. PhET https://phet.colorado.edu (2020)

2. ROSERO L.E. at al (2022) Simulaciones en PhET como estrategia en tiempo de Covid 19 para generar aprendizaje significativo al potenciar la competencia explicación de fenómenos Panorama 16 (30).

3. AMAYA L.E. (2024) La indagación en el aula mediante el uso de simulaciones PhET Blog Educativo Red Educa

4. VÁSQUEZ R. et. Al. (2023) Impacto del simulador PhET en la capacidad de indagación con estudiantes universitarios Ciencia Latina 7 [35]

5. MERA J.R. y López W.O. (2023) Simuladores PhET: una herramienta didáctica para el mejoramiento del rendimiento académico de estudiantes en Energía Mecánica Invesgar 4 (4)

6. CARRIÓN F.A. et. al. (2020) Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de Química, Cienciamatria 6(3)

**SOBRE LOS AUTORES**

**Yusley Llorente Rodríguez. (La Habana, 1981)**
Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica (2007), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Profesora de laboratorios del Departamento de Física de dicha Universidad desde 2003 e Instructora desde 2008. Ha impartido docencia de Física para estudiantes de ingeniería en diferentes especialidades. Actualmente investiga en temas de didáctica del laboratorio docente de Física en las carreras de ciencias técnicas Máster en Tecnología Educativa (2023). Ha presentado sus resultados en diferentes foros de carácter nacional e internacional y en revistas especializadas.

**Juan José Llovera González (La Habana 1953)**
Profesor de Física, Instituto Pedagógico "Enrique José Varona" de la Universidad de la Habana, La Habana (1972).
Lic. en Física, Universidad de la Habana (1981) Dr. en Ciencias Técnicas Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echevarría" La Habana (1998). Es profesor titular consultante de Física General de dicha Universidad. Desarrolla investigaciones en Física de Superficies y Coloides y en Enseñanza de la Física. Ha impartido conferencias y docencia en diplomados y maestrías en Universidades de México, Colombia, Honduras, Bolivia y Chile. Ha presentado sus resultados en diferentes foros de carácter nacional e internacional y en revistas especializadas. Es vicepresidente de la Sociedad Cubana de Física (SCF) en la sección de enseñanza.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MATERIAL INTERACTIVO PARA ESTUDIAR HISTORIA DE AMÉRICA PRECOLOMBINA Y COLONIAL

**Mabel González Dumenigo 1, Adalberto Méndez Gómez 2, Idalmis Cruz Negrín 3, María Teresa Álvarez Pérez**

Ministerio de Educación Superior. Centro Universitario Municipal. Placetas. Provincia Villa Clara.

e-mail: mgdumenigo@uvlv.cu
vladtepet.011020@gmail.com
icnegrin@uclv.cu
maralvarez@uclvuclv.cu

**RESUMEN**

La enseñanza de la Historia en la actualidad demanda de la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, así como de un aprendizaje que mueva el pensamiento desarrollador y creativo de los estudiantes, por el motivo es que se presenta un Material Auxiliar para el Autoestudio con carácter interactivo de la asignatura Historia de América que se imparte en 2do año de la Licenciatura en Marxismo leninismo e Historia. La propuesta contribuye a la solución de uno de los problemas profesionales de la carrera en el territorio y responde al objetivo número cuatro de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2020-2023 de la Asamblea General de las Naciones Unidas. La investigación desarrollada de tipo cualitativa, exigió el empleo de métodos del nivel teórico, como el histórico-lógico, análisis y síntesis, deductivo-inductivo y empíricos, como el análisis documental, para constatar las orientaciones que se ofrecen en los documentos de la asignatura y la carrera, observación, para comprobar las necesidades como método fundamental para recoger información pedagógica, encuesta, con el objetivo de obtener información sobre el estado real del problema de investigación El Material posee un alto valor metodológico al ofrecer los hechos más relevantes utilizando imágenes, videos y otros recursos que propician un aprendizaje interactivo. La propuesta motiva el conocimiento de la asignatura. Su estructura consta de tres capítulos y cada uno propone al finalizar preguntas de consolidación de los conocimientos que dan respuesta a los objetivos del Programa de estudio para segundo año de la licenciatura Marxismo e Historia.

**PALABRAS CLAVE**: Aprendizaje, Historia, Interactivo, Tecnologías

## QUALIFICATION. INTERACTIVE MATERIAL TO STUDY THE HISTORY OF PRE-COLOMBIAN AND COLONIAL AMERICA

**ABSTRACT**

The teaching of History currently demands the application of information and communications technologies as well as learning that moves the developmental and creative thinking of students, which is why an Auxiliary Material for Self-study is presented. with an interactive nature of the subject History of America that is taught in the 2nd year of the Bachelor's Degree in Marxism-Leninism and History. The proposal contributes to the solution of one of the professional career problems in the territory and responds to objective number four of Sustainable Development of the 2020-2023 Agenda of the United Nations General Assembly. The qualitative research developed required the use of theoretical level methods, such as historical-logical, analysis and synthesis, deductive-inductive and empirical, such as documentary analysis, to verify the guidelines offered in the course documents. and the race, observation, to check the needs as a fundamental method to collect pedagogical information, survey, with the aim of obtaining information about the real state of the research problem. The Material has a high

methodological value by offering the most relevant facts using images, videos and other resources that promote interactive learning. The proposal motivates knowledge of the subject. Its structure consists of three chapters and each one proposes at the end questions to consolidate knowledge that respond to the objectives of the Study Program for the second year of the Marxism and History degree.

**KEYWORDS**: Learning, History, Interactive, Technologies

## 1. INTRODUCCIÓN

La Educación Superior promueve la innovación educativa, pedagógica y didáctica, como una vía para encontrar nuevas formas de hacer, promover soluciones creativas a problemas identificados y contribuir desde sus funciones al desarrollo local y territorial, incentivando el fortalecimiento de universidades abiertas a la comunidad, sus carencias y fortalezas y que responda a implementar los Objetivos de Desarrollo Sostenible que define la Agenda 2030, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas desde el año 2016, en su objetivo número cuatro que expresa garantizar una educación inclusiva, equitativa, de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.

La Pedagogía y la Didáctica de la Educación Superior en las últimas décadas están llamadas a responder de manera creativa y dinámica a los problemas y desafíos de la educación en tiempos de cambio. El impacto de las tecnologías, la aplicación de modelos de enseñanza aprendizaje basado en competencias, centrado en el alumnado, un amplio intercambio de información a través de las nuevas tecnologías digitales, está aún demandando un cambio en las prácticas educativas que privilegia el desarrollo de una cultura de la innovación educativa, pedagógica y didáctica, toda vez que, en ellas descansa la posibilidad de conseguir y consolidar la calidad universitaria [1].

Varios autores, se han referido a la utilidad de las tecnologías de la informatización y la comunicación, en el contexto educativo, por los beneficios que pueden ofrecer estos medios en el desarrollo de procesos docentes a distancia, permitiendo optimizar tiempo, recurso, promoviendo espacios interactivos entre estudiantes y profesores, acceso a variedad de fuentes de información , estas experiencias constituyeron una opción válida, que cobró relevancia durante la pandemia de covid 19, cuando estudiantes y profesores debieron permanecer en el confinamiento.

Al respecto, Pastran, Gil y Cervantes (2020) [2]., consideran que los docentes están llamados a ejercer su rol de líderes comunitarios, para apoyar a su comunidad estudiantil por medio de recursos como las TICs, a innovar con actividades que tradicionalmente solo se hacían en un salón de clases con una pizarra pero que ahora requieren ser realizadas en medios digitales como redes sociales, sitios webs, entre otros.

Señalando la utilidad de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de enseñanza aprendizaje, sus aportes a la mediación pedagógica en la educación superior, Buitrago, Cortés y Ramos (2022) [3]., refiere en su estudio que una de las debilidades que presenta este proceso en los últimos años, es el bajo nivel de articulación con estas tecnologías. Teniendo en cuenta estas investigaciones y las necesidades que muestran los estudiantes para aprender la Historia de América como asignatura que potencia valores humanos y patrióticos que se manifiestan en el modo de actuación de las personas en el mundo contemporáneo es que se propone un material auxiliar para el autoestudio interactivo en la asignatura historia de América. Precolombina y colonial para 25 estudiantes de muestra que se hicieron coincidir con la población.

## 2. LA HISTORIA DE AMÉRICA Y SU SIGNIFICACIÓN PARA FORTALECER VALORES HUMANOS Y PATRIÓTICOS EN LOS ESTUDIANTES DE TERCER DE LA LICENCIATURA MARXISMO E HISTORIA.

La Historia como asignatura posee un gran valor instructivo, educativo, correctivo y desarrollador en la preparación de las futuras generaciones. En tal sentido Pendás Díaz Horacio [4] omenta que la enseñanza de la Historia es el encuentro con la memoria, con el rostro de un pueblo heroico que ha pagado con la

sangre y el sudor de generaciones el precio de su independencia.

La enseñanza de la Historia desempeña un lugar decisivo en la formación de una cultura general e integral del cubano, constituyéndose en un objetivo de prioridad y una dirección principal del trabajo del Ministerio de Educación. Para cumplir esa función en la enseñanza , la asignatura, brinda a los estudiantes un sistema de conocimientos sobre los acontecimientos, personalidades, procesos, tendencias y lecciones fundamentales de la Historia del continente americano, que deben descubrir los estudiantes en las relaciones de continuidad entre el pasado y el presente, como elemento imprescindible para que se sientan sujetos activos y constructores de la Historia que transcurre y asuman la convicción de que un mundo mejor es posible.

La Historia de América se dirige a que los estudiantes se identifiquen con el tema, desarrollen habilidades y un pensamiento histórico con el cual puedan enfrentar la vida. Debe por consiguiente encaminarse a: la formación de un sistema de conocimientos históricos y de habilidades para el estudio de la Historia y el desarrollo de una cultura humanista, el desarrollo de sentimientos, ideales, convicciones y en general de valores con los cuales el hombre puede actuar correctamente en sociedad y la formación de un pensamiento histórico, que no se reduce a la comprensión de la relación pasado-presente-futuro, sino a la comprensión del lugar de cada sujeto en esa relación. Además de permitirles a los estudiantes identificarse con su Patria y a su vez con el lugar o región donde vive.

Es la Historia quien, de manera fundamental, se encarga de formar el concepto del desarrollo progresivo de la humanidad, de sus bases científicas; ha de enseñar a comprender la esencia de los fenómenos sociales, sus causas y los criterios para enjuiciarlos y valorarlos. Es la Historia una de las disciplinas que proporciona amplias posibilidades para establecer el vínculo entre la escuela y la vida al asumir posiciones correctas.

Los procesos de globalización y los acontecimientos internacionales actuales han contribuido a impulsar las ideas acerca del desarraigo a partir de que el mundo no tiene fronteras, tampoco tiene historia. Para contribuir a erradicar dentro de los jóvenes universitarios, futuros profesionales de la educación estas tendencias del mundo contemporáneo es que se propone en esta investigación un material auxiliar para el autoestudio interactivo en la asignatura Historia de América Precolombina y Colonial para estudiantes de tercer año de la licenciatura en Marxismo Leninismo e Historia del centro universitario municipal de Placetas.

La finalidad de esta educación universitaria es formar personalidades integrales, poseedoras de una cultura general, virtuosas políticamente conscientes, éticamente comprometida con una educación de calidad como establece el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 4 de las Naciones Unidas para el 2030.

En ello, está la importancia de la Historia de América y su conocimiento. La historia no es simplemente el culto al pasado, sino aprehensión del presente y construcción del futuro. La historia es la ciencia que te permite conocer como fue la vida del hombre en el transcurso de los siglos es decir la evolución humana, en este proceso, los alumnos no solo conocerán esa evolución, sino leyes y rasgos que le caracterizan, como el hombre con su trabajo, su innovación, su cultura y su pensamiento la fueron transformando paulatinamente hasta llegar a la actualidad.

La asignatura aporta los valores y todo lo que la sociedad ha acumulado hasta este instante, asimilándolo y además incorporándolos de forma consciente a la sociedad en que viven y las exigencias del momento histórico – social en que se desarrolla.

La historia es el desarrollo de la humanidad desde los tiempos remotos hasta nuestros días ya que muestra el poblamiento americano, cómo los hombres trabajaban, cuáles fueron sus instrumentos y la forma de distribución, así como el tipo de organización social, su economía y estructura socio – político.

El tema a investigar profundiza en la cultura que generaron para bien de su época y las épocas futuras los hombres en el desarrollo histórico. Lombardi (2000) expresó sobre la enseñanza de la historia "El maestro y profesor de historia deben motivar a partir de experiencias e intereses concretos del alumno." [5]

Sin dudas la Historia como ciencia social le corresponde el papel, de traernos al mundo actual, las vivencias de esos individuos, de esos pueblos, para aprender de ellos y sacar experiencias.

La profesora Francisca López Civeira, junto a otros historiadores planteó.

¨La historia, no es el simple culto al pasado, sino aprehensión del presente y construcción del futuro a partir de lo que nos identifica como somos y define lo que debemos ser´´ sin dudas aprender del pasado, nos da la posibilidad de cambiar el presente y buscar el mejor camino y la solución más adecuada para el futuro de la patria y de la humanidad¨. [6]

El Material auxiliar para el autoestudio con carácter interactivo propicia la indagación por parte de los estudiantes, aspecto que constituye la piedra angular de una pedagogía que se plantea el desarrollo de este a partir de su esfuerzo intelectual. El estudiante tiene que buscar información, conocimiento, estudiar, investigar por sí mismo; de esa forma aprenderá mejor y fijará en la mente los resultados de su búsqueda, por tanto, la enseñanza debe cumplir con las expectativas y necesidades de la Cuba de hoy, manejando de forma adecuada cada uno de los objetivos propuestos y de manera muy especial el conocimiento del lugar donde vive y como este se inserta dentro de los fenómenos que conforman la realidad mundial de forma que recree su aprendizaje por paisajes , figuras ,videos que resaltan la naturaleza , el medio ambiente.

El análisis de los procesos históricos que contiene el material auxiliar, no solo se apoya en las fuentes bibliográficas y documentos sino también en grabados, pinturas, fotografías mapas testimonios orales y escritos en la correspondencia personal y en la literatura, así como en los cultos espirituales y religiosos. Si de fenómenos o procesos se trata, la historia no debe ser exclusivista, sectaria, inherente a un pedazo temporal, geográfico, sino que debe cubrir las exigencias de la cultura universal.

La educación en las tradiciones no es solo un proceso de influencia política e ideológica, es además una exigencia que asegura la propia existencia, conservación y desarrollo de las tradiciones. La ruptura de los mecanismos educativos conduce a la pérdida de la experiencia y al aniquilamiento de las conductas y actitudes acumuladas a través de los años, hasta que definitivamente desaparecen.

## 3. LIBROS DIGITALES INTERACTIVOS, SU LECTURA, CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS PARA LA ENSEÑANZA.

El Material auxiliar elaborado en la presente investigación se corresponder con los requerimientos de un libro digital interactivo, se tuvo en cuenta para la propuesta el estudio y la recopilación de información extraída con todo respeto de valiosa bibliografía que recoge los apuntes de importantes autores y que se encuentran citadas en la bibliografía del Material.

Es importante que los estudiantes conozcan que la propuesta interactiva da respuesta a las prioridades de la enseñanza universitaria al propiciar:

- El empleo de una pedagogía innovadora y orientada a la acción.
- La transformación de estilos y métodos en la dirección del proceso que contribuyan a la formación de egresados competentes, creativos e innovadores.
- ESTIMULAR en los estudiantes el desarrollo del conocimiento y la conciencia para participar activamente en el logro de una sociedad sostenible.

Y además contribuye al modelo del egresado de la Licenciatura en Marxismo Leninismo e Historia a partir de la implementación de nuevas formas de dirección del proceso de enseñanza aprendizaje a partir del uso de métodos novedosos centrados en el estudiante y mediatizados por el uso de las tecnologías como medios de enseñanza, herramientas de trabajo y comunicación y fuentes de conocimientos.

La propuesta se corresponde con la metodología de un libro digital en lo que refiere a un concepto general que se utiliza para designar la versión digital de una publicación impresa o cualquier contenido digital organizado como libro. Los libros electrónicos pueden estar armados en diferentes formatos, según su uso y el dispositivo en el que van a ser almacenados. [7]

Numerosas investigaciones han profundizado en el estudio del tema definiendo como un libro electrónico, o ebook, en inglés, un texto que en lugar de ser publicado de forma tradicional, se publica en formato digital para mejorar la experiencia de los lectores los que desde su primera aparición, han despertado la curiosidad en los lectores más convencionales, y algunos los han adoptado como su método preferido para la lectura debido a la comodidad que supone en todos los sentidos, leer un texto de forma electrónica en cualquiera de los medios que hay para hacerlo. [8]

**Principales características de un libro digital**

Los autores se afilian en su investigación a las publicaciones y estudios aportados por la digital-editorial.com que considera un libro digital aquel que propone un.

Texto fluido. Gracias a esto podemos leer en cualquier tamaño de pantalla y el texto se ajusta automáticamente. Si leemos en una computadora puede tener unas 30 palabras por línea.

Formato de texto. El texto puede ser ajustado a las necesidades del lector en cuanto a tamaño, tipo de letra, color y fondo. De igual forma que el texto fluido, no se pueden alterar por el usuario.

**Ventajas de leer en digital**

Lo puedes descargar las veces que quieras desde tu cuenta, obviamente no se desgasta, no se pierde, no se rompe, no se moja, puedo seguir así, pero creo que con eso se entiende.

También lo puedes prestar y estos libros siempre regresan.

Disponibilidad. Podemos comprar el libro en cuanto salga y en ocasiones desde antes, siempre desde la comodidad del hogar, desde el trabajo.

Más opciones. Hay muchos libros realmente buenos que son escritos por autores independientes, y sus títulos solo están disponibles en formato electrónico.

Amigable con el medio ambiente. Un último beneficio que es la eliminación de la tala de árboles. Que quieran o no, la industria de la publicación impresa hace mucho para contribuir con la deforestación mundial.

## 4. LIBROS DIGITALES INTERACTIVOS

Considerando los criterios de digital-editorial.com [9]. El libro digital interactivo es el que tiene algún tipo de interactividad que los hace ricos en contenido multimedia como audio, video, juegos, cuestionarios. Son muchas cosas que se pueden hacer con este tipo de libros, pero lo que más se llega a usar es:

- Galería de imágenes
- Video y Audio
- Ejercicios interactivos

La diferencia entre un libro digital tradicional y un libro digital interactivo es muy simple señala este sitio. Un eBook tradicional está hecho de texto e imágenes, mientras uno interactivo tiene, como ya mencioné, contenido multimedia. [9]

## 5. RESULTADOS

La población y muestra de la investigación, coinciden y fueron conformadas por 48 alumnos del Curso por Encuentro (2023 y 2024) de la carrera Licenciatura en Historia en el Centro Universitario Municipal de Placetas.

La aplicación de los métodos empíricos declarados, permitió diagnosticar el estado inicial en el nivel de conocimientos de los alumnos, en relación con el dominio de los contenidos vinculados a la Historia de América Precolombina y Colonial.

Se realizó un análisis de los Programas de Estudio de la carrera y su Plan Calendario, lo que permitió constatar que los estudiantes de tercer año tienen carencias en el aprendizaje de los contenidos básicos de la asignatura.

**Resultados antes y después de la aplicación de la propuesta.**

Indicadores:

1. Dominio de los conceptos generales de la asignatura
2. Argumentar hechos fundamentales del periodo a estudiar.
3. Valorar significación de figuras significativas de la Historia de América.

Los estudiantes son capaces de:

**Indicador 1**. Dominar los conceptos generales de la asignatura 8 estudiantes (16.66%).

Tienen algún conocimiento de los conceptos generales de la asignatura 10 estudiantes (20.83%).

No pudieron identificar correctamente los conceptos generales de la asignatura 30 estudiantes (62.50%).

**Indicador 2**.Pudieron argumentar hechos fundamentales del periodo a estudiar 9 estudiantes (18.75%)
Argumentan hechos fundamentales del periodo a estudiar 13 estudiantes (27.08%).
No pudieron argumentar correctamente hechos fundamentales del periodo a estudiar 26 estudiantes (54.16%).

**Indicador 3**. Son capaces de valorar figuras significativas de la Historia de América 12 estudiantes (25.0%).

Demostraron algún conocimiento de figuras significativas de la Historia de América 11 estudiantes (22.91%).

No pudieron de valorar correctamente figuras significativas de la Historia de América 25 estudiantes (52.08%).

**Después de la aplicación de la Propuesta se constataron los siguientes resultados:**

**Indicador 1.** Dominan los conceptos generales de la asignatura 30 estudiantes (62.50%).

Tienen algún dominio de los conceptos generales de la asignatura 12 estudiantes (25.0%).

No dominan los conceptos generales de la asignatura 6 estudiantes (12,50%).

**Indicador 2**. Argumentan hechos fundamentales del periodo a estudiar 30 estudiantes (62.50%)
Demostraron algún conocimiento para argumentar hechos fundamentales del periodo a estudiar

13 estudiantes (27.08%).

No pudieron argumentar correctamente hechos fundamentales del periodo a estudiar 5 estudiantes (10.41%).

**Indicador 3**.
Valoran figuras significativas de la Historia de América 25 estudiantes (52.08%).
Demostraron algún conocimiento sobre la valoración de figuras de la Historia de América 20 estudiantes (41.66%).
No pudieron valorar la significación de figuras de la Historia de América correctamente 3 estudiantes (6.25%).

## 6. PROPUESTA DE MATERIAL AUXILIAR INTERACTIVO.

**Estructura. Tres Capítulos con 72 Páginas.**

Consta de una portada con la identificación de titulo del material e imágenes acordes al contenido de la asignatura, armónicas y con colorido, refrescante a la vista del lector.

Páginas:

1- Imagen sobre la conquista y colonización y nombre de lo autores.

2 - Dedicatoria

4 y 5 - Índice con imágenes.

6y7 - Cita de referencia

7y8 - Prólogo.

9 - Capítulo 1 Las Altas Culturas de América. (Imágenes, video, mapas y gráficos y actividades de consolidación)

32 - Capítulo 2. Inicio de la colonización de América. (Imágenes, video, mapas y gráficos y actividades de consolidación)

41 - Capítulo 3 Las Trece Colonias de Norteamérica. (Imágenes, video, mapas y gráficos y actividades de consolidación)

5 - Capítulo 4 Procesos Independentistas en América. (Imágenes, video, mapas y gráficos y actividades de consolidación)

71 - Bibliografía

72 - Imagen final.

**Los resultados** obtenidos demostraron que los/las estudiantes que participaron como muestra (48) manifestaron el uso de un enfoque de autoestudio y motivación por los contenidos de la asignatura.

Los autores de la investigación concluyeron que utilizando diferentes materiales y métodos los estudiantes mostraron profundidad por el estudio de conceptos, hechos, figuras que refleja el material auxiliar propuesto para su aprendizaje activando conocimientos previos, monitorearon sus progresos según metas que establecieron previamente y utilizando galería de imágenes, video y audio, ejercicios interactivos y búsqueda de fuentes de Información, entre otras. Además, la investigación posee un impacto social por cuanto puede ser aplicada en otras instituciones educativas del municipio, provincia y país por su nivel de actualidad. Se potencia en los actores locales a través del plan de ofertas de postgrados del Centro Universitario Municipal la capacitación y la superación profesional y la preparación metodológica de los docentes del sistema MINED.

El material digital que se ofrece encierra un impacto económico: dado en el ahorro por la no contratación de consultores externos, el diseño de materiales auxiliares que tributan a una pedagogía innovadora y porque la elaboración de este material digital de 72 páginas es decir de más de 50 páginas a nivel internacional está valorado en 370 USD.

Agregar a ello el beneficio económico a los estudiantes de la carrera de Licenciatura en Marxismo Leninismo e Historia en el territorio de Placetas que la componen 25 estudiantes los que han experimentado de forma parcial esta experiencia pedagógica de ellos egresados en el 2023 con más de cinco puntos en su ejercicio de la profesión 11 de 12 estudiantes lo que representa un 91.66 %. Además de la contribución del material a otros estudiantes de la especialidad en otros territorios

## 7. CONCLUSIONES:

El Material auxiliar interactivo digital propuesto en la presente investigación, incluye actividades con carácter sistémico, transitando de lo general a lo particular, de lo más sencillo a lo más complejo; mediante las cuales el estudiante adquiere conocimientos esenciales recreando su imaginación e integrando un aprendizaje novedoso basado en imágenes, videos, audios, pinturas vinculando el arte a la adquisición de conocimientos históricos con carácter generalizador. Estas actividades tienen en cuenta el nivel de los estudiantes, sus intereses, motivaciones, necesidades y diferencias individuales

La propuesta posee un nivel ascendente de complejidad y no es lineal en su organización ya que toma los contenidos de cada unidad y los va incorporando a la siguiente buscando que al final, el estudiante haya adquirido habilidades y que contribuya a su cultura general integral.

## REFERENCIAS

1. MACANCHI PICO, Mariana Lucia et al. (2020). Innovación educativa, pedagógica y didáctica. Concepciones para la práctica en la Educación Superior. *Revista Universidad y Sociedad,* 12(1), 396-403. https://orcid.org/0000-0001-5610-6849

2. PASTRAN, María ; GIL, Numas Armando, & CERVANTES, Derly. (2020). En tiempos de coronavirus: las TIC S son una buena alternativa para la educación remota. *Revista Boletín Redipe*, 9(8), 158-165. https://doi.org/10.36260/rbr.v9i8.1048

3. BUITRAGO PACHÓN, Flor Blanca; CORTÉS MALAGON, Diana Milena; & RAMOS CAICEDO, Ángela Viviana (2022*). Enseñanza-aprendizaje de la educación ambiental en primera infancia mediante una estrategia pedagógica apoyada en Tecnologías del Aprendizaje y acceso al Conocimiento.* Fundación Universitaria Los Libertadores. https://doi.org/http://hdl.handle.net/11371/5380

4. DIAZ PENDAS, Horacio (2018). *Enseñar Historia*. Cuba Si. http://cubasi.cu › item › 78327-desde-la-escuela-el-maest
5. LOMBARDI, Angel. (2000). La Enseñanza de la Historia Consideraciones Generales. Revista. *Teoría y didáctica de las Ciencias Sociales*. enero – diciembre, numero 005. Universidad de Venezuela pp.9-23
6. LÓPEZ CIVEIRA, Francisca. (2001). *Formación y Liberación de la Nación*. Colectivo de autores. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba.

7. COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Disponible en : https://www.cepal.org › preguntas-frecuentes-para-ebooks

8. THEPOWER EDUCATION (2022) Disponible en: https://thepower.education › Blog

9. VÁZQUEZ, S*ergio* (2024). Digital-editorial.com *Disponible en:* https://digital-editorial.com ›

**Sobre los autores.**

Primer Autor (Mabel González Duménigo)1 Centro Universitario Municipal. Placetas. Provincia Villa Clara. Licenciada en Humanidades especialidad Marxismo Leninismo e Historia. Responsable de la carrera Licenciatura en educación especialidad Marxismo Leninismo e Historia. Profesora Asistente. Máster en Ciencias de la Educación. Ministerio de Educación Superior.

Segundo Autor (Adalberto Méndez Gómez) Centro Universitario Municipal. Placetas. Provincia Villa Clara. Estudiante de cuarto año de la carrera Licenciatura en educación especialidad Marxismo Leninismo e Historia.

Tercer autor (Idalmis Cruz Negrín). Centro Universitario Municipal. Placetas. Provincia Villa Clara. Profesora de la Licenciatura en Preescolar. Licenciada en Educación Preescolar. Profesora Instructora. Máster en Ciencias de la Educación. Ministerio de Educación Superior.

Cuarto Autor (María Teresa Álvarez Pérez). Centro Universitario Municipal. Placetas. Provincia Villa Clara. Licenciada en Educación Primaria. Responsable de la carrera Licenciatura en Educación Primaria. Profesora Instructora. Máster en Ciencias de la Educación. Ministerio de Educación Superior.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LOS GUAYABOS: PATRIMONIO DE LA CUJAE

**Autora: Gilda María Vega Cruz**

Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Echeverría", CUJAE, Dr. en Ciencias Pedagógicas,
gilda@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La Ciudad Universitaria "José Antonio Echeverría", Cujae fue un sueño de José Antonio Echeverría Bianchi, presidente de honor de la Federación Estudiantil Universitaria de Cuba (FEU). La Cujae fue inaugurada el 2 de diciembre de 1964 con la presencia de Fidel que materializó los sueños de José Antonio encabezando un gobierno revolucionario y emprendedor pero, ¿Cómo transcurrieron los primeros tiempos de la existencia de la Cujae?, ¿Quiénes fueron sus primeros moradores?, ¿qué significó para aquello jóvenes que iniciaban sus estudios universitarios estudiar en este Centro? Muchos de esos jóvenes procedían de familias humildes que nunca pensaron en tener hijos en una universidad pero que incorporados a la naciente Revolución participaron en la Campaña de Alfabetización de 1961 y se propusieron continuar sirviendo a la Patria formándose como ingenieros y arquitectos al servicio del pueblo. El Proyecto de investigación "Conservación del patrimonio cultural universitario. Conpacult" ha promovido el estudio de la vida de personalidades y los hechos que hoy conforman la historia de la hoy Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Echeverría**,** conocida como Cuja**e.** Precisamente este es el objetivo del presente trabajo describir en, un apretado resumen como transcurrieron esos primeros años para los estudiantes que en ella comenzaron sus estudios universitarios .desde el testimonio personal de uno de ellos. Por esta razón el trabajo está narrado a manera de testimonio en primera persona.

**PALABRAS CLAVES:** Cujae, Guayabos, alumno ayudante,

## LOS GUAYABOS: HERITAGE OF THE CUJA

**ABSTRACT**

The "José Antonio Echeverría" University City, Cujae was a dream of José Antonio Echeverría Bianchi, honorary president of the University Student Federation of Cuba (FEU). La Cujae was inaugurated on December 2, 1964 with the presence of Fidel, who materialized the dreams of José Antonio by heading a revolutionary and entrepreneurial government, but how did the early days of Cujae's existence go? Who were its first inhabitants? What did it mean for those young people who were beginning their university studies to study at this Center? Many of these young people came from humble families who never thought about having children in a university but who, incorporated into the nascent Revolution, participated in the Literacy Campaign of 1961 and proposed to continue serving the Homeland by training as engineers and architects at the service of the people. The research project "Conservation of university cultural heritage. Conpacul" has promoted the study of the lives of personalities and the events that today make up the history of what is now the "José A. Echeverría" Technological University of Havana, known as Cujae. Precisely this is the objective of this work to describe, in a tight summary, how those first years passed for the students who began their university studies there, from the personal testimony of one of them. For this reason the work is narrated as a first-person testimony.

**KEY WORDS:** Cujae, Guayabos, student assistan

## 1. INTRODUCCIÖN

Según el Dr. Diosdado Pérez Franco [1] primer decano de la Facultad de Tecnología de La Universidad de La Habana (UH), con el triunfo de la Revolución, se inicia una etapa de grandes transformaciones revolucionarias en el ámbito nacional y se crean las condiciones para iniciar una verdadera Reforma Universitaria y de ese modo, realizar los sueños de Varela, Martí y Varona y de todos los que cayeron en la lucha por el logro de nuestra independencia en lo político, económico y de una universidad digna.

En marzo de 1960 el Comandante en Jefe anuncia el próximo comienzo de las obras de la Ciudad Universitaria "José Antonio Echeverría", Cujae, que inicialmente fue concebida para que en ella estuvieran la mayoría de las facultades de la Universidad de La Habana.

En 1964 se trasladaron para la Ciudad Universitaria, la Escuela de Arquitectura y el curso preparatorio para los estudiantes de nuevo ingreso y el 2 de diciembre de 1964 el Comandante en Jefe Fidel Castro inauguró oficialmente a la Cujae.

La Ciudad Universitaria "José Antonio Echeverría" y la labor de formación en el campo de las Ciencias Técnicas que se ha desarrollado y desarrolla en ella son el mejor monumento a la memoria de José Antonio, líder indiscutible del estudiantado universitario.

Corría el año 1963 y la autora del presente trabajo, siendo estudiante de Preuniversitario, decidía junto a sus compañeros, qué carrera universitaria estudiaría. Apareció la opción de estudiar Medicina sin concluir los estudios preuniversitarios matriculando el llamado "premédica" en Girón, pero yo sabía que podía estudiar cualquier carrera menos Medicina. Más tarde llegó al Pre la captación para carreras militares y para Ciencias Agropecuarias, pero esto tampoco llamó mi atención. En esa época se realizó por parte de la Universidad de La Habana un test vocacional que arrojó, en mi caso, una recomendación de que estudiara Ciencias Químicas y cuando ya estaba casi decidida a estudiar esta carrera, salió en el periódico un interesante artículo acerca de la inauguración de un nuevo centro de estudios "la Cujae" en el que se estudiaría una carrera que me enamoró, Ingeniería Industrial. Esa si era mi opción y así, mi mejor amiga y yo, matriculamos esta carrera en ese nuevo centro [2].El objetivo del presente trabajo es mostrar los recuerdos y los momentos esenciales de los cinco años de estudio en ese centro de estudio a partir de mis propias vivencias y de otros compañeros de curso.

## 2. DESARROLLO

Llegué a la Cujae el día de su inauguración, el 2 de diciembre del año 1964, con solo 17 años y allí encontré a Fidel. Yo vivía en La Habana Vieja por eso la Cujae me pareció un lugar muy lejano, solo entraba allí la ruta 84 que se tomaba en el parquecito de Infanta y yo tuve ese día que, primero llegar desde mi casa a ese punto para de ahí hacer el larguísimo viaje a la Cujae, viaje que repetí durante 4 años hasta que estando en 4to año de la carrera, me casé y me mudé para otro barrio.

La Cujae era una ciudad inconclusa, sin calles interiores, en la cual los cursos nunca comenzaban en septiembre, sino lo hacían en el mes que se pudiese y concluían en el mes que terminaban sus 2 semestres. El primero para nosotros, comenzó en enero del 1965. En ese curso solo estudiamos en la Cujae los estudiantes de nuevo ingreso y los de Arquitectura. Los estudiantes de nuevo ingreso matriculamos en un Curso preparatorio que duró casi un año gracias al cual pude transitar satisfactoriamente por mis estudios de ingeniería. Mis profesores, casi todos instructores no graduados (hoy Alumnos Ayudantes) , fueron excelentes, integralmente hablando y con ellos aprendí muchísimo no solo de física y trigonometría de las que yo sabía bien poco, sino que también aquellos profesores jóvenes nos adentraron en la vida universitaria. Aprendí de reuniones interminables tanto de la FEU como de la UJC, de que todo había que discutirlo en el colectivo (hoy brigada). Fue una etapa de total aprendizaje.

Hubo cosas curiosas, en las aulas la gente con "cartelito de revolucionario" normalmente eran los becados y los demás eran "bitongos" y aunque hoy parezca mentira se sentaban separados. La mayoría de los estudiantes de la recién inaugurada Cujae venían de las becas existentes en La Habana y procedían de otras provincias. Venir de beca en aquella época, implicaba haber alfabetizado y si eras becado, era probable que hubieses ido a recoger café y yo era habanera y no venía de beca pues

estudié en el Pre del Vedado, pero resultó que yo había sido brigadista Conrado Benítez y había recogido café en Baracoa, en la antigua provincia de Oriente luego tuve que "reclamar" mi puesto entre los revolucionarios. En el primer curso de la Cujae, nosotros, los nuevos fuimos "los Guayabos" que lo mismo nos pasábamos una madrugada entera discutiendo una problema en una reunión del Comité de base o en una asamblea de la FEU, que dábamos criterios acerca del proceso para el ingreso al Partido de un profe.

**Los Guayabos. Su surgimiento**

¿Quiénes fuimos realmente los Guayabos? ¿Por qué los Guayabos? Hay diferentes teorías aunque yo concuerdo con el criterio de Higinio Luna de nuestro grupo [4]. Higinio escribió al grupo de los Guayabos, creado hace unos años…. "Les comparto mi percepción sobre el origen del nombre a partir de mis recuerdos. Yo llegué a la Cujae en enero de 1965. En aquel momento la poblaban la Escuela de Arquitectura y un grupo casi clandestino de Veterinaria, que tenía una nave (cobertizo) de madera frente a lo que fue después la parada de la 84"….

Continua Higinio…" Éramos un grupo considerablemente entusiasta, lleno de vitalidad y emocionado por la aventura de lo nuevo. Los Guayabos de inmediato nos hicimos dueños de aquel lugar distinto, lleno de modernidad, con olor a nuevo y repleto de fango por doquier. Y llegaron los cantos, las asambleas, la emulación y todo lo que fue una nueva cultura universitaria, llena de alegría por cada paso nuevo que se daba, como cuando aplanaron y echaron chapapote en el lugar que resultó nuestro primer espacio deportivo (y donde dio una exhibición la selección nacional femenina de voleibol que nos dejó con la boca abierta a todos) o cuando poco a poco hicieron la acera para ir a la Beca, lo cual nos permitió enfangarnos menos".

Plantea Higinio…"la rivalidad entre los grupos que emulaban se expresaba en estribillos musicales que se acompañaban con rumba cubana, rítmica, cadenciosa y sabrosa, que hacía mover los cuerpos y alegraba el alma, en aquel lugar apartado de todo"…
Y continua Higinio en su escrito …."y entonces apareció el famoso y eterno canto de los Guayabos.
Se usaba para calificar peyorativamente al "rival" de turno:

- Los del grupo tal, **son unos guayabos**
- Los del grupo mas cual, **son unos guayabos**
- Aquellos de allí, **son unos guayabos**
- Los otros de allá, son unos guayabos… Y así sucesivamente.

No se decía "Somos los Guayabos" sino que iba dirigido a quienes queríamos molestar o provocar. Habría que buscar y encontrar quien se le ocurrió este canto. Dueños absolutos del patio, se formaba la rumba a cualquier hora y lugar. Todo estuvo bien hasta que, cuando pasamos a "Primer año común", se mudó el resto de la Facultad de Tecnología para NUESTRA Ciudad Universitaria. Nuestros nuevos compañeros de hábitat llegaron con sus reglas y su cultura universitaria distinta y para algunos, superior.

También venían algo molestos por el cambio: del corazón de la ciudad al campo lejano e infame; de dos minutos hasta La Rampa, Copelia, Radiocentro y el Habana Libre a dos minutos de una gran fábrica de polvo y fango, olor a caña molida y lluvia de carboncillo de bagazo; de un nudo formidable de guaguas a la angustia de la 84.Y para colmo de males**:¡¡¡Los guayabos!!!** Era la gota que colmaba la copa.

Entonces se quejaban porque molestábamos sus clases (era verdad), como resultado de lo cual, las sesiones de rumbas, cantos, entusiasmo desbordado, espontáneo y libre se redujeron considerablemente e imperó la sobriedad de las columnas universitarias ancestrales de La Colina.

Bueno y malo. Así fue. El nombre no fue cortés ni acompañado del gracejo criollo sabroso, FUE PEYORATIVO"

Al final, creo que debemos agradecer a quienes nos llamaron así, concluye Higinio Luna. No somos pequeños ratones siempre temerosos, no somos pequeños arbolitos que dan esa sabrosa fruta criolla. Somos la expresión de una voluntad consciente de hacernos grandes y buenos.

Somos una generación de profesionales serios, científicos, catedráticos universitarios, que tuvo el gran privilegio de abrir caminos... ¡¡¡y bien que los hemos abierto!!! Tanto en nuestro terruño como en muchos rincones del mundo. Por las razones expuesta por Higinio, los miembros de esa generación hemos asumido este descripción de Guayabo con honor y compromiso.

¿Por qué entonces Los Guayabos como entidad se convierten en patrimonio de la Cujae?
Según la Unesco [4]. "El patrimonio cultural inmaterial o "patrimonio vivo" se refiere a las prácticas, expresiones, saberes o técnicas transmitidos por las comunidades de generación en generación. El patrimonio inmaterial proporciona a las comunidades un sentimiento de identidad y de continuidad: favorece la creatividad y el bienestar social, contribuye a la gestión del entorno natural y social y genera ingresos económicos. Numerosos saberes tradicionales o autóctonos están integrados, o se pueden integrar, en las políticas sanitarias, la educación o la gestión de los recursos naturales."

Por lo antes expuesto, los Guayabos se convierten en patrimonio de la Cujae por que proporciona a la comunidad universitaria un sentimiento de identidad y de continuidad: hoy es imposible hablar de la historia de la Cujae sin hablar de los Guayabos, sus rutinas y su integración a la vida universitaria. A continuación se presentan algunos elementos que caracterizaron esos primeros años de la Cujae, años en los que se formaron los Guayabos.

**Los profesores de esos tiempos, los mejores del mundo**

Para nosotros, el Curso Preparatorio fue intensivo y recibimos asignaturas que fueron importantísimas para el resto de la carrera ya que algunas eran parte del plan de estudio vigente y otras que siendo fundamento de los estudios de ingeniería nunca se habían impartido y fueron diseñadas para nosotros.

La mayoría de nuestros profesores eran estudiantes, como ya se ha dicho, que hacían un gran esfuerzo pues recibían sus clases en la UH y venían a la Cujae solo a impartirnos las clases. Ellos estaban muy bien preparados y además de fortalecer los conocimientos y habilidades, nos hicieron estudiantes universitarios comprometidos con su época y nos enseñaban las reglas de la cultura universitaria. Siempre he pensado que si no hubiese recibido ese curso hubiese pasado mucho trabajo en la carrera.

Quizás ese ambiente cordial de aprendizaje motivó que la mayoría de los estudiantes de nuevo ingreso, con buenos resultados, ya en el primer año, que era común para todas las carreras, integramos el movimiento de instructores no graduados (hoy de alumnos ayudantes)

**Seminario de formación de Alumnos Ayudantes**

Para los estudiantes de primer año que integramos el movimiento se realizó un seminario de formación de Alumnos Ayudantes que fue impartido por estudiantes- profesores de años superiores. Se realizaba una noche a la semana durante un semestre con un fuerte rigor del contenido que incluía no solo los temas específicos que contemplaba la asignatura que íbanos impartir sino que extendía sus fronteras a objetivos más avanzados.

El seminario tenía su propia dirección de la FEU. En el caso mío me formé como alumna ayudante de física. La influencia recibida por esos estudiantes-profesores fue de tal magnitud que cambié de carrera y en 2do año matriculé ingeniería mecánica que era la carrera que estudiaban mis profesores del seminario.

Así integramos desde el primer momento el claustro de la Escuela de Ciencias Básicas. Ciencias Básicas era una gran escuela no solo en los aspectos académicos, era un colectivo de amigos, de hermanos que aprendimos juntos, y así mismo preparábamos las clases y además compartíamos nuestros problemas.Los pocos profespores graduados que existñian eran como nuestros padres o hermanos mayores. Que nos trasmitían seguridad y siempre dedoicaban tiempo a prepararnos. La Escuela constituyó una gran familia que hoy se mantiene.

**Los trabajos voluntarios**

Los trabajos voluntarios fueron de muy diversa modalidad: dominicales, fines de semana, semanales, quincenales y de cuarenta de cinco días de duración. Ángel Hernández Palacios, profesor de la Escuela de Civil en sus Apuntes sobre la historia de la carrera de ingeniería Civil [5].. comenta "Fue un periodo inolvidable". Y continua planteando en su escrito el profesor Hernández, en estos trabajos participaban los profesores y los estudiantes. En la modalidad de fin de semana se viajaba el viernes por la tarde después de clases y se regresaba el domingo después de almuerzo. Esta modalidad duró varios años.
En la modalidad de permanencia en el campo por periodos largos trabajamos en la cosecha de frutos menores y de la caña en diferentes localidades.

Yo recuerdo particularmente que en el 66 fuimos a Banao, un lugar paradisiaco de mucho frio donde se cosechaban diferente frutas, uvas, fresas, melocotones. Los alumnos ayudantes estuvimos en el campamento con nuestros estudiantes y nos tocó la cosecha de la cebolla. Era un trabajo bien duro y recuerdo el olor "muy agradable" que había en el campamento cuando de noche, todas colgábamos "la ropa de trabajo". Este trabajo tuvo otra experiencia inolvidable. Las autoridades de la provincia de Sancti Spíritus organizaron una excursión a la comandancia del Che en el Escambray en Caballete de Casa, un lugar precioso, apacible, para cuyo ascenso cruzamos varios arroyuelos y al llegar nos unimos para rendir homenaje al Che..

En septiembre de 1968, la dirección de la Facultad decidió que, como el curso demoraría en comenzar setenta días, trasladar a los estudiantes de nuevo ingreso, durante cuarenta y cinco días, a varios campamentos ubicados fuera de la capital. Allí los alumnos de nuevo ingreso recibirían, junto a las tareas agrícolas, clases de Matemática, Física y Química y con ellos estuvimos los alumnos ayudantes de esas asignaturas

En la actualidad en la Cujae, el trabajo voluntario se realiza básicamente en tareas de limpieza y saneamiento de las instalaciones docentes.

**Tareas de choque o de impacto**

En aquella época no se llamaban así quizás eran misiones asignadas a los universitarios pero hubo tareas importantes de apoyo al desarrollo del país que fueron parte natural de nuestra formación. Mencionarlas todas sería imposible pero por ejemplo, era normal que cuando pasaba un ciclón por la Habana (ciudad o campo) se "paraban" las clases y los estudiantes nos íbamos a recoger la cosecha de frutos menores a los pueblos de Alquezar, Güira de Melena y otros que de los contrario se hubiesen perdido y no regresábamos a clases hasta concluir la tarea.

Ante amenazas de los Estados Unidos se suspendían las clases y nos acuartelábamos y en general, las hembras permanecíamos en la Casa Blanca (Casa Estudiantil) o en la Beca y los varones se iban a unidades militares.

Podrían mencionarse muchísimas otras tareas pero lo haré de aquellas que más impactaron en nuestra generación

- ✓ **Plan del Terraceo**

En febrero de 1968, se creó el Plan del Terraceo en la Sierra del Rosario, con dos objetivos fundaménteles: primero, desarrollar un método para evitar la erosión del suelo en zonas montañosas y la reforestación de las mismas, que se encontraba casi desforestadas; y segundo, el desarrollo político y social de la zona, que tenía una población sin condiciones de vida adecuadas, tales como sanidad, educación y vivienda. La Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, realizó las coordinaciones y se acordó que el grupo debía estar compuesto por alumnos, preferiblemente de tercer año de Ingeniería Civil. Para ello, debió modificarse el plan de estudio y adaptarlo a los objetivos de esta tarea. Las clases tendrían una frecuencia de dos a tres veces a la semana. Por parte de la UJC, se realizó la selección de los estudiantes, y en mayo

de 1968 comenzó la colaboración durante el segundo semestre. Los estudiantes participaron en todas las actividades del Plan, tales como diseño y construcción de las terrazas, viales, drenaje, la construcción de la comunidad Las Terrazas, las presas, entre otras.

✓ **La Libertadora**

La Libertadora fue la primera cortadora de caña mecanizada que se construyó en el país, aquella con la que soñaba el Che. En la década de los 60 se comenzó con el proyecto cubano de esta cosechadora de caña que fue bautizada con el nombre de "La Libertadora", aludiendo al hecho de que iba "liberar" al hombre de algunas de las tareas que la cosecha de caña que era nuestra principal industria.. Las piezas de la primera Libertadora se construyeron por estudiantes de ingeniería mecánica de la Cujae en los talleres de mecánica de la Universidad de La Habana (en la Cujae aún no existían) y trabajamos por turnos continuos en tornos, sierras y taladros de esos talleres. Recuerdo que fue una tarea de participación masiva y que constituyó un orgullo para todos sus participantes.

✓ **La zafra del 70**

La zafra del 70 o de los Diez millones fue otra tarea en la que estuvimos involucrados un porciento importante de estudiantes y profesores de la Cujae que invadimos los centrales azucareros de la provincia de Camagüey. Se creó una oficina coordinadora con dirigentes de la Cujae en la cuidad de Camagüey a manera de puesto de mando. Una parte de los estudiantes participó en el corte de caña desde el 69. Durante esa etapa en la Cujae el PCC y la UJC se unieron como una sola organización política que se llamó "familia comunista" Ya dirigí la familia comunista de Ciencias Básicas hasta que me fui para la zafra en su segunda etapa. En esa etapa ya en 1970 los estudiantes trabajamos en los laboratorios y las reparaciones de los centrales después de la zafra. En los centrales coincidíamos estudiantes de diferentes carreras y años y constituimos una hermandad integrada a las familias del batey del central donde fuimos ubicados.

Cada estudiante de los que participamos en esta segunda etapa nos llevamos el compromiso de estudiar autodidácticamente al menos una asignatura que debíamos evaluar a nuestro regreso a la Cujae´. Fue una tarea histórica que nos enseñó además a ser responsables y comprometidos. Estando en el central "Cándido González" de Camagüey en el que trabajé junto al ingeniero mecánico titular supe que iba a ser madre.

Eso fue una disyuntiva para la familia o regresaba para La Habana o me quedaba en el central hasta culminar la tarea. La coordinación de la Cujae en Camagüey era del criterio que debía regresar a La Habana y mi esposo y yo considerábamos que debía permabecer en el centraly regresar al culminar la tarea. Triunfó el deber y el compromiso contraído y regresé junto al resto de mis compañeros.

**Preparación para la defensa. Preparación militar**

En la formación integral que recibíamos en aquella época estuvo como una prioridad la preparación para la defensa. El lema en este esfera era dedicar a la preparación militar una noche a la semana y un domingo cada mes· En la Cujae esto no fue solo un lema si no formó parte de nuestro modo de actuación con mucho rigor. En el terraplén que existía en lo que hoy es la calle 114 nos "desplegábamos" a practicar tiro, infantería y recibíamos las clases teóricas. Aquel fue otro espacio de socialización para los estudiantes. Para los estudiantes externos eso significaba un esfuerzo adicional. ya que salir de la Cujae de noche era muy difícil., pero lo hacíamos con mucha responsabilidad y amor.

**La graduación**

La graduación de Los Guayabos fue distinta para todas las carreras. Algunas lo hicieron sembrando pinos en Guane, provincia de Pinar del Rio, otros realizaron jornadas científicas en la que se presentaron los insipientes resultados de las investigaciones que comenzaban a realizarse, un grupo continuo impartiendo clases a los grupos de primer año que aún no habían culminado el curso, entre los cuales me encontré yo. Yo estaba en esa época embarazada de 8 meses y recuerdo que el profesor de mi última

asignatura "Refrigeración II" consideró oportuno adelantar mi examen "por si acaso". La decisión fue oportuna pues justamente mi niña nació en el momento en que mis compañeros realizaban ese examen.

## 3, CONCLUSIONES

Los Guayabos culminamos los estudios entre los años1970 y el 1971 Esa generación fue la de los estudiantes que no solo estrenaron la Cujae sino también que comenzaron y culminaron en ella sus estudios universitarios y algunos han entregado a ella gran parte de su vida. En el trabajo se fundamente porque la generación de los Guayabos constituye un patrimonio intangible de la Cujae.

## 4. RECONOCIMIENTO

Agradezco mucho, como parte de esa generación, de Guayabos al proyecto "Conservación del patrimonio cultural universitario. Conpacul" haber dedicado un tiempo a "desempolvar mis recuerdos "acerca de la vida en la Cujae desde diciembre de 1964 hasta ese mismo mes en el año 70. A partir de mi graduación continué como profesora. La Cujae ha sido mi único centro de trabajo. Estando en la Cujae nacieron mis hijos, ambos ingenieros graduados en la Cujae. Aquí me hice master y doctora y transité por todas las categorías docentes. He participado en el crecimiento de la Cujae y la Cujae ha sido testigo de mi crecimiento personal.

## 5.-REFERENCIAS BIBLIOGRÄFICAS

**1.** Pérez F. D. (1996) Capítulo 8 La Facultad de Tecnología de la Universidad de la Habana (1961-1976) del libro Los estudios de ingeniería y arquitectura en La Habana Ediciones ISPJAE, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, Cuba. .
**2.** Vega C.G. (2916) La Cujae, ayer y hoy. Referencia Pedagógica. Revistas nacionales certificadas por CITMA ISSN 2308-3042, Cuba
**3.** Luna L H. (2021). Mi visión de Los Guayabos. Documento en formato pdf, Cuba
**4.** Patrimonio Cultural inmaterial, (2003) recuperado en el sitio de la Unesco. https://es.unesco.org/themes/patrimonio-cultural-inmaterial
**5.** Hernández P. A. (2000) Apuntes para la historia de la escuela de ingeniería civil. Documento en formato pdf, Cuba

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# "LA FORMACIÓN PATRIMONIAL EN LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA CUJAE"

**Mirelle Cristobal Fariñas[1], Ricardo Machado Jardo[2], Ada Esther Portero Ricol[3]**

[1]Cujae, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao, Filiación, dirección, [2]Cujae, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao, [3]Cujae, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao,
[1]e-mail: mirelle.cristobal@gmail.com, [2]e-mail: rmjardo@tesla.cujae.edu.cu, [3]e-mail: adaestherportero@gmail.com

**RESUMEN**

El Grupo de Patrimonio Cultural Cujae (GPCC) trabaja con un enfoque integral la formación de estudiantes y trabajadores. El problema fundamental de la investigación es la contradicción existente entre la contribución que al patrimonio universitario deben ofrecer los procesos sustantivos y la insuficiente atención a la preservación de la memoria histórica de la Cujae, constatadas mediante diagnósticos realizados y cortes parciales a profesores y estudiantes involucrados en los procesos institucionales y las asignaturas electivas sobre el tema. El objetivo de la presente comunicación es exponer resultados de la gestión del GPCC en la formación patrimonial de estudiantes y trabajadores, mediante la integración de los procesos sustantivos que protagonizan, en pos de la preservación y promoción del patrimonio cultural universitario Cujae. Los principales métodos que se emplearon se basan en la consulta a documentación, entrevistas a informantes claves, revisión de historias de vida, observación participativa. Se proponen diversas acciones con resultados concretos desde la relación formación patrimonial-investigación- promoción, entre las cuales se listan diseño de diversos productos como monografías con historias de vida, entre otros. Se concluye que la integralidad de la gestión realizada por el GPCC ha favorecido la mejora de la formación patrimonial de la comunidad Cujae a partir del incremento de conocimientos, la formación de valores y la salvaguarda de los hechos y tradiciones más relevantes acaecidas en el campo universitario demostrando su diversidad cultural.

**PALABRAS CLAVES:** patrimonio universitario, formación patrimonial, diversidad cultural (,).

## HERITAGE TRAINING IN THE CUJAE UNIVERSITY COMMUNITY

**ABSTRACT**

The Cujae Cultural Heritage Group (GPCC) works with an integral approach to the training of students and workers. The fundamental problem of the research is the existing contradiction between the contribution that the substantive processes should offer to the university heritage and the insufficient attention to the preservation of the historical memory of Cujae, ascertained by means of diagnoses made and partial cuts to professors and students involved in the institutional processes and elective subjects on the subject. The purpose of this paper is to present the results of the GPCC management in the heritage training of students and workers, through the integration of the substantive processes they are involved in, in pursuit of the preservation and promotion of the Cujae university cultural heritage. The main methods used were based on the consultation of documentation, interviews with key informants, review of life histories, and participatory observation. Several actions are proposed with concrete results from the heritage education-research-promotion relationship, including the design of various products such as monographs with life stories, among others. It is concluded that the integral management carried out by the GPCC has favored the improvement of the heritage education of the Cujae community from the increase of knowledge, the formation of values and the safeguarding of the most relevant facts and traditions occurred in the university field, demonstrating its cultural diversity.

**KEY WORDS:** university heritage, heritage education, cultural diversity

## 1. INTRODUCCIÓN

Todas las universidades a escala mundial, tienen importantes hechos ocurridos o personalidades que han sido formadas en sus predios, y por tanto muchas historias "guardadas necesarias de contarse". No se ha logrado aún en la actualidad que, las informaciones provenientes de los avances universitarios, sus hechos y descubrimientos más relevantes, así como personalidades y consecuentemente la influencia que han tenido en el devenir histórico, sean recopiladas de una manera común, sistemática, para contribuir con el conocimiento sobre el patrimonio universitario mundial.

La comunidad universitaria en ocasiones no reconoce la importancia que tiene la formación patrimonial de las generaciones que pasan por las diferentes universidades y sobre todo la contribución necesaria a la promoción de su historia.

La mayor parte de las universidades cubanas son jóvenes. La Universidad de la Habana, UH, es la más antigua, reconocida como Monumento Nacional y posee un grupo de patrimonio que trabaja en pos del incremento de la cultura en la formación patrimonial, a partir de realizar múltiples acciones desde la docencia, la investigación y la extensión universitaria. Entre estas acciones se pueden mencionar la organización de talleres sobre patrimonio documental, museos y colecciones. También generan eventos y cursos de capacitación sobre el patrimonio universitario, entre otras muchas acciones.

La Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, es el centro rector de la enseñanza de las ciencias técnicas en Cuba y posee un alto prestigio tanto a escala internacional como nacional en la formación de ingenieros y arquitectos. Posee (desde el 2011) también un grupo[1] dedicado a los estudios y preservación de la formación patrimonial en trabajadores y estudiantes.

Partiendo del concepto de patrimonio cultural como el vínculo de la memoria histórica con la construcción real del presente que propicia la lectura y apropiación social de los conocimientos y la cultura en correspondencia con la identidad, es importante insistir en accionar la sensibilidad de los estudiantes respecto a la profundización de los conocimientos sobre el patrimonio tanto material como inmaterial que posee la universidad y cada carrera [1].

El tratamiento de los conocimientos sobre el patrimonio universitario es totalmente viable. Es común comprobar que las personas (trabajadores, profesionales, estudiantes) que componen la comunidad universitaria, en ocasiones en un alto por ciento, no conocen la historia de la carrera o la universidad en que permanecen una gran parte de su vida, mucho menos los valores patrimoniales que poseen[2][3].

*"La CUJAE es un monumento al estudiante engendrado en una revolución, símbolo de superación; que ha alcanzado un alto prestigio en la educación a escala nacional e internacional. Toda esta connotación es el resultado de una eficiente planificación del ministerio de educación, con sus planes de estudio; y la perfecta relación de la arquitectura con el estudiante, del espacio con la función, en un contexto idóneo para el intercambio social y el estudio."*[2]

Sin embargo, por solo poner un ejemplo, no todos conocen que el conjunto urbano arquitectónico de la Cujae está considerado como una de las obras más importantes del Movimiento Moderno, registrada en el libro *La Arquitectura del Movimiento Moderno. Selección de Obras del Registro Nacional*, donde su editor, el Arquitecto Eduardo Luis Rodríguez, presenta 150 de las edificaciones más sobresalientes construidas entre los años 1931 y 1979 en Cuba [4]. Tampoco conocen de los valores constructivos, artísticos, ambientales y sociales que posee este alto centro de estudios.

Para resolver la insuficiente concienciación y promoción cultural del patrimonio universitario, sobre todo en universidades de corta data de creación, se impone conocer la concepción amplia de patrimonio cultural, aquella que concibe al patrimonio no como algo estático y objeto exclusivo de preservación, sino

---

[1] Grupo para la Conservación y Protección del Patrimonio Cultural Universitario, GPCC, constituido mediante resolución rectoral en el 2011.

[2] Expediente de la CUJAE para proponerla como Monumento Nacional, realizado en el año 2007 por las Doctoras. Arqs. Eliana Cárdenas y Ángela Rojas. Documento original único conservado en versión digital.

como algo vivo que se gesta permanentemente, así como en el enfoque holístico que de la relación patrimonio cultural e identidad universitaria ofrecen en su obra Brull y Fonseca (2020) [5] en ella se plantea que el patrimonio cultural debe ser conocido, valorado y comprendido en su integridad [6].

Desde estos referentes surge la idea de formar a los estudiantes como promotores de su patrimonio universitario para lo que es indispensable integrar los procesos sustantivos universitarios [7]. Es decir, entender la integralidad como una unidad compleja de análisis de los procesos sustantivos [6], así como ponderar a la extensión como modelo desafiante del cuestionamiento de los paradigmas dominantes en la ciencia, los cuales resultan parciales, lineales, incompletos y restrictivos, así como el análisis especializado y departamentalizado prevaleciente en la universidad, para transitar hacia la inter y transdisciplinariedad [8].

El problema o limitación fundamental que detona la necesidad del proyecto de investigación sobre Patrimonio Cultural Universitario, CONPACULT, es justamente la contradicción existente entre la contribución que, al patrimonio universitario deben ofrecer los procesos sustantivos y la insuficiente atención a la preservación de la memoria histórica de las tradiciones de la Cujae. Se han usado los métodos de consulta documental, entrevistas a informantes claves, profundizando en historias de vida para sistematizar las tendencias y resultados sobre el patrimonio cultural universitario tanto a escala internacional como nacional; analizar la evolución histórica del patrimonio cultural Cujae; estableciendo regularidades de los datos y procesos analizados; y finalmente para entender y explicar el sistema integrado de conocimientos que fundamentan los diversos productos que como resultados deben contribuir, al menos parcialmente, a la solución del problema.

Como se mencionó anteriormente, la presente comunicación tiene como objetivo principal exponer resultados de la gestión del GPCC en la formación patrimonial de estudiantes y trabajadores, mediante la integración de los procesos sustantivos que protagonizan, en pos de la preservación y promoción del patrimonio cultural universitario Cujae, lo que favorece la FORMACIÓN PATRIMONIAL en los estudiantes de ciencias técnicas y trabajadores de la Cujae.

## 2. DESARROLLO

Muchos profesionales de la Cujae poseen una gran experiencia en temas patrimoniales, particularmente los que componen el Grupo para la protección de su patrimonio cultural (GPCC). Este grupo pertenece a la Dirección de Extensión Universitaria que se supedita a su vez, a la Vicerrectoría de Extensión Universitaria, los especialistas que le constituyen, de forma intencionada participan en la formación de los estudiantes en los temas de patrimonio cultural universitario, desde la integración del proceso extensionista con la docencia y la investigación [9]. También se trabaja con profesores y trabajadores para capacitarlos sobre este tema tan sensible y necesario.

Desde la constitución del GPCC se ha trabajado de forma sistemática y planificada en la conformación de productos y resultados asociados al patrimonio universitario y a la formación patrimonial. En la oferta, convencionalmente se asume el término producto para designar a los medios didácticos y promocionales obtenidos del proceso docente, de investigación y extensión, los que en su mayoría son reusables [10]. En tanto, como resultados se asumen, las transformaciones alcanzadas en los estudiantes, en los medios y en los métodos de enseñanza aprendizaje logrados por trabajo realizado y en la integralidad de los procesos sustantivos universitarios. Tanto productos como resultados sirven para socializar la importancia del patrimonio cultural universitario entre profesores, trabajadores y estudiantes, así como en las comunidades, no solo las aledañas a la Cujae.

Se declara como sistema de productos integrados los resultados que se obtienen, para favorecer la formación sobre el patrimonio cultural universitario, ya que se trabajan como un objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual. Todos parten de un principio común que es la recuperación de la historia mediante la creación de conocimientos. La historia de la Cujae está indisolublemente ligada a los hechos relevantes que han ocurrido tanto a escala de la universidad como de cada carrera. Por tanto, no se pueden ver de modo aislado. Constituyen productos de personalidad propia, pero conformando y mostrando un sistema integrado de conocimientos.

La formación sobre temas patrimoniales es difícil en la comunidad donde prima la formación en las carreras de ingeniería. Por lo general, los estudiantes de la carrera de arquitectura, tienen mayor formación sobre la importancia del patrimonio material e inmaterial y la necesidad de su conocimiento.

Por esta razón, de modo intencionado el GPCC; ha hecho ingentes esfuerzos por contribuir con sus acciones al aumento del conocimiento sobre las historias de las carreras, personalidades y resultados de la Universidad de modo general. Se ha diseñado una asignatura electiva propuesta a todas las carreras de la Cujae, donde los estudiantes como ejercicio evaluativo deben investigar sobre las historias del surgimiento de su carrera, centros de investigación, historias de vida de sus principales profesores, sobre todo fundadores y premiados de manera distintiva, entre otros temas de interés. Para apoyar estas investigaciones, también se han concretado otros productos promocionales como postales, almanaques, poster, plegables, entre otros.

Con estos resultados planificados y obtenidos entre el año 2011 al 2024, se considera que las acciones realizadas han contribuido a diversificar los modos de socialización del patrimonio tanto material como inmaterial universitario, a concientizar sobre su importancia a toda la comunidad y se ha mejorado ostensiblemente el holismo de la formación de los estudiantes de arquitectura e ingenierías en la Cujae, lo que se revierte en su futuro desempeño profesional y las motivaciones estudiantiles. Se han fomentado los valores como identidad, responsabilidad y corresponsabilidad por el trabajo en equipo que implica la construcción de estos productos también por que los compulsa a investigar y comunicar por diversas vías las esencias de cada carrera y de la universidad en que se forman[6][11].

Algunos de los productos resultantes obtenidos son:

- Juego de postales con imágenes y espacios relevantes de la Cujae.
- Plegables con temas asociados a la comunidad universitaria.
- Folletos con aspectos del patrimonio material e inmaterial Cujae.
- Almanaques y otros productos de promoción cultural.

La idea de diseñar POSTALES con espacios y edificaciones relevantes, sobre todo de la parte más antigua del campus universitario surgió como parte de la necesidad de mostrar no solo a la comunidad universitaria Cujae, sino también a visitantes nacionales y extranjeros estas imágenes representativas de la Cujae. Se seleccionaron también imágenes relacionadas con obras de arte realizadas en los años 80 y que han aumentado el valor artístico de la universidad. Entre las obras de arte se pueden mencionar los guardacantones de cerámica, del artista Agustín Villafaña, colocados a la entrada del Teatro Central a modo de homenaje a esos elementos propios de la arquitectura del periodo colonial el relámpago, Mural Por el Mañana, del artista plástico Raúl Martínez, ubicado en los bajos de la Facultad de Ingeniería Química, cerrando la perspectiva del Pasillo Central, por lo que se puede distinguir desde la entrada de la Universidad, la gráfica de casetones ubicada a lo largo de todo el Pasillo Central. Consiste en una degradación de colores en los casetones de la losa nervada, entre otras obras. También espacios como plazas y edificios que muestran el juego de los dobles y triples puntales, plantas bajas libres, entre otros valores espaciales y ambientales del campus. (Figura 1. Collage de postales)




Figura 1. Collage de postales.

Los PLEGABLES, son productos pensados para informar sobre procesos o resultados de la Cujae como parte de sus tradiciones y devenir cotidiano. Debido al impacto positivo que han tenido dentro de la comunidad universitaria nacional y también por el número de consultas con que cuenta en los sitios digitales de la web Cujae entre otros, se ha pensado en ampliar su número y variedad de temas.

El objetivo fundamental de éstos, ha sido el de mostrar, tanto a la comunidad universitaria como a otras, los universos más sobresalientes de los procesos sustantivos, así como del patrimonio material e inmaterial que posee este centro de altos estudios. El concepto que prima es el de destacar lo general identitario del patrimonio de la Cujae, de lo particular identitario de las facultades, lo singular identitario de las carreras respectivas, para ello se vale de una descripción general de la universidad y la fundamentación particular y singular de cada uno de los elementos que se exponen. En esta descripción general se da la fecha de fundación de la universidad y las principales carreras que comenzaron su vida en ella viniendo desde la Universidad de la Habana. La fecha en que se fundó como ISPJAE y posteriormente la fecha en que se convierte en Universidad Tecnológica, clasificación que mantiene hasta la actualidad. Todos los plegables tienen el logo del Grupo de Patrimonio por el cual han sido confeccionados y revisados. La dirección de la Cujae y teléfonos de contacto y dirección de la web Cujae; así como el Logo de la Sala de Historia José Antonio Echeverría donde radica dicho grupo.

Todos los plegables se publican con sus correspondientes No ISBN. Se ubica la versión digital en los sitios dedicados a patrimonio en la web de la Universidad, así como referidos en artículos publicados en revistas internacionales como EDA (Exampli di Architectura, italiana, Bitácora Urbano Territorial de Colombia), RAU (publicación que dirige la Facultad de Arquitectura, Cujae), revista de Referencia Pedagógica (publicada por el CREA, Cujae). También se han logrado imprimir en pequeñas cantidades para entregar a los estudiantes que cursan la asignatura electiva sobre patrimonio y a visitantes nacionales y extranjeros.

Los temas/plegables confeccionados han sido DATOS GENERALES sobre formación e investigaciones, graduados, entre otros elementos de interés. OBRAS REGISTRADAS, Se muestran algunas fotos históricas de la Universidad y las imágenes de las nueve obras registradas por la Oficina Nacional de Registros del Ministerio de Cultura Cubano, OBRAS RELEVANTES. En este se ofrecen imágenes actuales de la Cujae, así como varias de las obras confeccionadas en la década de los 80s. ESPACIOS PÚBLICOS. Se muestran imágenes actuales y antiguas de espacios relevantes, el acceso principal por la escalinata de la Cujae, ubicada por la calle 114, el pasillo central y del rectorado, vestíbulos terrazas, plazas y parques.

CENTROS DE INVESTIGACIÓN. Aporta el esquema de la Cujae y la ubicación general de los centros de estudio e investigación, así como sus objetivos y principales direcciones de trabajo, la fecha de fundación. PLAZAS Y PARQUES. Muestra en un esquema la ubicación y nombres conocidos de las plazas y los parques, se dan fotos de cada uno y se fundamentan sus significados. RECTORES. En este plegable se informa sobre los rectores que ha tenido la institución, las fechas de mandatos y datos relevantes mediantes imágenes. También se han agregado los referentes a FESTIVALES DE ARTISTAS AFICIONADOS. Brinda detalles sobre el comienzo del movimiento de artistas aficionados en la Cujae y las manifestaciones que se desarrollan. Se muestran fotos de presentaciones de estudiantes premiados. JUEGOS DEPORTIVOS UNIVERSITARIOS. Se fundamenta la fecha de comienzo de las competencias deportivas en la universidad, imágenes de las especialidades en que se compite. También se brinda información sobre las mascotas y los colores que identifican a cada una de las carreras de la Cujae. (Figura 2. Collage de plegables)




Figura 2. Collage de plegables.

La concepción de los FOLLETOS tuvo como idea de partida u objetivo principal el facilitar documentos cortos que, fundamentalmente apoyado en imágenes, mostraran logros y hechos relevantes de la Cujae en sus años de fundada. Todos tienen ISBN y se encuentran publicados en Cds que han sido entregados a los principales directivos y algunos fundadores de la universidad. Aunque es imposible listar todos hechos más importantes ocurridos de manera acuciosa, se ha contado para su recopilación, con la contribución de fundadores y otros profesionales de mucha experiencia colaboradores del centro (siendo ellos los informantes claves de esta investigación)

En los primeros folletos organizados, se tuvieron en cuenta periodos largos de tiempo en el desarrollo de la Cujae, pues fue difícil recopilar datos esenciales debido a la no existencia de documentación oficial escrita en libros o artículos publicados de modo que, solo se pudo recopilar datos a partir de entrevistas y en ocasiones las imágenes también fueron pocas. A partir del 2019 se decidió comenzar a trabajar los folletos de forma anual a modo de recopilar la mayor cantidad de acciones, imágenes y hechos relevantes acaecidos en la universidad.

Las informaciones se han organizado en forma cronológica, y no por orden de importancia. Es mayor la cantidad de imágenes sobre un hecho que la fundamentación del mismo de acuerdo con el diseño decidido para estos folletos. Todos tienen una introducción realizada por la líder del GPCC, así como un prólogo que ha escrito una personalidad relevante de dicha comunidad Cujae como el Dr. Ing. Luis Blanca, Dr. Ing. Gustavo Cobreiro, Dr. Ing. Hugo Wainhstok, Dr. Ing. Gilda Vega Cruz, Dr. Ing. Modesto Ricardo Gómez Crespo, entre otras.

Los títulos de los folletos terminados hasta diciembre del 2024, han sido EL PATRIMONIO UNIVERSITARIO DEL ISPJAE: 50 AÑOS DE CIENCIA Y CULTURA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. Fue el primero realizado por el grupo. El objetivo principal de la publicación fue dar a conocer a la comunidad universitaria algunas características relevantes del campus universitario, la importancia de la conservación del patrimonio cultural y la historia universitaria, así como la creación en el 2011 del GPCC y sus funciones principales. Por la importancia e impacto del documento tuvo una segunda edición en el 2019 en saludo al 55 Aniversario de la Cujae. LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES (1960-2016). Este ha sido el más amplio, los temas tratados básicamente fueron relativos a construcción y fundación de la universidad, el cierre de este documento se realizó en Julio del 2016 pues fue cuando la universidad cambió su estructura y su nombre pasó de Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, ISPJAE, a Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Cujae. LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES (2016-2018). En este documento se muestran las actividades más relevantes en que estuvo involucrada la universidad en este periodo, con una fundamentación y cantidad de imágenes mayor ya que, fue más fácil encontrar información reciente, no solo por la memoria de las personas entrevistadas sino, por evidencias encontradas en los archivos de la Vicerrectoría de Investigaciones, Extensión Universitaria, Docente y Relaciones Internacionales.

LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES. 2019. Este fue el primer folleto que se hizo en la modalidad de mostrar solo un año de la historia universitaria. En este 2019 tenía lugar el 55 aniversario de la Cujae y se consideró como una edición especial. Por tal razón, se mostraron todas las actividades organizadas para celebrar el aniversario de la Cujae que coincidió con el 500 aniversario de la Ciudad, por tal motivo tuvo una connotación especial esta publicación. LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES. 2020. Este folleto tuvo características especiales pues se lanzó en el momento en que se pensó que las actividades de la universidad iban a disminuir producto de la presencia de la Covid 19. Sin embargo, la comunidad universitaria estuvo participando en muchas de las tareas de choque necesarias para apoyar los hospitales, los grupos de atención a la familia en todos los municipios, entre otras acciones de gran impacto social por la solidaridad que desprendían, y sobre todo por el significado que tuvieron en el apoyo al gobierno en condiciones de extrema atención y vulnerabilidad. LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES. 2021. En este periodo se mostraron las acciones de la universidad para desarrollar los proyectos de desarrollo local unido a los convenios con empresas para favorecer la aplicación de los resultados de la ciencia en el progreso del país. RECTORES. Para resaltar la vida institucional se realizó este documento donde se reúnen los resultados y principales hechos acaecidos en los periodos de mandato de altos directivos de la universidad, que han tenido una trayectoria en ascenso y han ocupado responsabilidades no solo en la Cujae sino también en otros organismos centrales del estado cubano. Este folleto recoge a los seis rectores que ha tenido la Cujae, hasta el mes de agosto del año 2023. El prólogo fue hecho por uno de ellos, el Dr. Ing. Gustavo Cobreiro Suárez, ejemplo de dirigente competente y de cubano digno. Actual consejero para la Educación y la Ciencia en la Embajada de Cuba en la Federación de Rusia y que fue rector entre 2003 a 2009 en la Cujae y del 2009 al 2018 en la Universidad de la Habana (primer rector ingeniero de esa universidad). LA CUJAE AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD CUBANA. CUJAE EN IMÁGENES. EDICIÓN ESPECIAL POR EL 60 ANIVERSARIO DE LA CUJAE. En este caso se decidió hacer un documento donde se recogiera un resumen de los hechos históricos y resultados más relevantes mostrados en los folletos anteriores realizados con el contenido desde la fundación de la Cujae el 2 de diciembre de 1964 hasta el 2021. Agregando de forma más profunda los hechos ocurridos entre el año 2022 y el 2024, cerrando la información en marzo del 2024, de modo que estuviera listo para publicar antes del mes de diciembre en que se cumple dicho aniversario. A diferencia de los otros, este folleto tiene informaciones novedosas y propuestas entre las que se encuentran un gráfico del tiempo mostrando momentos y aspectos notables ocurridos entre el mes de marzo de 1961 y marzo de 2024, personalidades que han dirigido el país o tienen responsabilidades en otros lugares del mundo y son graduados de la Cujae, entre otras.

También se han realizado folletos con temas relacionados con PERSONALIDADES RELEVANTES CUJAE. PARTE 1. Después del 55 Aniversario de la Cujae el GPCC, ya con más experiencia de trabajo y valorando la importancia de escribir la historia de la universidad, comenzó una etapa de trabajo intencionado para atraer con mayor sistematicidad a los fundadores de la universidad. Se les propuso la

idea de que escribieran sus memorias, llamando a esto "La Cujae en Mí", de manera que, de forma muy flexible y clara, expusieran sus recuerdos sobre sus inicios en la Cujae, y sus experiencias hasta el momento. De sus primeras entregas nació este primer folleto con las historias vividas y contadas por las primeras 12 personalidades. Todas apoyadas con fotos inéditas en su mayoría y que marcaron una etapa nueva en el trabajo conjunto del GPCC con fundadores y profesores que no tienen esta categoría, pero que han dado toda su vida a nuestro alto centro de estudios. (Figura 3. Collage de folletos)




Figura 3. Collage de folletos

La aprobación y existencia de la Ley General 155 de Protección al Patrimonio cultural y el Decreto 92, Reglamento de aplicación de dicha Ley General de Protección al Patrimonio, demuestran el alto valor y potencial que le otorga el estado cubano a la protección del patrimonio y específicamente al patrimonio universitario. Particularmente el Ministerio de Educación Superior ha emitido varias regulaciones e indicaciones en este sentido.

Ha quedado demostrado en el tiempo de aplicación y obtención de los resultados mostrados (2014-2024) que los estudiantes se encuentran motivados. Esto se indica por la sistematicidad en el cumplimiento de las tareas, las iniciativas que aportan para la confección de los productos, la aplicación a otras asignaturas, por ejemplo la asignatura de Historia de Cuba, de los conocimientos adquiridos en la asignatura electiva de patrimonio y viceversa, lo que dinamiza la interdisciplinariedad de su formación, la colaboración entre los miembros de un equipo y entre varios equipos, a pesar de la competencia emulativa entre estos; la concientización de su responsabilidad social ante el cuidado y desarrollo del patrimonio.

Desde la aplicación de la docencia a distancia por el cambio de las condiciones sanitarias debido a la Pandemia (año 2020-2021) esta motivación se demostró entonces, a partir de participación activa en los grupos de WhatsApp creados para la impartición de la asignatura, también por la cantidad de consultas en la nube y en el bot de Telegram donde se encuentran los documentos de consulta (productos y documentos obtenidos como parte de la investigación), así como la cantidad de aclaraciones que realizaron al privado con los profesores). Como consecuencia aumentó la toma de conciencia de los procesos sustantivos que operan sobre su formación.

Los resultados en los medios sociales se aprecian cuantitativamente por obvias razones y cualitativamente por el valor agregado de este importante componente didáctico cuando se configura como sistema, con la participación estudiantil, por ser además un medio que, a un tiempo es producto del proceso enseñanza-aprendizaje. Los productos obtenidos son reusables, aunque demandan constante actualización y obviamente son perfectibles, por último, son resultados y representación a la vez de la integralidad de la

docencia, la investigación y la extensión del nivel superior de educación. Los productos resultantes son de alto valor e importancia pues no se conoce que, en otras universidades cubanas, se hayan incorporado y realizado este tipo de variados servicios, desde la docencia-investigación-promoción con la contribución de estudiantes y trabajadores. De ahí su novedad y aplicabilidad a otros entornos.

En cuanto al-los métodos empleados durante el proceso de formación referido específicamente al componente patrimonial que se sustenta, en el texto presente se intenciona la incidencia del GPCC en la contribución al conocimiento sobre el patrimonio material e inmaterial de cada carrera y sobre todo a partir de la participación en la formación de los estudiantes de ciencias técnicas respecto al conocimiento sobre patrimonio universitario. Por primera vez en la Cujae se tienen productos diversos, donde se promociona la historia y tradiciones de toda su comunidad. Por tanto, son productos novedosos.

**3. APORTE SOCIAL**

El impacto social de la gestión del GPCC, ha sido amplio y positivo. En estos años de trabajo los resultados obtenidos han sido fruto de impartir la asignatura electiva de Apreciación del Patrimonio Cultural Universitario, en las carreras de Arquitectura, Ingenierías Civil, Química, Eléctrica, Telecomunicaciones, Biomédica, Informática, entre otras. Esto arroja un total de más de 1000 estudiantes de primero a cuarto y quinto años, así como estudiantes de primer y segundo año de los cursos de TECNICO SUPERIOR, asociados a algunas carreras (específicamente estudiantes de automática) que hasta el momento la han recibido, o han dado recorridos y visitas a la sala de historia previamente planificadas en las semanas de inicio de los semestres. También se han dado capacitaciones sobre el tema a los profesores de la Dirección de Extensión Universitaria (DEU), a los Vicedecanos de Extensión y Docentes de todas las carreras Cujae y a varios trabajadores que pasan por la Sala de Historia Cujae, para un total de 170 vinculados a capacitación y más de 900 a visitas. Participación en visitas a la sala y recorridos en los días de puertas abiertas que organiza la universidad.

Mostrar los conocimientos sobre el patrimonio de las carreras y su historia, en un espacio creado mediante asignaturas electivas o conferencias que se imparten en las primeras dos semanas de inicio de cada semestre en las diversas carreras. Organizar y programar ciclos de visitas a la sala de historia Cujae y recorridos en la universidad para aumentar el conocimiento sobre elementos y valores que posee el centro de altos estudios. Estos recorridos se hacen a lo largo de todo el año para las diferentes carreras y años. Se pretende agregar un nuevo recorrido por la zona fundacional y conferencia sobre Patrimonio Cujae y sus Valores, para el acto central de recibimiento a los estudiantes que comienzan por primera vez en la Cujae a partir del 16 de septiembre del 2024.

Como parte de la formación patrimonial la FEU, ha organizado en coordinación con el GPCC, desde el año 2023 la realización de un concurso sobre “Conocimientos sobre el Patrimonio”, con la participación, en su primera edición de 25 estudiantes de todas las carreras. Este año se prevé, además de realizar el concurso de conocimientos sobre el patrimonio, organizar competencias de habilidades y un premio a la mejor foto sobre el patrimonio Cujae.

A partir de lograr una incipiente estabilización en la realización de acciones para fomentar la formación patrimonial de los estudiantes en la Cujae, se ha evidenciado el incremento de la motivación por el aprendizaje sobre la historia de la universidad, el aumento de las visitas a la sala tanto de colectivos de estudiantes como de trabajadores (ejemplo de esto fue el recorrido programado con los 50 trabajadores destacados y la dirección, por la celebración del aniversario del ICB). También para los estudiantes que participaron en el Congreso de la FEU en enero 2023, se programó su participación en actividades como recorridos por el campus y visita a la sala de historia. Planteando la necesidad del aprendizaje sobre el patrimonio universitario, su importancia y necesidad entre los acuerdos tomados ese día en las actas del Congreso FEU.

Los trabajos investigativos que, desde la asignatura electiva han tenido que desarrollar los estudiantes, han permitido la profundización en aspectos relacionados con la historia de las carreras, la existencia y fundación de los centros de investigación asociados, la relevancia de las personalidades existentes en cada carrera.

Como es lógico, con el aumento de los conocimientos sobre patrimonio en los estudiantes, se han incrementado también los criterios positivos que tenían sobre su universidad, así como sobre sus carreras y profesores. Y los resultados que se muestran han sido fruto del trabajo integrado entre el grupo de patrimonio y los estudiantes de las diversas carreras que han cursado la asignatura, así como ideas aportadas por otros trabajadores visitantes.

Todavía es limitado el apoyo e inserción de las carreras de ingenierías al trabajo y ampliación del conocimiento sobre el patrimonio cultural universitario. No obstante, a escala nacional aumenta cada vez más la necesidad y conciencia sobre la recuperación de la historia de las universidades, así como la importancia de su reconocimiento a escala local, regional y nacional.

## 4. CONCLUSIONES

Las universidades poseen altos valores patrimoniales que deben ser promovidos y socializados para que aumente la conciencia sobre la importancia de que sean reconocidos por parte de la propia comunidad universitaria.

La formación patrimonial en estudiantes y profesores universitarios debe ser intencionada. La promoción del patrimonio cultural implica saberes sobre la salvaguardia de la identidad de la comunidad universitaria lo que conduce a la formación de valores en la Educación Superior. Si se socializan a partir de productos visuales, aumenta la aceptación y conocimiento consciente de los mismos.

Los productos para potenciar la formación sobre patrimonio cultural de estudiantes de ingeniería y arquitectura de la Cujae, resultantes del trabajo docente e investigativo, han sido de gran utilidad y se han usado en múltiples funciones, entre las que se destaca ser material de consulta para la docencia y de promoción cultural. Se puede mencionar, además, la entrega de estos plegables, postales, files y folletos en versión digital (algunos impresos) a visitantes nacionales y extranjeros que participan en eventos, a los estudiantes que participaron en una actividad en la Cujae durante el Congreso de la FEU realizado en el 2023, a los fundadores Cujae. También se entregan como material de referencia a los estudiantes que cursan la asignatura electiva.

Se afirma que, con todos los productos diseñados, la docencia en asignaturas electivas sobre patrimonio cultural universitario y las visitas programadas a la sala de historia, se ha concebido de forma intencionada, un apoyo importante para la creación de conocimientos en estudiantes y trabajadores sobre su historia y tradiciones, así como la formación de valores incidiendo en el aumento de su identidad, sentido de pertenencia y arraigo a sus carreras y a la Cujae.

Las experiencias obtenidas del trabajo del GPCC en la Cujae pueden ser generalizables en otras universidades del país incluso en centros laborales e institutos que les interese proteger su memoria histórica.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Se quiere reconocer:

El apoyo brindado por la Dirección Institucional de la Cujae que aprobó la Constitución de la Catedra de Patrimonio y el Proyecto de Investigación que la sustenta, CONPACULT.

La participación de docentes de diferentes direcciones de la Cujae en el proyecto sobre Conservación del Patrimonio Cultural Universitario, CONPACULT, que con su esfuerzo contribuyen cada día a la salvaguarda de la memoria histórica de la Cujae y también a la promoción de los resultados.

## 6. REFERENCIAS

[1] FELIPE-TORRES, Claudia. "Al abrigo del alma mater. Patrimonio Cultural universitario. Valores y experiencias de gestión desde la Universidad de La Habana". Tesis de doctorado, Universidad de Granada, España, 2016. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=55696

[2] MARÍN, Sofía. y FONTAL, Olaia.(2020). "Percepciones de estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria en torno al Patrimonio". *Revista Arte, Individuo y Sociedad*, 2020, vol. 32, Nº 4, 2020, págs. 917-933.

[3] MOLINA-TORRES, María Pilar y ORTIZ-URBANO, Raimundo. "Educación sostenible y conservación del patrimonio cultural en la formación del profesorado universitario". *Formación Universitaria* [online], 2021, vol.14, Nº 1, pp.207-216. ISSN 0718-5006. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000100207

[4] RODRÍGUEZ, Eduardo Luis (2011). *La Arquitectura del Movimiento Moderno. Selección de Obras del Registro Nacional*. La Habana: Editorial Boloña, 2011 p.142-143 . ISBN 978-959-209-998-2

[5] BRULL-GONZALEZ, Maribel y FONSECA-MARTINEZ, Ailén. "Patrimonio cultural e identidad en las universidades". *Universidad y Sociedad* [online]. 2020, vol.12, Nº 5, pp. 328-336. ISSN 2218-3620.

[6] PORTERO-RICOL, Ada Esther; GONZÁLEZ-MORENO, Maritza; MACHADO-JARDO, Ricardo y CRISTOBAL-FARIÑAS, Mirelle. (2018): "Praxis de formación para arquitectos en la Cujae". *Bitácora Urbano Territorial* [online]. 2018, vol. 28, Nº 1, pp. 93-100. ISSN-e: 2027-145X. https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.

[7] GONZÁLEZ-MORENO, Maritza. (2006) "Formulación teórico metodológica para la promoción cultural de la investigación en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría". Tesis de doctorado, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cujae, La Habana, 2006, p.33

[8] MONGE-HERNANDEZ, Carmen; MENDEZ-GARITA, Nuria Isabel y GONZALEZ-MORENO, Maritza. "Barreras para la institucionalización de la extensión universitaria: Experiencia de la Universidad Nacional, Costa Rica". *Educare* [online]. 2021, vol. 25, Nº 1, pp. 393-416. ISSN 1409-4258. http://dx.doi.org/10.15359/ree.25-1.21.

[9] Grupo para la Protección y la conservación del patrimonio cultural de la CUJAE. *Organización para realizar el levantamiento del patrimonio cultural de la CUJAE*. [online]. Disponible en: Telegram @AlmaCujaeBot.

[10] PORTERO-RICOL, Ada Esther y otros. (2011) *Plan de Protección al Patrimonio Cultural. La CUJAE. Expediente en versión digital confeccionado por el Grupo para la Protección y Conservación del patrimonio cultural de la CUJAE*. [online]. Disponible en: Telegram @AlmaCujaeBot.

[11] PORTERO-RICOL, Ada Esther, GONZÁLEZ-MORENO, Maritza, TORRES-SÁEZ, Henrry, MACHADO-JARDO, R., y CRISTOBAL-FARIÑAS, Mirelle. (2016). "El patrimonio cultural universitario. Una fuente para la formación de valores". *Revista Referencia Pedagógica*, [online]. 2016, vol. 4, Nº 2, pp. 105-116. ISSN: 2308-3042. https://rrp.cujae.edu.cu/index.php/rrp/article/view/100

**Sobre los autores**

**Arq. Mirelle Cristobal Fariñas**. Profesor Instructor. Dirección de Extensión Universitaria. Cujae. Pertenece a la UNAICC.

**MSc. Arq. Ricardo Machado Jardo**. Profesor Asistente. Dirección de Extensión Universitaria. Colaborador en la Facultad de Arquitectura. Cujae. Pertenece a la UNAICC. Miembro activo de varios comités de expertos CTN24, Mantenimiento del MICONS.

**Dr. Arq. Ada Esther Portero Ricol**. Profesor Titular. Presidenta de la Cátedra Honorífica de Patrimonio Cultural Universitario Cujae, 2021. Responsable del Proyecto de investigación institucional Conservación del Patrimonio Cultural Universitario, CONPACULT, sep 2022. Participa en el programa de Doctorado Curricular de Arquitectura. Pertenece a consejos editoriales de revistas como la Revista de Referencia Pedagógica de la Cujae, AU de Cuba, ESTOA de la Universidad de Cuenca y AUC (F de Arquitectura y Diseño UCSG de Ecuador, EDA de Italia). Miembro activa de varios comités de expertos CTN24 y Mantenimiento del MICONS, UNAICC, Patrimonio y Comisión Nacional de Grados Científicos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# OBTENCIÓN DE ANAGLIFOS DEL PATRIMONIO CUJAE

**Rolando Serra Toledo[1], Rubén Herrera Rodríguez[2]**

[1] Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba, [2] Metodólogo de la Dirección de Extensión Universitaria, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: serra@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Se muestra el trabajo realizado en la obtención de anáglifos de alto valor patrimonial de objetos y obras de nuestra Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae para ser exhibidos en el Museo Tecnológico en creación.
El desarrollo de la técnica de obtención de anáglifos permitió obtener imágenes tridimensionales que permiten apreciar de forma más integral que la fotografía clásica objetos y obras de elevado valor patrimonial universitario.
El trabajo se desarrolló como parte de la Cátedra de Patrimonio Cultural Universitario y del proyecto de investigación institucional Conservación del Patrimonio Cultural Universitario.

**PALABRAS CLAVES:** Anaglifos, patrimonio, imágenes tridimensionales

# OBTAINING ANAGLYPHS FROM THE CUJAE HERITAGE

**ABSTRACT**

The work carried out in obtaining anaglyphs of high heritage value of objects and works from our Technological University of Havana José Antonio Echeverría, Cujae is shown to be exhibited in the Technological Museum in creation.
The development of the technique for obtaining anaglyphs made it possible to obtain three-dimensional images that allow objects and works of high university heritage value to be appreciated in a more comprehensive way than classic photography.
The work was developed as part of the University Cultural Heritage Chair and the institutional research project Conservation of University Cultural Heritage.

**KEY WORDS:** Anaglyphs, heritage, three-dimensional images

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en nuestro país se están desarrollando investigaciones y diferentes acciones para fortalecer la gestión, la divulgación y el conocimiento del patrimonio histórico y cultural universitario [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].
En el mundo hay varios reportes recientes de la utilización de anaglifos para el conocimiento y divulgación del patrimonio histórico y cultural [9, 10, 11, 12, 13].
En nuestra universidad, se está desarrollando el proyecto de investigación institucional: Conservación del Patrimonio Cultural Universitario (CONPACULT), unido al trabajo de la Cátedra de Patrimonio Cultural Universitario, que incluye acciones encaminadas a preservar y divulgar el patrimonio de nuestra institución.
Existen diversas técnicas para poder obtener imágenes tridimensionales entre las cuales podemos citar la holografía, polarización de imágenes, realidad virtual y la utilización de estero-monitores. Muchas de estas técnicas poseen un alto costo, tanto en investigación como en el desarrollo y utilización de las mismas. Existen por el contrario, otras técnicas mucho más económicas, pero sobre todo más sencillas de

implementar y con grandes resultados en su aplicación. Una de las más conocidas, debido a las características antes apuntadas, es la estereoscopía de dos colores o anáglifos que es la técnica en la cual se centra el presente trabajo [14].

Las características tridimensionales de la imagen obtenida de los anáglifos permiten su utilización en aplicaciones patrimoniales dirigidas a la mejor divulgación y apreciación de objetos y obras reales.

Los humanos tienen por naturaleza visión tridimensional. Esta percepción espacial se debe a diversos motivos, pero principalmente, a la disposición binocular de los ojos, la cual permite a cada ojo observar campos ligeramente diferentes. Esta diferencia de campos visuales es llamada disparidad. Por esta disparidad es que los objetos son posteriormente interpretados por el cerebro permitiendo la percepción del estado espacial en el que se encuentra el objeto. La actividad en conjunto de todos estos procesos y sentidos es llamada estereopsis. Por otra parte, el paralelaje de los ejes ópticos de los ojos, la separación ínter ocular, la acomodación y el enfoque son mecanismos, que en conjunción con la estereopsis, se conoce como fusión [15].

Un estereograma, básicamente, es una imagen tridimensional construida a partir de dos imágenes planas, las cuales pueden ser pinturas, dibujos, o simplemente dos fotografías. Esta técnica es una de las pocas que utilizan el fenómeno de la estereopsis para poder apreciar la tercera dimensión en una imagen plana, ya sea en un papel, en la pantalla de una computadora o de un televisor.

Las imágenes planas a través de las cuales se obtiene un anáglifo son relativamente diferentes. Por ejemplo, en el caso de que las imágenes sean fotografías, deben ser obtenidas de manera que estén separadas entre sí una distancia aproximada a la separación ínter-ocular media, lo cual simula la disparidad que ocurre entre cada uno de los ojos.

Para que el fenómeno de la estereoscopía sea percibido, cada ojo tiene que poder captar la imagen respectiva según la secuencia al momento de la obtención de las mismas y al lograrse esto, el cerebro realiza el fenómeno de la fusión.

Los anáglifos, como se explicó anteriormente, se construyen a través de dos imágenes planas. Para obtener estas imágenes en la actualidad se utiliza la fotografía digital. Al momento de obtener las fotografías, se toma como referencia el eje óptico de la lente de la cámara. Las imágenes tienen que ser ligeramente diferentes entre sí, tomadas con una separación entre ellas (separación interaxial) de aproximadamente la distancia inter ocular, tratando de que los ejes ópticos de la lente de la cámara se mantengan paralelos.

Con la variación de esta distancia se pueden modificar los resultados, obteniendo imágenes en distintos planos respecto a la superficie del papel o pantalla, en dependencia de donde se proyecte el anáglifo. Es decir, la imagen puede aparecer en la parte delantera o detrás del plano de la pantalla, o incluso, con una parte hacia afuera y otra hacia dentro de dicho plano. Esta posición es la distancia virtual, distancia a la que se percibirá el objeto a diferencia de la distancia real a la que se encuentra el mismo.

Una vez que las imágenes que forman el par estereoscópico son obtenidas, estas deben ser procesadas mediante un programa de computación el cual realizará el filtraje de estas dos imágenes. El principio del filtraje consiste en dividir la imagen en los tres planos del sistema RGB de colores para utilizar el rojo en la imagen de la izquierda y una combinación de los planos azul y verde en la imagen de la derecha. Luego de filtradas las dos imágenes en sus colores respectivos, son superpuestas entre sí por el programa, el cual suma píxel a píxel las mismas. En la Figura 1 se representan esquemáticamente los pasos anteriormente descritos.

A partir de la suma de las dos imágenes, es necesario enfocar el anáglifo. Consiste en desplazar una imagen filtrada respecto de la otra, hasta encontrar el resultado que se busca. El enfoque de la imagen es crucial, tanto al momento de la obtención de las fotografías base, como en el efecto que se quiere obtener en el anáglifo, ya que según el desfasaje entre ambas, la imagen final resultará por encima del plano de la pantalla, sobre este, o por debajo, afectando de esta forma la función que deben realizar los ojos.

Tanto para poder enfocar las imágenes como para ver el resultado del anáglifo es necesario utilizar espejuelos especiales los cuales constan de filtros de color rojo para el ojo izquierdo y azul o verde para el ojo derecho. La disposición de estos asegura que cada ojo pueda ver una imagen diferente y de esta manera, simular el fenómeno de la estereopsis en el cerebro percibiéndose de esta manera las dimensiones de profundidad y distancia relativa entre los objetos.

## 2. DESARROLLO

Se realizó la obtención de anaglifos con el procedimiento resumido y mostrado en la figura 1.

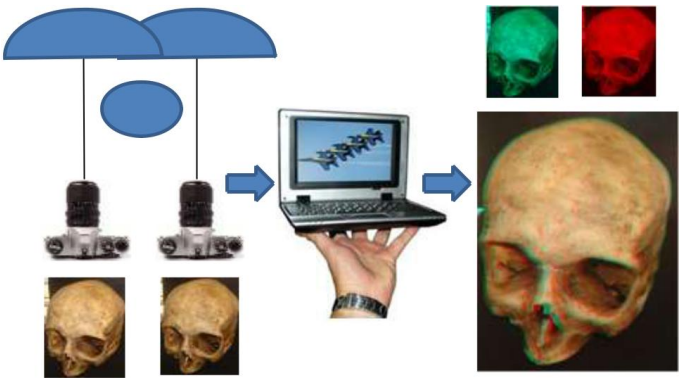


Figura 1: Esquema de los pasos necesarios para la construcción de los anaglifos

En el proceso de construcción de anáglifos para aplicaciones patrimoniales, se utilizó el software desarrollado. Esta aplicación consta de cinco pasos básicos para la construcción del anaglifo:

**Cargar imágenes:** a través de un push-button, el cual deriva a una ventana donde se seleccionan las imágenes que formarán parte del anáglifo. Ambas imágenes se ubican a la izquierda de la ventana de la aplicación.

**Filtrado:** un segundo push-button es el encargado de filtrar las imágenes. Con un solo clic, ambas imágenes son descompuestas en sus respectivos colores. Una vez filtradas, son expuestas a la derecha de la pantalla. También brinda la opción de obtener tres tipos de filtrado, los cuales son: imagen real, imagen no saturada (con ausencia del color blanco) e imagen a escala de grises.

**Construcción del anáglifo**: la suma píxel a píxel de ambas imágenes es realizada a través de un tercer push-button. El anáglifo resultante se observa en el centro de la ventana del programa.

**Enfoque:** el enfoque es controlado a través de cuatro teclas, arriba, abajo, derecha e izquierda, que desplazan las imágenes en dichos sentidos. Dado que el enfoque es un trabajo de exactitud, el programa consta de un selector del factor desplazamiento, que posibilita obtener una gran precisión dependiendo de las necesidades del operador.

**Guardar:** para concluir el procedimiento, se guarda el anáglifo mediante un botón el cual muestra una ventana de exploración, para seleccionar el destino del nuevo anáglifo construido. En la Figura 2 se puede apreciar como se observa la aplicación una vez finalizado el procedimiento anteriormente descrito. Al centro se puede apreciar uno de los primeros anáglifos obtenido con la utilización de esta aplicación.

Para el paso de visualización de los anaglifos obtenidos se utilizan espejuelos de 2 colores como se muestra en la figura 2.



Figura 2: Espejuelos para visualizar los anaglifos

Se construyeron más de 30 anaglifos de obras y objetos de alto valor patrimonial de nuestra universidad. Se muestran a continuación algunos ejemplos:



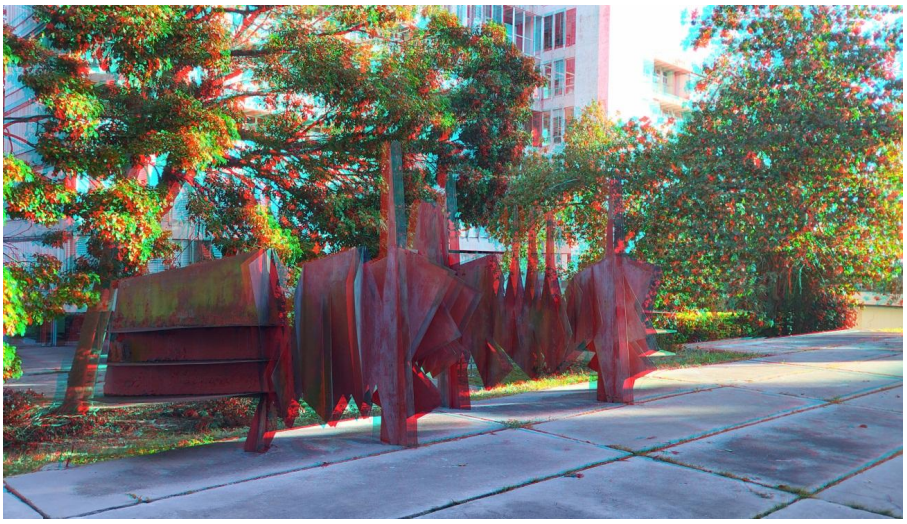





Figura 3: Ejemplos de anaglifos obtenidos de valor patrimonial Cujae

Es de destacar que la obtención de anáglifos de alto valor patrimonial de objetos y obras de nuestra Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, para ser exhibidos en el Museo Tecnológico en creación, permitió un efecto económico significativo al realizar todo el trabajo con esfuerzo y recursos propios desarrollados, lo que significa un importante ahorro al evitar la contratación de entidades externas que pudieran realizar este tipo de trabajo.

## 3. CONCLUSIONES

Se ha presentado la obtención de anaglifos de alto valor patrimonial de objetos y obras de nuestra Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae para ser exhibidos en el Museo Tecnológico en creación, como contribución al conocimiento y divulgación del patrimonio universitario dentro del trabajo de Extensión Universitaria de nuestra universidad y específicamente de la Cátedra de Patrimonio Cultural Universitario y del proyecto de investigación institucional Conservación del Patrimonio Cultural Universitario.

## REFERENCIAS

1. FONSECA MARTÍNEZ, A., & BRULL GONZÁLEZ, M. "Patrimonio cultural e identidad en las universidades". *Conrado*, 2020, vol 16, núm 74, pp. 379-386.
2. SOLER MARCHÁN, S. D., HERNÁNDEZ MORENO, E., MEDINA HERNÁNDEZ, O., & GARCÍA DUEÑAS, R. Y. "La sistematización de experiencias académicas vinculadas al modelo gestión del patrimonio histórico cultural y natural en la Universidad de Cienfuegos". *Revista Universidad y Sociedad*, 2022, vol 14, núm 4, pp. 568-578.
3. LÓPEZ, M. S., MOREJÓN, A. J., SOCORRO, N. A., & GONZÁLEZ, M. F. "El patrimonio cultural de la Universidad de Pinar del Río: necesidad de su preservación". *Revista Cubana de Educación Superior*, 2022, vol 41(Especial 2), pp. 283-298.
4. JIMÉNEZ PÉREZ, GA & PEÑATE VILLASANTE, AG. "Tecnologías sociales en la gestión del patrimonio cultural de la Universidad de Matanzas". *ReNoSCol*, 2022, vol 1, núm 3, pp.54-68.
5. ROMERO-FONSECA, M., HERNÁNDEZ-GARRIDO, M. V., GARCÍA-LESCAILLE, T., & MEERS, P. "El patrimonio documental en la Universidad de Oriente. Algunas reflexiones". *Santiago*, 2022, vol 159, núm 1, pp.171-186.
6. PÉREZ, G. A. J., & DE OCA, A. G. M. "Gestión del patrimonio documental de la Universidad de Matanzas. Preservación y socialización". *Bibliotecas. Anales de investigación*, 2023, vol 19, núm 2, p.7.
7. PORTERO-RICOL, A. E., CRISTOBAL-FARIÑAS, M., & MACHADO-JARDO, R. "Propuesta integradora de formación sobre patrimonio cultural universitario. La experiencia de la Cujae". *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 2023, vol 25, núm 2, pp. 155-164.
8. LEDESMA, U. "Formación de competencias para el trabajo con el patrimonio en los docentes de la Universidad de Matanzas". *Revista Interamericana de Bibliotecologia*, 2024, vol 47, núm 1.
9. VILLABONA, A. M., DÁVILA, L. B., JIMÉNEZ, J. E., & OVIEDO, R. J. "Anaglifos del Palacio de los Condes de Gabia". In *Innovación docente interdisciplinar en la universidad: Estudio de la Arquitectura, el Derecho y la Historia del Arte del patrimonio histórico-artístico de la ciudad de Granada a través de la fotografía estereoscópica*, pp. 537-546. Editorial Universidad de Granada, 2018.
10. GÓMEZ, S. C. "Dibujos 3D. Las breves apariciones de anaglifos en la arquitectura". *Bitácora Arquitectura*, 2020, Vol 42, núm 1, pp.20-123.
11. MORET-TATAY, M. D. C., PÉREZ-MENGUAL, N., SÁIZ-MAULEÓN, B., & LAPUERTA, F. B. "¿Qué eficacia tienen los estímulos anaglifos 3D? Un análisis del reconocimiento emocional". *Psico-USF*, 2022, Vol *26*, pp.149-155.
12. VALENCIA PULIDO, S. B. "Un catálogo de vistas estereoscópicas comercializado por dos casas fotográficas". *Cuicuilco. Revista de ciencias antropológicas*, 2022, Vol 29, núm 85, pp.311-339.
13. ALARCÓN CASTAÑER, V. "Fotografía estereoscópica", Bachelor's thesis, Universitat Politécnica de Catalunya, 2024.
14. DHAOU, D., BEN JABRA, S., & ZAGROUBA, E. "A review on anaglyph 3D image and video watermarking". *3D Research,* 2019, vol *10*, pp. 1-12.
15. SERRA, R., ALFONSO, I., HERRERA, R., & MAGALHAES, D. S. F. "La física y el trabajo científico estudiantil en la formación del ingeniero biomédico". *Rev. Cubana Fis*, 2018, Vol *35*, núm E40.

**Sobre los autores**

**Rolando Serra Toledo:** Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado. Profesor Auxiliar e Investigador Titular. Doctor en Ciencias Pedagógicas.
Correo electrónico: serra@electrica.cujae.edu.cu

**Rubén Herrera Rodríguez:** Metodólogo de la Dirección de Extensión Universitaria. Profesor auxiliar, Master en Ciencias.
Correo electrónico: rubenh@tesla.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LOS ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES VISIBLES COMO CONTRIBUCIÓN AL PATRIMONIO UNIVERSITARIO CUJAE

**Gladys Mesa Palacios[1], Rolando Serra Toledo[2]**

[1] Especialista de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba, [2] Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: gladyse@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En la actualidad tienen vital importancia los conceptos de gestión patrimonial e identidad universitaria para el desarrollo sostenible sobre la base de la participación comunitaria y la responsabilidad social.
El patrimonio universitario integra a todo el patrimonio material e inmaterial relacionado con la universidad, en el cual los activos fijos intangibles universitarios tienen una gran relevancia.
El establecimiento de políticas para el desarrollo, la gestión y el control de los activos fijos intangibles es por tanto un tema de gran importancia y actualidad para las instituciones de investigación y de educación superior, dado que, en la actualidad, no existe en las universidades cubanas una concepción integral para el trabajo con los activos fijos intangibles y su gestión y control es insuficiente e inefectivo.
El trabajo presenta la fundamentación y estructuración de un procedimiento para lograr el perfeccionamiento del proceso de gestión y control de los activos fijos intangibles visibles en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, como contribución a su desarrollo estratégico y a la preservación del patrimonio universitario dentro del trabajo de Extensión Universitaria de nuestra universidad y específicamente del proyecto de investigación institucional Conservación del Patrimonio Cultural Universitario.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión, Activos intangibles, Patrimonio universitario, Extensión universitaria

# VISIBLE INTANGIBLE FIXED ASSETS AS A CONTRIBUTION TO THE CUJAE UNIVERSITY HERITAGE

**ABSTRACT**

Nowadays, the concepts of heritage management and university identity are of vital importance for sustainable development based on community participation and social responsibility.
University heritage integrates all material and intangible heritage related to the university, in which university intangible fixed assets have great relevance.
The establishment of policies for the development, management and control of intangible fixed assets is therefore a topic of great importance and topicality for research and higher education institutions, given that, currently, it does not exist in universities. Cuban companies, a comprehensive conception for working with intangible fixed assets and their management and control is insufficient and ineffective.
The work presents the foundation and structuring of a procedure to achieve the improvement of the management and control process of visible intangible fixed assets at the José Antonio Echeverría Technological University of Havana, Cujae, as a contribution to its strategic development and the preservation of heritage. University within the University Extension work of our university and specifically the institutional research project Conservation of University Cultural Heritage.

**KEY WORDS:** Management, Intangible assets, University heritage, University extension

## 1. Introducción

En la actualidad tienen vital importancia los conceptos de gestión patrimonial e identidad universitaria para el desarrollo sostenible sobre la base de la participación comunitaria y la responsabilidad social.
El patrimonio universitario integra a todo el patrimonio material e inmaterial relacionado con la universidad, así como a la comunidad universitaria de profesores y estudiantes, al entorno social y cultural del cual forma parte este patrimonio. Debe entenderse entonces como todas las huellas de la actividad humana relacionadas con la educación superior, que incluye por supuesto los resultados del trabajo de investigación de profesores y estudiantes en el cual los activos fijos intangibles universitarios tienen una gran relevancia.
En la actualidad en nuestro país se están desarrollando investigaciones y diferentes acciones para fortalecer la gestión y el control del patrimonio histórico y cultural universitario [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].
En nuestra universidad, se está desarrollando el proyecto de investigación institucional: Conservación del Patrimonio Cultural Universitario(CONPACULT), unido al trabajo de la Cátedra de Patrimonio Cultural Universitario, que incluye acciones encaminadas a preservar y divulgar los AFIV y en particular las patentes como parte del patrimonio de nuestra institución.
El establecimiento de políticas para el desarrollo, la gestión y el control de los activos fijos intangibles es un tema muy actual e importante no solo para las empresas, sino también para las instituciones de investigación y de educación superior. En las universidades se da el contexto adecuado en el cual se aplican dos conceptos muy relacionados entre sí: la gestión del conocimiento y la gestión de intangibles.
Consideramos para este trabajo como más apropiada la definición de activos fijos intangibles que aparece en la Norma Cubana de Contabilidad No 8 [9]: "Los Activos Fijos Intangibles o inmateriales son aquellos activos no cuantificables físicamente ya que carecen de materialidad o sustancia corpórea, pero que producen o pueden producir un beneficio económico a la entidad en períodos futuros. Implican un derecho o privilegio que posibilita reducir los costos o mejorar la calidad de los servicios o productos, y sólo son visibles en el instrumento legal que justifica el derecho a su usufructo, entre ellos se encuentran algunos como: Patentes, Derechos (de Autor, de Superficie, entre otros) Propiedad Intelectual, Marcas, Concesiones, Franquicias, Innovaciones Tecnológicas, Arrendamiento Financiero con Opción de Compra, Software, y otros".
Un activo se considera intangible cuando:

- Es separable, es decir, se puede separar del resto de la entidad para su venta, traspaso, intercambio, alquiler, ya sea individual-mente o conjuntamente con un contrato, un activo o pasivo con los que guarda relación, o
- Surge de derechos contractuales o legales, sin que sea necesario que estos derechos sean transferidos o separables de la entidad o de otros derechos u obligaciones.

Existen dos tipos fundamentales de Activos Fijos Intangibles (AFI):

- AFI visibles o identificables sobre los que existe una regulación contable (por adquisición a terceros o generados internamente).
- AFI ocultos o no identificables, conocidos como capital intelectual sobre los que no existe una regulación contable. Incluye el capital humano y el estructural.

Hoy son varias las investigaciones que se realizan en el mundo [10] y en las diferentes ramas de la economía nacional [11, 12], con vistas a introducir, medir y gestionar los intangibles, pero dirigidas al capital intelectual.
Existen bastante pocas publicaciones en el mundo y en Cuba que abordan la gestión de los Activos Fijos Intangibles Visibles o Identificables (AFIV).
Se han publicado en los últimos años investigaciones y resultados de la importancia de la gestión de patentes universitarias como AFIV [13, 14, 15].
A continuación, en la Tabla 1 presentamos de manera resumida los principales reportes del diagnóstico de investigaciones realizadas y sus limitaciones sobre la gestión de los Activos Fijos Intangibles Visibles o Identificables (AFIV):

Tabla 1: Principales reportes del diagnóstico realizado.



**ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES VISIBLES**

| INVESTIGACIÓN | LIMITACIÓN FUNDAMENTAL |
|---|---|
| ZUBIAURRE ARTOLA, M.A. (1998): Evolución del reconocimiento contable de los activos intangibles. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco. | Solo elementos contables |
| GARCÍA ARRIETA, M. (2001): La información contable de los activos intangibles. Tesis Doctoral. Universidad San Pablo Ceu. Madrid. | Solo elementos contables |
| FERNÁNDEZ, PABLO. (2007): Valoración de marcas e intangibles, Documento de investigación, Universidad de Navarra. | Solo valoración de marcas |
| OCHOA MIGUEL ANTONIO. (2008): Identificación y explotación de intangibles. Tesis de Maestría, UNAM, México. | Muy poco de intangibles visibles, se aborda de forma general |
| ZALDÍVAR, ANTONIO. (2009): Propuesta teórico – metodológica en el desarrollo del proceso de innovación tecnológica desde las invenciones patentadas en el ISPJAE en el período 1977-2007.Tesis de doctorado. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba. | Solo patentes |
| CAMARA, A. (2010): Apuntes sobre los activos intangibles. Monografía. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Facultad de Industrial. | Muy general |
| RAMÍREZ CORCOLES, Y. (2010): ¿Es posible un reconocimiento contable de los intangibles?. Revista de Contabilidad y Tributación, Nº 328, pp. 125-146. | Solo elementos contables |
| MARRERO, A (2016): Capitalización del software como un activo intangible. Monografía | Solo Software |
| HINCAPIÉ, J. P. (2017): Elementos ontológicos, epistemológicos y metodológicos para la construcción de un marco teórico de estudio de los activos intangibles. Cuadernos de Contabilidad, 18(45), 86-109. | Solo elementos contables |
| SUÁREZ, E., NAZCO, B., SARDUY, A. (2018). Procedimiento contable para valorar y reconocer activos intangibles de propiedad intelectual en empresas estatales cubanas, Cofin Habana. 12, 1. 147-163. | Solo elementos contables |

Para lograr una contribución efectiva al Patrimonio Universitario Cujae de los AFIV, se partió de lograr desarrollar e implementar un procedimiento para lograr el perfeccionamiento del proceso de gestión y control de los activos fijos intangibles visibles de nuestra universidad.

## 1. DESARROLLO

### Caracterización de la gestión de los activos fijos intangibles visibles en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría

En los últimos 5 años se han obtenido como resultado de las investigaciones desarrolladas en nuestra universidad los siguientes AFIV que aparecen controlados en el Sistema de Registros Primarios de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado (VRIP) como se muestra en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2. AFIV controlados en el sistema de registros primarios de la VRIP.

| Tipos de AFI visibles | Cantidad |
|---|---|
| Libros | 412 |
| Monografías | 327 |
| Software y multimedia | 32 |
| Patentes | 9 |
| TOTAL | 780 |

**Procedimiento para la gestión de los activos fijos intangibles visibles en una universidad**

Elementos principales por etapas para la implementación del procedimiento de control de los Activos Fijos Intangibles visibles o identificables (AFIV) en la Cujae (16)

**Etapa 1:**

1. Análisis de la situación actual de los AFI visibles controlados por contabilidad de la VRE y de su documentación.
2. Análisis de las principales dificultades del Modelo SC-1-01 de ASSETS de Activos Fijos Tangibles (AFT) utilizado también para el control de los AFI visibles. (Diseño de un nuevo modelo contable de ASSETS para el control de los AFI visibles).

**Etapa 2:**

1. Establecimiento de los criterios generales para el reconocimiento de un AFI visible:
   - Se ha tenido que pagar algún costo de adquisición o desarrollo para obtenerlos.
   - Es probable que se obtengan beneficios económicos futuros atribuibles al mismo.
   - El costo del mismo puede ser medido con fiabilidad.
2. Establecimiento de las consideraciones generales para la realización de los procesos de valuación y amortización de los AFI visibles, así como para la determinación del costo de los mismos.

**Etapa 3:**

1. Determinación de los tipos de AFI visibles que serán considerados para su control:
   - Propiedad intelectual: Patentes y Marcas
   - Programas computacionales: Software y Multimedios
   - Derechos intelectuales: Derechos de autor: Libros y Monografías
2. Control de los AFI visibles generados internamente en el Sistema de Registros Primarios (Códice) de la VRIP.
3. Confección de los expedientes de los AFI visibles que sean seleccionados para su control contable.
4. Control de los AFI visibles en el sistema de control contable ASSETS.

**Etapa 4:**

1. Gestión de comercialización por CETA.

A continuación en la figura 1 se muestra un esquema del proceso diseñado para la gestión de los AFIV en nuestra universidad:

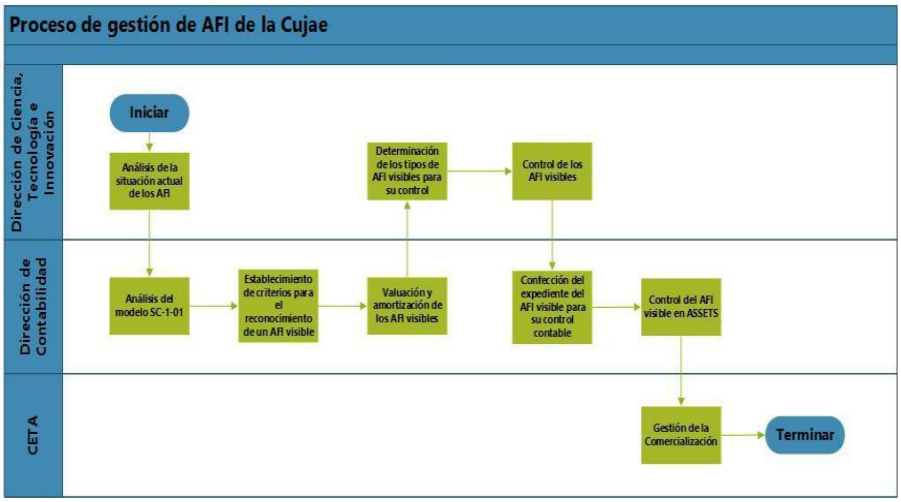



Figura 1: Esquema del proceso de gestión de los AFI en nuestra universidad

**Aplicación del procedimiento de gestión de los AFI visibles o identificables en la Cujae**

El procedimiento completo propuesto así como su implementación se puede encontrar en (17).

Se destaca en primera instancia el control de todos los AFIV en un Sistema de Gestión de Registros Primarios (Códice) que permite centralizar en un repositorio toda la producción científica de nuestra universidad, desglosada en: artículos, libros, monografías, normas, patentes, software, eventos, premios y tesis, el mismo tiene 14 años de utilización y se muestra a continuación en la figura 2:

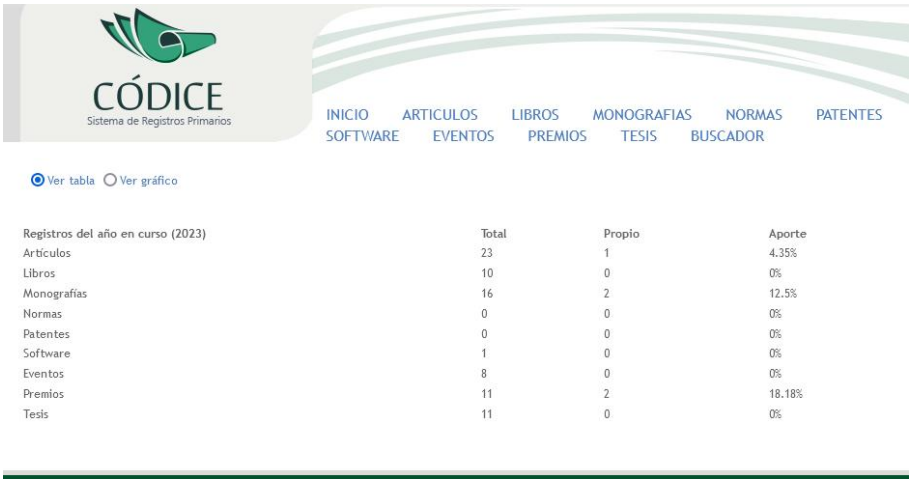



Figura 2: Sistema de gestión de Registros Primarios de la universidad

También es de destacar la confección de la carpeta de patentes de la universidad actualizada con las patentes como un paso imprescindible para su posterior gestión de comercialización y gestión patrimonial. La carpeta de patentes actualizada (Ver figura 3), se confeccionó sobre la base de la búsqueda de las patentes activas vigentes de nuestra universidad.




Figura 3: Portada de la carpeta de patentes activas 2024 de la universidad

**Aplicación del Método de Criterio de Expertos como valoración de la factibilidad del procedimiento propuesto**

Se realizó la selección de 20 expertos internacionales con las siguientes características que se muestran en las figuras 4 y 5:




Figura4: Características generales de expertos internacionales seleccionados




Figura5: Otras características generales de expertos internacionales seleccionados

Se aplicó un instrumento para recibir la valoración de los expertos sobre los diferentes aspectos del procedimiento propuesto con los siguientes resultados:

- El 100% plantea estar fuertemente de acuerdo en que el diseño del procedimiento propuesto para la gestión de los activos fijos intangibles visibles en una universidad, permitirá perfeccionar el control de los mismos.
- El 90% de los aspectos evaluados del procedimiento propuesto tiene una valoración de bastante adecuado o adecuado.

## 3. CONCLUSIONES

Se ha presentado un procedimiento novedoso para lograr el perfeccionamiento del proceso de gestión y control de los activos fijos intangibles visibles en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, como contribución a su desarrollo estratégico y a la preservación del patrimonio universitario dentro del trabajo de Extensión Universitaria de nuestra universidad y específicamente del proyecto de investigación institucional Conservación del Patrimonio Cultural Universitario.
Se ha realizado la aplicación parcial del procedimiento diseñado que incluye la confección de la carpeta de patentes vigentes 2024 de nuestra universidad. Se aplicó el Método de Criterio de Expertos como valoración de la factibilidad del procedimiento propuesto con resultados muy satisfactorios.

## REFERENCIAS

1. FONSECA MARTÍNEZ, A., & BRULL GONZÁLEZ, M. “Patrimonio cultural e identidad en las universidades”. *Conrado*, 2020, vol 16, núm 74, pp. 379-386.
2. SOLER MARCHÁN, S. D., HERNÁNDEZ MORENO, E., MEDINA HERNÁNDEZ, O., & GARCÍA DUEÑAS, R. Y. “La sistematización de experiencias académicas vinculadas al modelo gestión del patrimonio histórico cultural y natural en la Universidad de Cienfuegos”. *Revista Universidad y Sociedad*, 2022, vol 14, núm 4, pp. 568-578.
3. LÓPEZ, M. S., MOREJÓN, A. J., SOCORRO, N. A., & GONZÁLEZ, M. F. “El patrimonio cultural de la Universidad de Pinar del Río: necesidad de su preservación”. *Revista Cubana de Educación Superior*, 2022, vol 41(Especial 2), pp. 283-298.
4. JIMÉNEZ PÉREZ, GA & PEÑATE VILLASANTE, AG. “Tecnologías sociales en la gestión del patrimonio cultural de la Universidad de Matanzas”. *ReNoSCol*, 2022, vol 1, núm 3, pp.54-68.

5. ROMERO-FONSECA, M., HERNÁNDEZ-GARRIDO, M. V., GARCÍA-LESCAILLE, T., & MEERS, P. "El patrimonio documental en la Universidad de Oriente. Algunas reflexiones". *Santiago*, 2022, vol 159, núm 1, pp.171-186.
6. PÉREZ, G. A. J., & DE OCA, A. G. M. "Gestión del patrimonio documental de la Universidad de Matanzas. Preservación y socialización". *Bibliotecas. Anales de investigación*, 2023, vol 19, núm 2, p.7.
7. PORTERO-RICOL, A. E., CRISTOBAL-FARIÑAS, M., & MACHADO-JARDO, R. "Propuesta integradora de formación sobre patrimonio cultural universitario. La experiencia de la Cujae". *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 2023, vol 25, núm 2, pp. 155-164.
8. LEDESMA, U. "Formación de competencias para el trabajo con el patrimonio en los docentes de la Universidad de Matanzas". *Revista Interamericana de Bibliotecologia*, 2024, vol 47, núm 1.
9. NORMA CUBANA DE CONTABILIDAD NO. 8. Activos Fijos Intangibles, Ministerio de Finanzas y Precios, Cuba, 2028
10. LINDA, M., FITRIA, Y. "The effect of intellectual capital on job satisfaction on bank amployees". *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 2019, vol 35, núm 19, pp. 1244-1265.
11. BUDOVICH, L., NADTOCHIY Y. "Teacher intellectual capital. Assessment approaches". *Revista Espacios*, 2019, vol 40, núm 8, pp. 2-27.
12. DURANGO, C. "La gestión del capital intelectual en universidades: una revisión de la literatura". *Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 2019, vol 6, núm 11, pp. 131-144.
13. CERONI, M., GONZÁLEZ, M. F. S., & VINDAS, J. T. "Producción científica universitaria como activo intangible y aporte social", T*endencias en la Investigación Universitaria: una visión desde Latinoamérica*, 2022, Vol. XIX, (pp. 169-179).
14. VILLAFAÑA-DÍAZ, L., TECPOYOTL-TORRES, M., PEREZ-SANTOS, M., & BARRÓN-VILLAVERDE, D. "Evaluación tecnológica y comercial de patentes universitarias a partir de la identificación de oportunidades comerciales en transferencia de tecnología". *CienciaUAT*, 2022, vol 17, núm 1, pp. 107-122.
15. CAVIGGIOLI, F., COLOMBELLI, A., DE MARCO, A., SCELLATO, G., & UGHETTO, E. "Co-evolution patterns of university patenting and technological specialization in European regions". The *Journal of Technology Transfer*, 2023, vol 48, núm 1, pp. 216-239.
16. MESA, G., SERRA, R., FLEITAS, S. "Metodología para la gestión de los activos fijos intangibles visibles en una universidad". *Universidad y Sociedad*, 2018, vol 10, núm 4, pp. 161-168.
17. MESA, G. "Procedimiento para la gestión de los activos fijos intangibles visibles en una universidad". Tesis de Maestría, Cujae, La Habana, Cuba. [no publicada], 2020.

**Sobre los autores**

**Gladys Mesa Palacios:** Licenciada en Planificación de la Economía Nacional, **Especialista** en servicio, procesamiento y análisis de la información de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado. Especialista en Gestión Económica. Master en Dirección.
Correo electrónico: gladyse@tesla.cujae.edu.cu

**Rolando Serra Toledo:** Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado. Profesor Auxiliar e Investigador Titular. Doctor en Ciencias Pedagógicas.
Correo electrónico: serra@electrica.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CONTRIBUCIONES A LA GESTIÓN DE RANKINGS INTERNACIONALES Y REDES SOCIALES CIENTÍFICAS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA

**Rolando Serra Toledo[1], Daniel Alfonso Robaina[2]**

[1] Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba, [2] Vicerrector Primero, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: serra@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Los rankings universitarios globales se han convertido en un referente de calidad del sistema de educación superior, constituyéndose en un factor relevante en la determinación de políticas y estrategias institucionales. Son construcciones metodológicas que reúnen diferentes criterios con los cuales se busca hacer homogénea la comparación entre instituciones y acorde a las ponderaciones que el ranking considere, categoriza unos resultados de medición y ordena las posiciones de las universidades. Los mismos se pueden considerar como expresión de la gestión de la internacionalización de la extensión universitaria.
Se muestran los resultados de la estrategia desarrollada en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, en los 4 principales rankings internacionales que tienen indicadores más ajustados a la realidad latinoamericana, el SCImago Institutions Rankings, el Ranking Web de Universidades, el Ranking Transparente y el Ranking QS.
Se analizan también los resultados de la visibilidad y reconocimiento de la Cujae en sitios de redes científicas para la difusión e intercambio muy utilizados en el mundo como el Google Académico y el Researchgate y su interrelación con los rankings anteriores.

**PALABRAS CLAVES:** Rankings, universidades, redes sociales científicas

# CONTRIBUTIONS TO THE MANAGEMENT OF INTERNATIONAL RANKINGS AND SCIENTIFIC SOCIAL NETWORKS AT THE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF HAVANA

**ABSTRACT**

Global university rankings have become a benchmark for quality in the higher education system, constituting a relevant factor in determining institutional policies and strategies. They are methodological constructions that meet different criteria with which the comparison between institutions is sought to be homogeneous and according to the weightings that the ranking considers, categorizes measurement results and orders the positions of the universities. They can be considered as an expression of the management of the internationalization of university extension.
The results of the strategy developed at the José Antonio Echeverría Technological University of Havana, Cujae, are shown in the 4 main international rankings that have indicators more adjusted to the Latin American reality, the SCImago Institutions Rankings, the Web Ranking of Universities, the Ranking Transparent and the QS Ranking.
The results of visibility and recognition of the Cujae in scientific network sites for dissemination and exchange widely used in the world such as Google Scholar and Researchgate and its interrelation with the previous rankings are also analyzed.

**KEY WORDS:** Rankings, universities, scientific social networks

## 1. INTRODUCCIÓN

Los rankings universitarios son construcciones metodológicas que reúnen diferentes criterios con los cuales se busca hacer homogénea la comparación entre instituciones de educación superior [1]. Acorde a las ponderaciones que el ranking considere, categoriza unos resultados de medición y ordena las posiciones de las universidades. Existe una diversidad metodológica, y diferencias en la rigurosidad para definir categorías de análisis en los rankings que existen y que se generan en diferentes escenarios, razón por la cual, es relevante conocer qué criterios se miden y así poner en contexto los resultados [1]. Se pueden considerar como expresión de la gestión de la internacionalización de la extensión universitaria.

Existen varios rankings internacionales universitarios que incluyen indicadores de medición elitistas y muy alejados del contexto latinoamericano en particular como el THE-Times Higher Education World University Ranking y el ARWU-Academic Ranking of World Universities, conocido como Shanghai Ranking entre otros [2, 3]. Otros rankings si se han adecuado más a la realidad de los países latinoamericanos y serán objeto de análisis en el presente artículo [4].

Existe una tendencia internacional hacia la medida de la calidad académica basada principalmente en investigación, producción científica y reputación académica. A pesar de las imperfecciones, los rankings ofrecen información esencial, útil para la sociedad que demanda análisis independientes, para las universidades y para los responsables de la política académica, que necesitan conocer fortalezas y debilidades de sus instituciones en el panorama global. [5].

Los rankings universitarios tienen por objeto realizar una jerarquización de las instituciones de educación superior (IES) basándose en parámetros e indicadores que pretenden medir la calidad de la educación universitaria, de la investigación y otros aspectos de la actividad académica, con el fin de informar y orientar a los estudiantes, a la opinión pública y a la sociedad en general [6, 7].

Los rankings llevan implícitos una determinada posición de cada institución que hace inevitable las comparaciones entre ellas. El problema surge cuando se identifica una mejor posición con una mejor calidad, dada la amplia connotación de este término. Además, el impacto que están ocasionando los rankings dentro y fuera de las universidades es cada vez mayor debido a su difusión por los medios de comunicación social. De lo anterior se desprende que no deberían presentarse los resultados de un ranking sin acompañarlos de una explicación detallada de la metodología con la que han sido elaborados, deben conocerse indicadores y pesos, así como una descripción precisa de lo que mide cada indicador. [8].

Los rankings están pensados para validar la calidad de las principales funciones de las Instituciones de educación superior: la formación, la investigación, la extensión universitaria e influenciar positivamente a la comunidad y fortalecer el sector productivo mediante la transferencia del conocimiento. Las medidas de influencia en la comunidad y la empresa son indicadores bastante subutilizados en los rankings [9].

Además, en el marco de la denominada Tercera Misión, las universidades deben contribuir al desarrollo económico y social de la región en la que se encuentra la universidad, y contribuir a la reducción de las desigualdades sociales [10].

Existen variadas inquietudes reportadas relacionadas con las dificultades de orden técnico y metodológico en su construcción [11] referidas a aspectos tales como la validez de los indicadores utilizados; la forma en que se captura la información; las ponderaciones empleadas para llegar a un solo valor asignado a cada institución.

Otra importante dificultad es comparar diferentes instituciones con diferentes propósitos y objetivos institucionales, que operan además en diferentes entornos socio-económicos y culturales [12].

Otra de las críticas comúnmente encontrada es el peso preponderante de la investigación, en comparación con la docencia, la gestión y la extensión. La dificultad para medir la investigación de carácter interdisciplinario o la que obedece a otras lógicas de difusión y divulgación diferente a las publicaciones periódicas, lleva a que estas manifestaciones puedan ser poco consideradas en los rankings [13].

Los rankings también conservan problemas de tamaño y de escala, pues están basados en indicadores que no logran neutralizar siempre los efectos del tamaño de las instituciones y de sus posibilidades de acceso a recursos. Hay que comprender sus limitaciones, pero también sus potencialidades sin dejar de hacer un examen más cuidadoso y desapasionado que procura esclarecer las varias dimensiones existentes en los procesos de ranqueo que, por su naturaleza, son complejos, controvertidos y polisémicos [14].

Las redes sociales son aplicaciones web o plataformas donde los usuarios interactúan entre sí y con los materiales multimedia que ellos mismos generan. En los últimos años la presencia en redes sociales se ha convertido en muy importante en el ámbito académico y profesional, contribuyendo a la difusión de la

investigación científica y al nacimiento de nuevos conceptos como el de "Ciencia 2.0": la aplicación de las tecnologías de la web social al proceso de investigación científica.
Estas plataformas hacen más fácil y más rápida la forma de crear contactos, mantener comunicación, publicar y compartir recursos, crear grupos de intereses y mostrar nuestra identidad en la medida que lo deseamos [15].
En los últimos tiempos, el uso de las redes sociales entre investigadores ha servido como herramienta de visibilidad, divulgación y cooperación.

## 2. DESARROLLO

A continuación, mostraremos los elementos fundamentales de la gestión y resultados en los 4 principales rankings internacionales que tienen indicadores más ajustados a la realidad latinoamericana de las universidades cubanas y de la estrategia desarrollada en la Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, para tratar de incrementar la visibilidad y los resultados en los mismos. Una visión más general se puede encontrar en [15].

### SCImago Institutions Rankings (SIR)

Clasifica todas las instituciones de educación superior e instituciones de investigación, a partir de indicadores científicos (investigación, resultados de innovaciones, impacto social a través de su visibilidad en la web) que evalúan el nivel y la calidad investigativa.
SCImago Research Group publica anualmente dos informes:
1. SIR World que muestra la actividad científica en el mundo. Incluye instituciones de todos los países y sectores que hayan publicado como mínimo 100 documentos en revistas indexadas en Scopus en el último año del período de estudio.
2. SIR IBER que muestra la actividad científica exclusivamente de Andorra, España, Portugal y los países de Latinoamérica.
El proceso de medición se realiza a partir de 17 indicadores, agrupados en tres factores principales: investigación, innovación e impacto social. El cálculo de dichos indicadores se genera anualmente a partir de los resultados obtenidos durante un período de cinco años que termina dos años antes de la edición de la clasificación. Un indicador esencial es la cantidad de artículos publicados en revistas indexadas en Scopus y la cantidad de profesores es esencial, siendo la Cujae una de las de menor claustro actual dentro del MES.
En la figura 1 se muestran las posiciones de las principales universidades del MES en el listado que genera la clasificación de las instituciones de educación superior en Iberoamérica (SIR IBER 2024), que es el último publicado, con la cantidad de artículos publicados en revistas indexadas en Scopus en los 5 años del periodo analizado

**RANKING SCIMAGO**

**Universidades Cubanas SIR IBER 2024 (2017-2021)**

| UNIVERSIDAD | ARTÍCULOS PUBLICADOS EN REVISTAS INDEXADAS EN SCOPUS |
|---|---|
| UH | 2015 |
| UCMH | 1216 |
| UCLV | 841 |
| CUJAE | 521 |
| UO | 479 |
| UCF | 332 |

Figura 1: Posiciones de las universidades del MES con mejores resultados y de nuestra universidad en el SIR IBER 2024

**El Ranking Web de Universidades (Webometrics)**

El Laboratorio de Cibermetría (CSIC) realiza un ejercicio científico abierto, independiente y objetivo para proporcionar información confiable, multidimensional, actualizada y útil sobre el desempeño de las universidades de todo el mundo basado en su presencia web e impacto.
En la Figura 2 se muestran los resultados de las primeras universidades cubanas del MES en este ranking y de nuestra universidad



Figura 2: Universidades del MES en el Ranking Web de Universidades 2024

Es de destacar que si se realiza el ordenamiento por el indicador de apertura vinculado al Ranking Transparente como se verá más adelante, la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría ocupa el primer lugar debido al trabajo realizado para incrementar la cantidad de profesores e investigadores con perfiles personales creados y actualizados en el Google Académico y el incremento de sus citas de la obra científica publicada.
En la Figura 3 de muestra la cantidad de perfiles personales creados en Google Académico en las Universidades del MES con mejores resultados

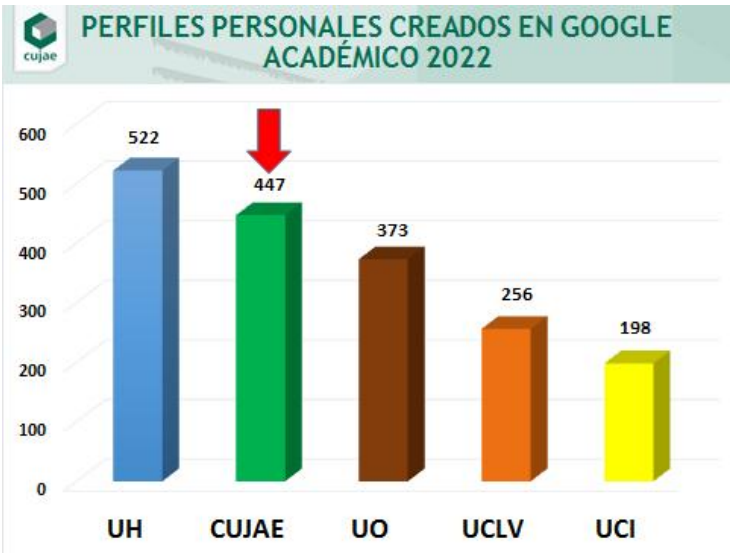
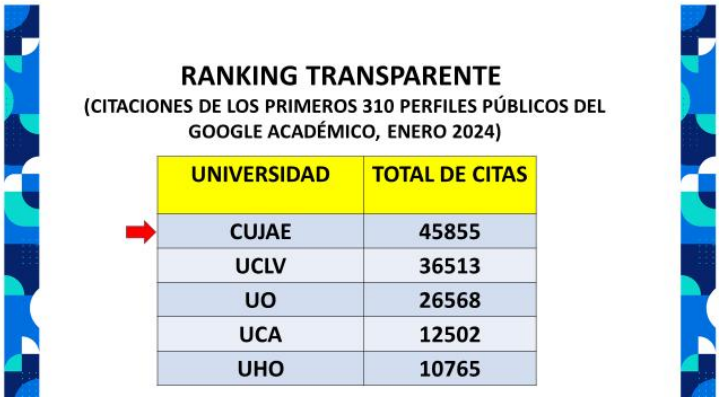


Figura 3: Cantidad de perfiles personales creados en Google Académico en las Universidades del MES con mejores resultados

**Ranking Transparente**

Se recopilan citas de los 210 perfiles públicos de los profesores e investigadores en el Google Académico más importantes de cada universidad, o sea con mayor número de citas. Los veinte (20) perfiles principales de la lista están excluidos para mejorar la representatividad al eliminar los valores atípicos.
A continuación, se muestran en la Figura 4 las universidades cubanas del MES con mejores resultados:



**RANKING TRANSPARENTE**
**(CITACIONES DE LOS PRIMEROS 310 PERFILES PÚBLICOS DEL GOOGLE ACADÉMICO, ENERO 2024)**

| UNIVERSIDAD | TOTAL DE CITAS |
|---|---|
| CUJAE | 45855 |
| UCLV | 36513 |
| UO | 26568 |
| UCA | 12502 |
| UHO | 10765 |

Figura 4: Total de citas de la obra científica del claustro de las universidades del MES con mejores resultados

La estrategia implementada en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, que permitió alcanzar estos resultados, consistió en la impartición de seminarios en las diferentes facultades y centros de investigación para la creación y actualización de los perfiles personales de los profesores e investigadores en el Google Académico, así como asesoría directa a todos los que lo necesiten.

**Ranking QS**

La Clasificación mundial de universidades QS, publicada por Quacquarelli Symonds (en inglés, QS World University Rankings), es un ordenamiento anual de 800 universidades del mundo dispuestas con un criterio de jerarquía.
En el QS World University Rankings 2022, solo aparecen incluidas 4 universidades cubanas como se muestra en la Figura 5.




Figura 5: Universidades del MES visibles en el QS World University Rankings 2022

**Researchgate**

Aunque no es propiamente un ranking, consideramos conveniente presentar esta red social científica que, además de permitir ordenar las universidades por el impacto de la obra científica de sus profesores e investigadores, tiene un impacto importante en el Ranking Transparente y en el Ranking Web al

contribuir al incremento de la visibilidad de las citas de sus publicaciones al permitir publicar a texto completo todos los resultados obtenidos.

El Researchgate ha incluido nuevas métricas para medir la reputación científica de los investigadores como el Research Interest Score (RIS), surgido en agosto de 2022. Este indicador de interés de investigación es una forma de conocer el impacto de su investigación dentro de la comunidad científica. La puntuación combina lecturas, recomendaciones y citas (sin incluir las autocitas) de miembros únicos de ResearchGate con un peso de: citaciones: 0.5, recomendaciones: 0.25 y lecturas a texto completo: 0.15.

La Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae ha realizado un trabajo de capacitación por las diferentes Facultades y Centros de Investigación para la creación y actualización de los perfiles personales en este sitio.

A continuación, en la Figura 6 se muestran la cantidad de perfiles personales en Researchgate de los claustros de las universidades del MES más destacadas.

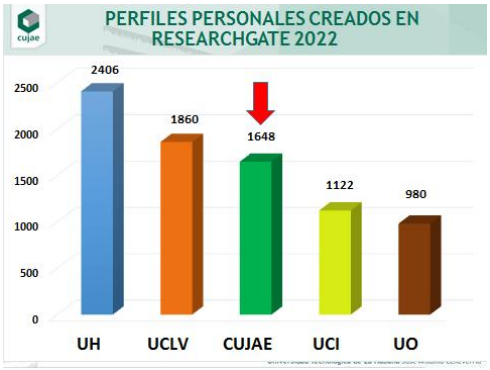



Figura 6: Cantidad de perfiles personales en Researchgate de los claustros de las universidades del MES más destacadas

En la Figura 7 se muestra el valor total del RIS de las universidades del MES más destacadas en este importante indicador.

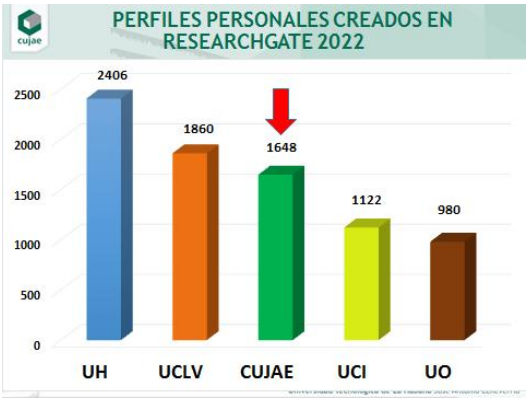



Figura 7: Valor total del RIS de las universidades del MES más destacadas

En la Figura 8 se muestra el total de las recomendaciones recibidas de la obra científica de todos los profesores e investigadores del claustro de las universidades del MES más destacadas.

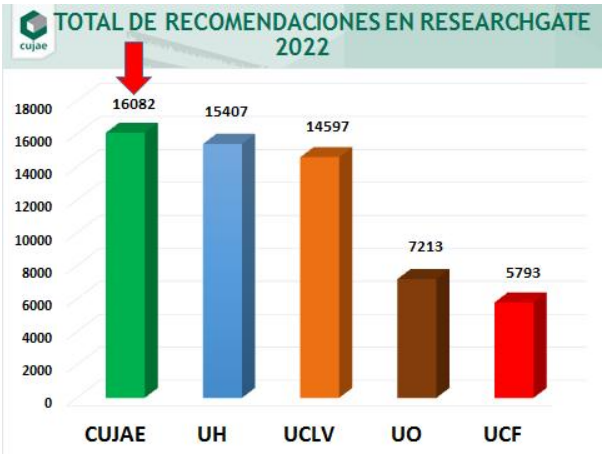



Figura 8: Total de las recomendaciones recibidas de la obra científica de todos los profesores e investigadores del claustro de las universidades del MES más destacadas.

## 3. CONCLUSIONES

A pesar de las críticas más diversas, muchas relacionadas con el peso de aspectos mercantilistas y subestimación de las aplicaciones prácticas de los resultados científicos, la literatura académica-científica reconoce que los rankings como instrumentos de evaluación externa, internacionales y nacionales, vinieron para quedarse e instalarse dentro de la batalla por la excelencia de las instituciones de educación superior y como un mecanismo en continuo perfeccionamiento.

Se han mostrado los elementos fundamentales de la gestión y resultados en los 4 principales rankings internacionales que tienen indicadores más ajustados a la realidad latinoamericana de las universidades cubanas más destacadas, así como en los sitios de redes científicas para la difusión e intercambio muy utilizados en el mundo como el Google Académico y el Researchgate. La estrategia desarrollada en la Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, de gestión de la internacionalización de la extensión universitaria, ha permitido incluirse entre las universidades con mayor reconocimiento nacional e internacional.

## REFERENCIAS

1. DARAIO, C; BONACCORSI, A; Y SIMAR, L. “Rankings and university performance: A conditional multidimensional approach”. *European Journal of Operational Research*, 2015, vol 244, núm 3, pp. 918–930.

2. PAVEL, A. P. “Global university rankings - a comparative analysis”. *Procedia Economics and Finance*, 2015, vol 26, pp. 54–63.

3. ÁVILA LÓPEZ, L. A; Y ZAYAS MARQUEZ, C. “Gestión institucional de la Universidad Autónoma de Baja California frente a los indicadores de calidad de los rankings globales: Institutional management of the Universidad Autónoma de Baja California against the quality indicators of the global rankings”. *EDUCATECONCIENCIA*, 2020, vol 26, núm 27, pp. 79-100.

4. KING, A.; LLINAS-AUDET, X.; Y AMÉSTICA RIVAS, L. “Rankings universitarios como medida de calidad: análisis comparado en Latinomérica”. *Revista venezolana de gerencia*, 2028, vol 26, núm 23, pp. 218-237.

5. RAMÍREZ, Z. BARRACHINA; Y MATEO, R. “Divulgación de rankings universitarios y eficiencia en educación superior. Análisis bibliométrico y sistémico”, *Revista de educación*, 2019, vol 384, pp. 247-286.

6. GANGA CONTRERAS, F.; SÁEZ-SAN MARTÍN, W.; Y VIANCOS, P. “Rankings de universidades como herramientas de evaluación institucional: Un análisis a las metodologías utilizadas por tres instrumentos internacionales”. *Inclusiones*, 2019, vol 6, núm 4, pp. 367-82.

7. GUIMARÃES, J; HOLLAND, H; Y CAMPBELL, G. "Rankings universitarios como sistemas de organización del conocimiento". *Scire: Representación y Organización Del Conocimiento,* 2020, vol 26, núm 2, pp. 31-37.
8. GARCÍA DE FANELLI, A.; Y PITA CARRANZA, M. "Los rankings y sus usos en la gobernanza universitaria". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad – CTS*, 2018, vol 13, núm 37, pp. 95-112.
9. BLANCO-RAMÍREZ, G; Y BERGER, J. B. "Rankings, accreditation, and the international quest for quality". *Quality Assurance in Education*, 2014, vol 22, núm 1, pp. 88–104.
10. MARGISON, S. "University rankings and social science". *European Journal of Education*, 2014, vol 49, núm 1, pp. 45-59.
11. AL-JUBOORI, A; Su, D. J; y Ko, F. "University ranking and evaluation: Trend and existing approaches". *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2012, vol 4, núm 5, pp. 10–16.
12. Bougnol, M. L; & Dulá, J. H. "Technical pitfalls in university rankings". *Higher Education*, 2020, 69, pp. 859–866.
13. GOGLIO, V. "One size fits all? A different perspective on university rankings". *Journal of Higher Education Policy and Management*, 2016, vol 38, núm 2, pp. 212–226.
14. CALDERÓN, A. I.; Y FRANCA, C. M. "Rankings acadêmicos na educação superior: tendências da literatura ibero-americana". *Revista da Avaliação da Educação Superior*, 2018, vol 23, pp. 448-66.
15. SERRA TOLEDO, R., ALFONSO ROBAINA, D., PIERRA CONDE, A., LEÓN DÍAZ, O., Y GARCÍA CUEVAS, J. L. "Gestión de rankings internacionales en universidades cubanas: experiencias de la Universidad Tecnológica de La Habana". *Revista Universidad y Sociedad*, 2021, vol 13, núm 5, pp. 27-39.

**Sobre los autores**

**Rolando Serra Toledo:** Metodólogo de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado. Profesor Auxiliar e Investigador Titular. Doctor en Ciencias Pedagógicas.
Correo electrónico: serra@electrica.cujae.edu.cu

**Daniel Alfonso Robaina:** Ingeniero Industrial, Vicerrector Primero, Profesor Titular, Doctor en Ciencias Técnicas.
Correo electrónico: dalfonso@ind.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PATRIMONIO CULTURAL, ANÁLISIS DESDE EL FORTALECIMIENTO DE LAS TRADICIONES Y LA VISIÓN EXTENSIONISTA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

# CULTURAL HERITAGE, ANALYSIS FROM THE STRENGTHENING OF TRADITIONS AND THE EXTENSION VISION IN HIGHER EDUCATION

**Máryuri García González [1], Renier Helvio Fernández García [2], Alfredo García González [3], Blanca Amalia González González [4]**

**[1]Universidad de la Habana. Doctora en Ciencias de la Educación en la especialidad de Economía y Gestión. Ingeniera Forestal. Profesora Titular -Investigadora. Metodóloga de Postgrado. maryurigarciagonzalez@gmail.com**
**[2] Unión Nacional de escritores y artistas de Cuba. UNEAC. Master en Trabajo Sociocultural Universitario. Director Nacional de atención a provincias. renierhelvio@gmail.com**
**[3]Universidad de Pinar del Río. Ingeniero Industrial Profesor Auxiliar de la Facultad de Ciencias Técnicas. alf@upr.edu.cu**
**[4] Centro Provincial de Superación para la Cultura en Pinar del Río. Master en Ciencias de la Educación. Profesora Auxiliar. ggma@nauta.cu**

**RESUMEN**

Desde la visión del patrimonio cultural material e inmaterial, su impronta en el fortalecimiento de tradiciones y preservación patrimonial se realiza un análisis para perfilar el papel del proceso extensionista en ello. La relación universidad sociedad y el vínculo con la comunidad, precisa desde sus múltiples interacciones y funciones, la descolonización sociocultural tributando a la preservación de la cultura acumulada por la humanidad. Por tanto, el objetivo del presente estudio es: Clarificar el papel de la extensión como proceso en la preservación de la identidad cultural, el patrimonio cultural y el fortalecimiento de tradiciones.

**PALABRAS CLAVE:** Extensión, cultura, patrimonio, identidad cultural.

**ABSTRACT**

From the vision of tangible and intangible cultural heritage, its mark on the strengthening of traditions and heritage preservation, an analysis is carried out to outline the role of the extension process in this. The university-society relationship and the link with the community, precise from its multiple interactions and functions, the sociocultural decolonization paying tribute to the preservation of the culture accumulated by humanity. Therefore, the objective of this study is: Clarify the role of extension as a process in the preservation of cultural identity, cultural heritage and the strengthening of traditions.

**KEYWORDS:** Extension, culture, heritage, cultural identity.

## 1. INTRODUCCION

Persiste hasta hoy una desigualdad entre la protección del patrimonio cultural material y el inmaterial, favoreciendo mayoritariamente al primero, quizás por la percepción de las personas y a decir de Pettman (2001), citado por [1]; el patrimonio material se entiende como un lugar, una cosa con alto valor simbólico, con otras cosas dentro de ella y por lo tanto centrado en la creación de un "museo del mundo", un mundo en que lo visible, lo concreto predomina sobre lo inmaterial o intangible, ocupando el centro del escenario a expensas de las formas populares de las expresiones culturales o de la verdad histórica.

Ante la creciente globalización y promoción de la cultura consumista es preciso trabajar en función de la salvaguardia del patrimonio inmaterial o intangible, particularmente el de las culturas populares tradicionales. En este sentido se han ganado espacios, pero no son suficientes.

## 2. DESARROLLO

El patrimonio cultural intangible es una fuente esencial de identidad, profundamente vinculada al pasado y se corre el riesgo de que algunas de su manifestaciones desaparezcan y la razón fundamental de que esto ocurra es que el patrimonio cultural intangible se ve reemplazado rápidamente por una cultura internacional estándar, promovida no sólo por la modernización socioeconómica, sino también por el enorme avance de las técnicas de transporte e información. [2]

La naturaleza inmaterial de este patrimonio incrementa su vulnerabilidad. Es urgente evitar nuevas pérdidas. Una de las formas más efectivas de salvaguardar el patrimonio intangible es mediante las grabaciones, los registros y los archivos. Un medio aún más eficaz sería garantizar que los portadores de este patrimonio siguen aumentando sus destrezas y saberes y los transmiten a las generaciones siguientes. Con este propósito en mente, es preciso identificar a dichos portadores y extenderles un reconocimiento oficial**.**

**Patrimonio cultural y fortalecimiento de las tradiciones**

En la preservación del patrimonio, lo más importante es la cuestión de los valores y la valorización: lo que calificaba, según [3] como patrimonio cultural, se consideraba que tenía que ser estable, estático, con unos valores intrínsecos y unas cualidades de autenticidad. Esto se ha descrito como una situación en la que el significado ético se ha perdido en favor del émico.

Continúa planteando [3] que los valores se han ordenado en categorías tales como categoría estética, categoría política, es decir, tipologías que representan un enfoque reduccionista para estudiar la compleja cuestión de lo que constituye el patrimonio cultural.

Está bastante claro que los valores solo se podían determinar desde el punto de vista cultural entendiendo las fuentes o generaciones de estos valores. Una razón para este proceso, fue el entendimiento de los contextos culturales de las sociedades y el reconocimiento de que estos difieren de una cultura a otra y de una sociedad a otra.

Las prácticas estándares, según [3] se pusieron en entredicho; el resultado fue la "Declaración de Nara sobre la autenticidad", para incluir tradiciones, técnicas, espíritu, sentimientos, aspectos históricos y sociales del patrimonio cultural. El punto fundamental es que el documento de Nara aceptaba el hecho de que "todas las culturas y sociedades tienen sus raíces en determinados medios y formas de ambos patrimonios, el material y el inmaterial".

Según este nuevo concepto, los valores de los bienes culturales se deben juzgar sobre la base de una matriz interactiva de ambos, los culturales y los materiales, con las diferentes culturas locales, nacionales y regionales por un lado y las diferencias materiales entre los bienes, por otro. Los valores y la sociedad son ahora lo primordial. Por extensión, las normas que son las reglas de conducta y que reflejan o personifican los valores de una cultura, se han incorporado al dúo. Los principios de sociología destacan que los valores y las normas se unen para conformar la conducta de los miembros de una sociedad.

Los valores, a criterio de [4], son el resultado de ciertas convenciones sociales que presuponen el apoyo de la mayoría y se promueven y reproducen a través de la cultura y las tradiciones. También se considera como un sistema de valores en el que todas sus manifestaciones están interconectadas distintivamente entre sí [5]

Al considerar el valor social del patrimonio las concepciones actuales sobre el mismo enfrentan una nueva relación objeto-sujeto. Fontal e Ibañez, especialista española en educación patrimonial, [6] manifiesto que es verdad que el patrimonio posee valor propio, ello lo distingue de otro, pero esta propiedad no basta para una educación patrimonial, sino, es más importante atender a las relaciones sujeto-patrimonio pues genera vínculos afectivo-cognitivos y simbólicos.

Aunque [6] enfatiza en la categoría vínculo patrimonio-sujeto, [7] desde un enfoque dialéctico materialista, asumieron la categoría filosófica relación, pues para estas autoras, el valor patrimonial reside en la relación, es "cada sujeto quien determina unos valores propios para el objeto al que patrimonializa y así le otorga identidad y se identifica frente al mismo y a la sociedad". [7]

Al asumir, estas autoras la categoría filosófica relación, enfatizan en el papel activo del sujeto, así para Rubinstein, citado por [1] "no existen objetos de contemplación, de conocimiento, sino objetos de necesidades y de acciones del hombre". Ello indica que todo objeto que sirva y tenga sentido –medio de vida, actividad diaria del sujeto, espacios donde realizar la actividad, etc.- para su actividad práctica y su comunidad tiene un sentido propio y es "representativo para su comunidad".

A partir de las conceptualizaciones de [6] sobre el vínculo patrimonio-sujeto, [8] planteó cuatro valores sociales que posee el patrimonio, ellos son: valor formal, valor de uso o en función a su utilidad, valor simbólico–identitario y valor político o de poder. Estos valores son válidos para el patrimonio intangible como tangible.

El patrimonio, de modo general reviste una importancia capital, tanto para las sociedades, como para los que conforman la sociedad. El patrimonio inmaterial por su parte, está caracterizado por su fragilidad, debido fundamentalmente a que se trasmite de generación en generación y movido de algún modo por la pasión de salvarlo y trasmitirlo. La subsistencia del patrimonio inmaterial exige que se preste atención no solo a los objetos, sino ante todo a las personas, así como a su hábitat y condiciones de vida, entendiéndose éstos como espacio de vida y universo social.

La UNESCO [9] definió el patrimonio inmaterial como: el conjunto de formas de cultura tradicional y popular o folclórica, es decir, las obras colectivas que emanan de una cultura y se basan en la tradición. Estas tradiciones se trasmiten oralmente o mediante gestos y se modifican con el transcurso del tiempo a través de un proceso de recreación colectiva. Se incluyen en ella las tradiciones orales, las costumbres, las lenguas, la música, los bailes, los rituales, las fiestas, la medicina tradicional y la farmacopea, las artes culinarias y todas las habilidades especiales relacionadas con los aspectos materiales de la cultura, tales como las herramientas y el hábitat.

En la definición establecida, queda implícito, que los procesos asimilados por los pueblos, junto con los conocimientos, las competencias y la creatividad que los nutren y que ellos desarrollan, los productos que crean y los recursos, espacios y demás aspectos del contexto social y natural necesarios para que perduren;

además de dar a las comunidades vivas una sensación de continuidad con respecto a las generaciones anteriores, esos procesos son importantes para la identidad cultural, así como para la salvaguardia de la diversidad cultural y la creatividad de la humanidad.

Este planteamiento conceptual holístico de la definición del patrimonio inmaterial viene acompañado de una definición en forma de inventario, legado de los primeros esfuerzos de definir la tradición oral y la cultura tradicional y popular; [1] es el conjunto de creaciones que emanan de una comunidad cultural fundada en la tradición, expresada por un grupo o por individuos y que reconocidamente responden a las expectativas de la comunidad en cuanto expresión de si identidad cultural y social; las normas y los valores se transmiten oralmente, por imitación o de otras maneras.

Según esta concepción, las personas vienen y se van, pero la cultura perdura en la medida en que una generación la trasmite a la siguiente. Por lo que toda intervención sobre el patrimonio modifica la relación de las personas hacia lo que hacen, la manera en que conciben su cultura y a sí mismos y las condiciones básicas de producción y reproducción cultural. El cambio es inherente a la cultura y las medidas destinadas a preservar, conservar, salvaguardar y manejar prácticas culturales concretas, oscilan entre congelar prácticas o enfrentarse a la naturaleza de los procesos intrínsecos a la cultura.

El patrimonio cultural inmaterial habrá de tomar en cuenta el cuestionamiento de que está siendo objeto el concepto de cultura. La cultura, según [10] ha dejado de concebirse como un consenso unánime entre las personas que conforman una comunidad para percibirse actualmente como un lugar de contestación: los pueblos están creándolas continuamente. No obstante, la cultura solo tendrá continuidad si los pueblos gozan de buenas condiciones para su creación y renovación. Por otra parte, en el actual proceso de globalización las relaciones entre las comunidades están cambiando.

El patrimonio cultural inmaterial, no puede disociarse totalmente del patrimonio material, algunos sistemas de conocimientos humanos, según [10] ni siquiera distinguen entre formas materiales e inmateriales del patrimonio o entre lo cultural y lo natural, manifestándose el patrimonio cultural inmaterial a través de formas materiales.

Por ello se entiende por patrimonio cultural inmaterial, los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas junto con los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales que le son inherentes. [9]

El patrimonio cultural intangible o inmaterial está compuesto por el conjunto de manifestaciones no físicas representativas de un determinado grupo humano. Esta clasificación agrupa elementos diversos como lenguajes, tradiciones orales, costumbres, manifestaciones religiosas, creencias, leyendas, mitos, música, folclore, formas de trabajo y modos de vida de grupos humanos, pueblos y comunidades. Comprende un conjunto de procesos dinámicos de creación cultural y organización simbólica de la realidad. [11]

El patrimonio cultural inmaterial o intangible señala que este se manifiesta en cinco ámbitos, lo que comprende tradiciones y expresiones orales, artes del espectáculo, usos sociales, conocimientos y usos relacionados con la naturaleza y el universo.

En última instancia son las comunidades y sus habitantes los que determinan su propio patrimonio cultural inmaterial, clarificando que no todo el patrimonio cultural inmaterial se reconoce a sus efectos; para ser reconocido el patrimonio inmaterial ha de ser congruente con los derechos humanos, manifestar la necesidad del respeto mutuo entre comunidades y ser sostenible.

También ocurre, a criterio de [12] todo se basa en la memoria y la calidad de la transmisión. En este caso la palabra se añade al gesto, al lenguaje del instrumento musical y al objeto que desemboca en el saber práctico.

El conjunto de bienes y valores ya no están neutralizados por la conservación, sino actualizadas mediante un desarrollo contemporáneo y creativo. Esta perspectiva total permitirá llegar mucho más lejos con la interacción y dará lugar a una apropiación consolidada de los conocimientos, una especie de mediación que podría llevar a una inmersión más completa, muy alejada de la ideología de lo relicario. En suma, se está abriendo una perspectiva proteiforme en la medida que se está bebiendo en la buena fuente, añadiendo a criterio de [13]: esto es lo que no funciona sin una adecuada concepción de la tradición, incluso si la palabra ya no está muy de moda: la herencia de cuestiones fundamentales y de valores que perduran a lo largo del tiempo y por sus trasmutaciones históricas; una tradición que no elimina el presente, como a menudo lo hacían las antiguas costumbres, sino que a abre a un horizonte más ancho de la temporalidad del hombre. En definitiva, el patrimonio será vivo o no será.

Un aspecto que cabe destacar es el patrimonio como memoria viva, clasificándose así por su valor creativo, relevante y excepcional, su carácter de testimonio único o irremplazable de la historia o la tradición cultural y sus características emblemáticas del arte de una región o institución determinada. [2]

Para [14], el patrimonio cultural vivo es la manifestación de la creatividad humana acumulada progresivamente en el transcurso de siglos, posee un valor inconmensurable: lenguas habladas y escritas, expresiones musicales y folclóricas, tradiciones populares, mitos y religiones, así como todo genuino proceso cultural vivo a escala individual o colectiva constituye el tesoro único e irrepetible que identifica a los más diversos pueblos que convivimos en este pequeño y complejo mundo.

Es considerado como muy vulnerable porque se corre el riesgo de que desaparezca a causa de: una reducción importante del número de personas que lo practican o de quienes han de sucederles; una pérdida relevante de autenticidad histórica; una pérdida considerable de significación cultural; una modificación sustancial de su condición jurídica, que redunde en una disminución del grado de protección que reciben. Por lo que es necesario preservarlo y trabajar intencionadamente en función de ello.

Este proceso histórico da origen a la coherencia cultural en el marco de cada cultura, lo que le añade un valor y una significación superior a la simple suma de los elementos que la integran.

La preservación del patrimonio inmaterial y la diversidad cultural entraña el mantenimiento de cierta armonía, una especie de “regla de oro cultural”, según la cual las personas pueden preservar sus raíces culturales más íntimas, tanto si proceden de su sociedad natal como si fueran adoptadas más tarde, al tiempo que sienten la libertad de incorporar cuanto consideren valioso en otras culturas.

La división del patrimonio cultural en tangible / intangible, material / inmaterial, puede facilitar el análisis y la clasificación del conjunto de manifestaciones, pero implica la necesidad de precisar una vez más el concepto de patrimonio, definir legalmente estos bienes y analizar su adecuada protección y conservación.

**La visión extensionista desde la educación superior**

La extensión es actividad en tanto persigue como objetivo la transformación consciente del medio; no solo pretende la contribución a la transformación de los procesos en que interviene en la universidad, y de la universidad en sí misma, sino también contribuye a la transformación de la sociedad mediante su propia participación en el desarrollo cultural.

La extensión universitaria, según [15] desde la manifestación de la relación dialéctica entre la Universidad y la Sociedad, se da en el vínculo, pero no en todo vínculo, sino aquel cuyo fin es la promoción de la cultura; es decir, es aquel en que se establece la relación, entre la cultura y la elevación del nivel cultural de la sociedad en general a través de la función extensionista.

Las exigencias del entorno universitario, según criterios de [16]; conllevan a que las organizaciones perfeccionen la gestión de sus procesos para cumplir con su encargo social. Las instalaciones culturales universitarias, gestionadas desde el proceso extensionista, contribuyen al diálogo sistemático universidad-sociedad.

La diversidad humana es real, objetiva, innegable e ineludible, por lo que conocer el entorno, la multiculturalidad, las tradiciones, las relaciones socioculturales e identitarias, incide positivamente en la gestión patrimonial, el fortalecimiento de las tradiciones y el desarrollo social del territorio.

Por tanto, desde la universidad se contribuye al fortalecimiento de las tradiciones, a la descolonización sociocultural, a la preservación del patrimonio cultural; justamente el proceso extensionista con sus múltiples interacciones y funciones, tributa a la preservación de la cultura acumulada por la humanidad.

Asumiendo las universidades como instituciones culturales, según [17], tomando como referente que toda casa de altos estudios es una institución cultural por su contenido y misión. No obstante, numerosas IES poseen instituciones que se dedican exclusivamente a promover la cultura identitaria de la institución y de la nación, cuya gestión debe estar acorde a los cambios y transformaciones de su entorno.

La universidad, como institución cultural, tiene la responsabilidad de encaminar sus modos de actuación e influir positivamente en la comunidad universitaria y su entorno, en pos del mejoramiento de las dimensiones económica, política, social, ambiental y cultural. [18]

La importancia social de las tradiciones, está dada por ser una actividad colectiva en la que toma parte, con un grado mayor o menor de participación; una porción estimable de la población, que reside en la comunidad o que al residir en otra, siente la necesidad de participar de estas tradiciones, esta participación puede ser activa o pasiva; todo lo cual conlleva a la preservación de la identidad, del patrimonio cultural y fortalecimiento de tradiciones; desde la relación inherente universidad-sociedad

Desde esta perspectiva los gestores socioculturales dentro y fuera de la universidad, de las comunidades, de las instituciones culturales; deben tener el nivel de conocimientos necesario para valorar el trabajo creativo e interpretarlo de una forma apropiada. También es necesario detectar el talento y saber gestionarlo y desarrollar a partir de unos códigos compartidos que faciliten el diálogo; hay que acercarse al trabajo creativo con el conocimiento suficiente que permita cuidar los detalles y matices compartidos y atender las necesidades específicas de los mismos. [19]

Es el proceso extensionista clave en el fortalecimiento de las tradiciones y patrimonio cultural, porque es desde la universidad donde se crea, preserva y promueve la cultura acumulada por la humanidad, mediante sus procesos sustantivos (docencia, investigación y extensión). Todo ello mediado por la comunicación.

Por ello, desde la resignificación de la cultura, se contribuye a preservar y a promover las tradiciones, las proyecciones, desde un carácter general, integrador, dialógico, participativo y contextualizado, en aras de favorecer el desarrollo sociocultural de las comunidades y la preservación del patrimonio cultural.

El desarrollo de la relación universidad – sociedad para el desarrollo de las tradiciones, propiciará un ambiente donde se trabaje satisfactoriamente y armonicen sus objetivos en función de las necesidades socioculturales, lo que tendrá una marcada influencia sobre la preservación del patrimonio cultural y el fortalecimiento de las tradiciones.

Pudiendo sistematizarse el proceso como factor clave en la preservación del patrimonio, según [20], al sistematizar, no solo se pone atención a los acontecimientos, a su comportamiento y evolución, sino también a

las interpretaciones que los sujetos tienen sobre ellos. Se crea así un espacio para que esas interpretaciones sean discutidas, compartidas y confrontadas, por tanto, necesarias para la toma de decisiones.

La extensión universitaria es un proceso orientado a la labor educativa, en el amplio sentido, que permite promover y elevar la cultura general de todos los implicados en ella, de la comunidad universitaria, de su entorno social y comunitario, se expresa, en su movimiento y en sus relaciones con el medio social. Por lo que se hace imprescindible la comprensión e interpretación de ella para con la sociedad, de un modo más holístico, integral y versátil.
Es por consiguiente tan importante propiciar el fortalecimiento de las tradiciones y fortalecimiento del patrimonio cultural, contribuyendo así a su calidad y preservación en lo que la educación superior es clave.

## 3. CONCLUSIONES

- Resignificar la cultura, fortalecer las tradiciones culturales en los diferentes espacios y dilucidar el papel del proceso extensionista en ello; han sido los aspectos más relevantes tratados.

- La relación universidad – sociedad propiciará armónicamente el trabajo en función de las necesidades socioculturales y fortalecimiento de las tradiciones con una visión extensionista desde la educación superior.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. FERNÁNDEZ, R. H. Estrategia para la evaluación de la calidad de las charangas de Bejucal desde la gestión patrimonial. (Tesis de Maestría). Universidad Agraria de la Habana. 2018

2. ALONSO, A. Patrimonio intangible. Material digital. Repositorio UNAH. 2013

3. MUNJERI, D. Patrimonio material e inmaterial: de la diferencia a la convergencia. Editorial UNESCO. 2004

4. FABELO, J.R. Los valores y sus desafíos actuales. Colección Insumisos latinoamericanos. Primera edición en español. www.librosenred.com 2004

5. COUCEIRO, A. La ciencia en función del trabajo comunitario. Editorial Ciencias Sociales. La Habana. Cuba. 2015

6. FONTAL, O E IBAÑEZ, A. Estrategias e instrumentos para la educación patrimonial en España. Universidad de Murcia. Educatio. Siglo XXI. Vol. 33. No.1. 2015

7. AROCHE, A., DÁVILA, M. & ACOSTA, Y. Espacios universitarios para la educación patrimonial. Memorias. Congreso Internacional de la Educación Superior, Univesidad 20216. XIII Taller Internacional de Extensión Universitaria. La Habana, Cuba: Ministerio de Educación Superior. 2016

8. GONZÁLEZ, O.; BATISTA, A. & GONZÁLEZ, M. Indicadores de calidad del proceso de extensión universitaria en la Universidad de La Habana. Revista San Gregorio, (43), p. 49-64. http: 10.36097/rsan.v1i43.1389 2020

9. UNESCO. Informe de seguimiento de la educación en el mundo. Primera edición. http://unesdoc.unesco.org 2020

10. VAN ZANTEN, W. La elaboración de una nueva terminología para el patrimonio cultural inmaterial. Editorial UNESCO. 2004

11. PERNAUT, C. Afirmaciones y propuestas para generar un debate. Argentina. www.icomos-ciic.org 2006

12. CONDOMINAS, G. Investigación y salvaguardia del patrimonio inmaterial. Editorial UNESCO. 2004

13. DUBÉ, P. La hermosura de lo vivo o el regreso de lo reprimido. Editorial UNESCO. 2002

14. BARNET, M. La promoción y difusión del patrimonio inmaterial de la humanidad: un enfoque antropológico. Catauro Revista cubana de antropología, p 170 - 176. 2007

15. MACÍAS, R. Trabajo sociocultural comunitario y extensión universitaria. Precisiones conceptuales, metodológicas y prácticas. Universidad de las Tunas. https://www.eumed.net/rev/cccss/19/rmr.html 2012

16. GONZÁLEZ, O; BATISTA, A; GONZÁLEZ, M & LÓPEZ, A. Interacción dialógica universidad-sociedad: perspectiva praxiológica desde la gestión de las instalaciones culturales universitarias. Revista cubana de Educación Superior. Número especial. 2021.

17. GONZÁLEZ; M; GONZÁLEZ, G.R; GONZÁLEZ, O & BATISTA, A. Educación y sociedad: universidad, extensión universitaria y comunidad. Revista cubana de Educación Superior. Número especial. 2021

18. SALGADO, I.V; LÓPEZ, C.D & GARCÍA, M. La formación de competencias transversales: nueva oportunidad para la gestión de los proyectos extensionistas. Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina RPNS 2346 ISSN 2308-0132 Vol. 10, No. Especial 2, 2022. pp. 65-75. www.revflacso.uh.cu 2022

19. GARCÍA M & FERNÁNDEZ, R. H. La evaluación de la calidad de procesos culturales. Retos desde la Educación Superior. Revista Conrado, 18(84), 155-161. 2022

20. GARCÍA, M. Sistematización, una práctica necesaria. Revista Diálogos e Perspectivas Interventivas, 1, 1-13. 2020

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA SOBRE LA VIOLENCIA DE GÉNERO EN ÁREAS CENTRALES DE LA CUJAE

**Rosaime González de los Reyes**[1]
[1] Departamento de Física, CUJAE, Calle 114 No.11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba, CP 11500. Profesora Asistente. Metodóloga de la Dirección de Relaciones Internacionales. Presidenta de la Cátedra de Género de la Cujae
**e-mail:** rosaime@tesla.cujae.edu.cu

**Teléfono: +5353131324**

**RESUMEN**

La universidad cubana en estos días sigue muy de cerca los temas relacionados con la temática de la violencia de género interuniversitaria siguiendo las pautas planteadas por el (Programa Nacional para el Adelanto de la Mujer) PAM. Para ello ya desde el Ministerio de Educación Superior (MES), se ha orientado poner en marcha del decreto Ley 96 del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social (Protocolo de actuación ante situaciones de discriminación, violencia y acoso en el ámbito laboral). Para lo que se han propiciado diferentes espacios a nivel nacional en las instituciones para tratar estas problemáticas. El presente trabajo tiene como objetivo: Valorar los resultados de una encuesta aplicada a diferentes trabajadores de las áreas centrales de la Cujae. Para ello se realizó un análisis estadístico utilizando el software SPSS, para develar las experiencias y opiniones de grupos de trabajadores sobre su percepción en el centro si hay presencia de violencia de género en el centro, con el fin de comprender en profundidad sus puntos de vista y generar conocimiento cualitativo sobre el tema.

**PALABRAS CLAVES:** género, violencia, trabajadores, centros universitarios, protocolo.

**RESULTS OF THE APPLIED SURVEY ON GENDER VIOLENCE IN CENTRAL AREAS OF CUJAE**

**ABSTRACT**

Cuban universities are currently following closely the issues related to inter-university gender violence, following the guidelines set forth by the National Program for the Advancement of Women (PAM). To this end, the Ministry of Higher Education (MES) has already set in motion the implementation of Decree Law 96 of the Ministry of Labor and Social Security (Protocol of action in situations of discrimination, violence and harassment in the workplace). For this purpose, different spaces have been created at the national level in the institutions to deal with these problems. The purpose of this paper is to evaluate the results of a survey applied to different workers in the central areas of Cujae. For this purpose, a statistical analysis was carried out using SPSS software to reveal the experiences and opinions of groups of workers on their perception of the presence of gender violence in the center, in order to understand their points of view in depth and generate qualitative knowledge on the subject.

**KEY WORDS:** (gender, violence, workers, university, university, protocol).

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, el ODS 5 hace alusión a la igualdad de género entre niñas y niños. Esto no excluye lo expresado por (Jiménez, 2000) quién hace referencia lo planteado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), El género se refiere a los conceptos sociales de las funciones, comportamientos, actividades y atributos que cada sociedad considera apropiados para los hombres y las mujeres.

Todavía hay 18 países donde los maridos pueden impedir de manera legal que sus esposas trabajen de forma remunerada, 39 países donde las hijas y los hijos no tienen iguales derechos hereditarios, 49 países que carecen de leyes que protejan a las mujeres de la violencia doméstica de género y 37 países donde los autores de una violación quedan libres de cargos si están casados o si posteriormente contraen matrimonio con la sobreviviente.

Desde este ámbito la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, trabaja erradicar estas brechas latentes aún en nuestra sociedad y sobre todo en el contexto universitario entre los `propios docentes y trabajadores de forma general. La Cujae, en específico la Cátedra de Género como parte de la RED INTERNACIONAL REDIPIES, nuestra institución vela por la educación inclusiva es el modelo que busca atender las necesidades de aprendizaje de todos los jóvenes y trabajadores con especial énfasis en aquellos que son vulnerables a la marginalidad y la exclusión social. Siendo entonces principal interés del presente trabajo presentar resultados sobre la situación actual de nuestra comunidad universitaria sobre: las percepciones, experiencias y opiniones de grupos de trabajadores, sobre su percepción en el centro si hay presencia de violencia de género, con el fin de comprender en profundidad sus puntos de vista y generar conocimiento cualitativo sobre el tema.

## 2. METODOLOGÍA

Encuesta a trabajadores de las diferentes áreas centrales de la Cujae, al ser considerados una población parte de este quehacer universitario; ayudó a constatar empíricamente el problema existente.
Métodos matemático-estadísticos: Distribución de Frecuencia, el Cálculo de la Mediana y la Prueba de Signos. Wilcoxon.

Población y Muestra: Compuesta por trabajadores de las áreas del Rectorado, Economía, Vicerrectoría de Extensión Universitaria, Vicerrectoría de Investigación y Posgrado, Recursos Humanos, Dirección de Logística específicamente por una muestra de 120 trabajadores

## 3. DESARROLLO

Toda institución cubana debe regirse por un Código del Trabajo y Seguridad Social, este una de las funciones que tiene la Dirección de Recursos Humanos, junto al acompañamiento del Sindicato y recientemente las diversas cátedras creadas en las universidades; dentro de estas está la de Género; quien tiene dentro de sus objetivos: eliminar cualquier brecha de violencia en los diferentes ámbitos académicos y eso incluye a cada uno de los que aporten a la universidad.

La encuesta aplicada, se centró en los siguientes objetivos específicos

Objetivos Específicos:

1. Explorar las diversas perspectivas y opiniones dentro del grupo docentes y trabajadores en relación con el tema de la violencia de género
2. Identificar los factores que influyen en las actitudes y creencias de los participantes sobre el tratamiento de género en el contexto universitario.
3. Comprender cómo el tema afecta la vida cotidiana de los estudiantes, docentes y trabajadores no docentes
4. Explorar las experiencias personales de los participantes en el proceso de
y cómo han enfrentado desafíos o han encontrado soluciones.
5. Investigar posibles áreas de consenso y divergencia dentro del grupo en relación
con el tema.
6. Obtener ideas, sugerencias o recomendaciones de los participantes para abordar
problemas o mejorar la situación de trabajadores que hayan sufrido de acoso laboral.
7. Identificar temas emergentes o aspectos inesperados relacionados con el tema de discriminación
Durante la investigación fue necesario realizar una caracterización en cuanto a la composición de género de la Cujae.

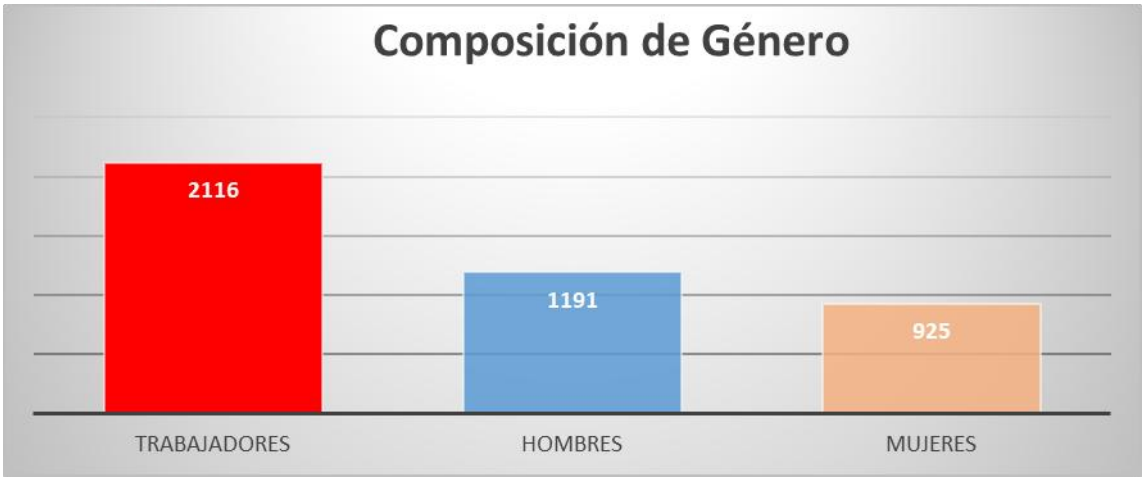



Figura 1. Composición de Género. Muestra que el 43 % de la población de la universidad está compuesto por mujeres

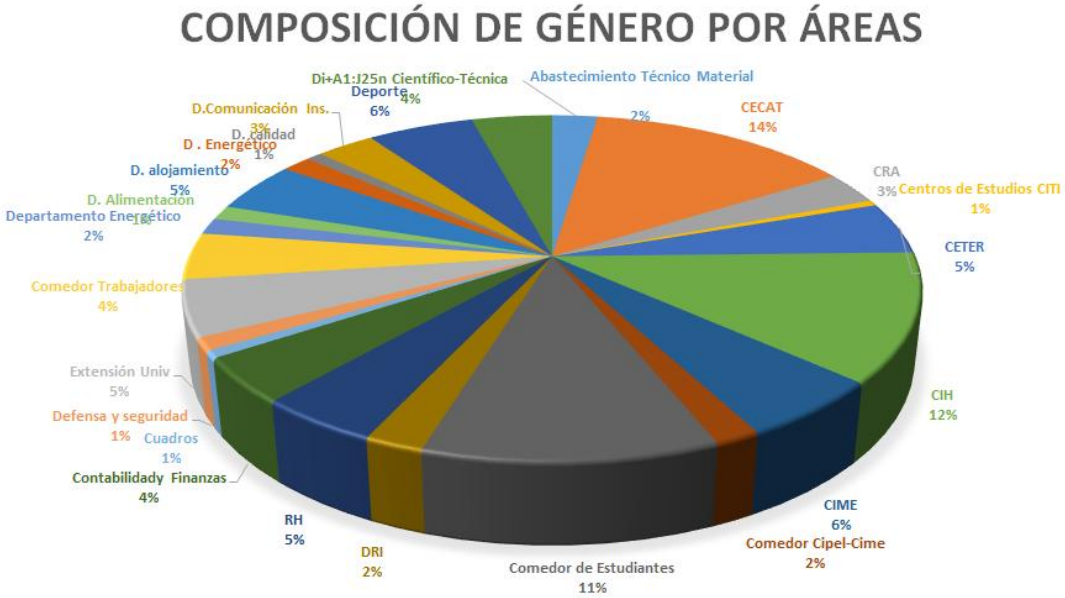



Figura 2. Análisis porcentual de la composición de género por área

Es apreciable que es bien bajo el por ciento de mujeres y hombres en cada una de las áreas mencionadas anteriormente, lo cual influirá evidentemente en los resultados de la investigación.

Aún son muchas las barreras coincidimos con [1,3], que influyen en el proceso de cualquier situación de riesgo pues esta va más allá de las barreras existentes en la sociedad actual. En cada institución debe de existir protocolos de actuación ante cualquier hecho. Un protocolo: es un instrumento de prevención, protección y acción destinado a regular el tratamiento de situaciones de discriminación, violencia y acoso en el ámbito laboral, lo que contribuye a garantizar el disfrute del derecho del trabajador.

La Ley 116 "Código de Trabajo", de 20 de diciembre de 2013, establece entre los principios fundamentales, el trabajo, como un derecho y un deber social del ciudadano; la igualdad en el trabajo y en el salario sin discriminación de ningún tipo y dispone en el Artículo 146 que el empleador es responsable de la dirección, organización y control del proceso de trabajo; así como de desarrollar adecuadas relaciones con los trabajadores, basadas en la atención a sus opiniones y quejas, la protección de la integridad física, psico- lógica y el debido respeto a su dignidad, pero se omiten los conceptos de discriminación, violencia y acoso en el ámbito laboral, así como el procedimiento de actuación ante estas

manifestaciones. [2]

**Duración Estimada:**

Se estima que la duración total de la encuesta será de aproximadamente 35 minutos, dependiendo de la profundidad de la discusión y el número de temas a tratar. Se asignará un tiempo adecuado para cada tema dentro de la encuesta para garantizar una exploración exhaustiva y una discusión enriquecedora.

**Formato:**

El formato de la encuesta será estructurada- presencial, lo que significa que se seguirá una guía de preguntas predefinida, pero también se permitirá la flexibilidad para que los participantes expresen sus opiniones y experiencias de manera libre y natural.

**Procedimiento:**

Antes de comenzar la encuesta, se proporcionará una breve introducción sobre el propósito de la investigación y se solicitará el consentimiento informado de los participantes en la encuesta

Durante la encuesta se fomentará la interacción entre los participantes para enriquecer la discusión y explorar diferentes puntos de vista.

Al finalizar la encuesta, se agradecerá a los participantes por su tiempo y contribución, y se les informará sobre los siguientes pasos del estudio, incluyendo cualquier seguimiento necesario o la disponibilidad de los resultados finales.

**Consideraciones Éticas:**

Se garantizará la confidencialidad de los participantes y se respetará su privacidad en todo momento. Los datos recopilados se utilizarán únicamente con fines de investigación y se almacenarán de manera segura de acuerdo con las regulaciones de protección de datos.

GUÍA DE PREGUNTAS:

Introducción:
Se solicita a los participantes, su respuesta sincera a cada una de las preguntas de la encuesta. Ello contribuirá a aportar importantes resultados a la investigación que se lleva a cabo en la institución sobre violencia de género interuniversitaria
Usted brevemente puede compartir y debatir sus ideas acerca de las siguientes preguntas:
1. ¿Qué significado atribuye usted el concepto de violencia de género en la educación superior?
2. ¿Considera usted que existe violencia interuniversitaria en su centro?
3. ¿Conoce usted como trabajador la divulgación del Decreto ley 96 en su radio de acción?
4. ¿Conoce usted que, en defensa del trabajador, ante una situación de violencia, discriminación o acoso tanto la DRH, como el CTC y la cátedra de Género de la Cujae pueden orientarlo?
5. ¿Cómo trabajador, usted ha sido discriminado alguna vez?
6. ¿Qué opinión le merece aplicar acciones afirmativas o de discriminación positiva (igualdad de oportunidades) para algún trabajador que esté atravesando por una situación de vulnerabilidad social?
7. ¿Cómo valora su proceso de erradicación en la universidad?
8. ¿Ha sido usted víctima de algún hecho de violencia de género durante su estancia en la universidad?
9. ¿Cómo valora el impacto de la universidad en su vida personal?

10. ¿La universidad es un espacio generador de vínculos de solidaridad y compañerismo? ¿Por ello considera necesario los aportes que hacen al tema, los distintos programas que hoy tiene la universidad para combatir la violencia de género?

## 4. RESULTADOS




Figura 3. Resultados de la encuesta a trabajadores pertenecientes a las áreas centrales de la universidad sobre violencia de género.

La mayoría constataron que es de conocimiento de los trabajadores el concepto de violencia de género para un 98%.

Un 45% lo valoró que si existen rasgos de violencia interuniversitaria que no solo se da entre los alumnos sino también entre trabajadores. Sin embargo, solo el 76% hace alusión a que conoce el Decreto Ley 96 El 100 % señala que nunca han sido víctimas de violencia de género en la universidad, de la misma forma que los trabajadores consideran los aportes que hacen los diversos programas educativos por erradicar la violencia de género en los diversos centros, además de destacar el respaldo que deben d sentir los trabajadores de las distintas áreas ante el presente protocolo de protección ante cualquier situación de violencia.

Las siguientes tablas muestra el análisis de frecuencia por cada una de las preguntas y sus valores percentiles. Valores de frecuencia y por ciento acumulado por preguntas. Programa SPSS V.25.0[4]

Tabla 1. ¿Qué significado atribuye usted el concepto de violencia de género en la educación superior?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|---|---|---|---|---|---|
| Válidos | 0 | 11 | 84,6 | 91,7 | 91,7 |
| | 98 | 1 | 7,7 | 8,3 | 100,0 |
| | Total | 12 | 92,3 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 7,7 | | |
| Total | | 13 | 100,0 | | |

Tabla 2. ¿Considera usted que existe violencia interuniversitaria en su centro?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|---|---|---|---|---|---|
| Válidos | 0 | 11 | 84,6 | 91,7 | 91,7 |
| | 45 | 1 | 7,7 | 8,3 | 100,0 |
| | Total | 12 | 92,3 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 7,7 | | |
| Total | | 13 | 100,0 | | |

Tabla 3. ¿Conoce usted como trabajador la divulgación del Decreto ley 96 en su radio de acción?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|---|---|---|---|---|---|
| Válidos | 0 | 11 | 84,6 | 91,7 | 91,7 |
| | 76 | 1 | 7,7 | 8,3 | 100,0 |
| | Total | 12 | 92,3 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 7,7 | | |
| Total | | 13 | 100,0 | | |

## 5. CONCLUSIONES

Luego del análisis realizado los resultados de la encuesta arrojaron la importancia de conocer sobre la problemática de la violencia de género en la institución, aunque existan pocos casos de violencia. Además de realzar las adecuaciones de las medidas integrales dirigidas a las víctimas de la violencia de género, investigando sus consecuencias y efecto, como consta en los distintos protocolos ante cada una de las situaciones que pudieran suscitarse.

Se hace necesario proponer la realización de estudios e informes técnicos de diagnóstico y evolución anual recogidas por el Observatorio Social y la Cátedra de Género de la universidad, donde se recojan las situaciones de violencia de género tanto para trabajadores docentes y no docentes y estudiantes de la universidad.

Dentro de las recomendaciones de la encuesta se revela la importancia de constituir un foro de intercambio y comunicación desde las áreas que faciliten el debate del Decreto Ley 96 y cada uno de sus protocolos, así como: elaborar un protocolo institucional.

## REFERENCIAS

1. VÁZQUEZ, Antonio J., A., & Lea, C. (2000). Género y funcionamiento social. Papeles del Psicólogo, 29. Disponible en Web: https://www.researchgate.net/publication/237040136_Genero_y_funcionamiento_social_en_esquizofrenia
2. Decreto Ley 96/2023. "*Protocolo de Actuación ante Situaciones de Discriminación, Violencia y Acoso en el Ámbito Laboral*". GOC-2023-811-EX66. ISSN 1682-7511. Disponible en Web: http://www.gacetaoficial.gob.cu/
3. MARTÍNEZ, Ainhoa. "Fruncimiento social y su relación con variables psicoeducativas ". Director: Dr. José Manuel García Fernández. Tesis de doctorado, Universidad de Alicante, 2016.
4. TEROL, Luis; GARCÍA -BELLIDO, Ricardo. "SPSS: Variables. Características de las variables". Innova *Mide*,2010, vol. 10, núm. 12, pp.1-7

## SOBRE LA AUTORA:



Rosaime González de los Reyes: Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica. Profesora Asistente de Física, Facultad de Telecomunicaciones. Diplomada en Cooperación Internacional. Metodóloga de la Oficina de Colaboración Internacional de la Dirección de Relaciones Internacionales de la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría¨ (Cujae).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROYECTO SOCIOCULTURAL COMO EJE DE LA GESTIÓN EXTENSIONISTA

**Yanet Sánchez Vázquez1, Juan Isidro Siam Ária2**

1 Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES), Universidad de la Habana, Cuba, Doctora en Ciencias Pedagógicas, Profesora Titular, 2 Instituto Superior de Arte (ISA), Cuba, Máster en Gestión de Turismo. Profesor Auxiliar

ysanchezv1030@gmail.com

juanisidrosiam@gmail.com

## RESUMEN

Las demandas sociales dirigidas a la conformación de proyectos socioculturales que contribuyan a la formación integral de los futuros profesionales y faciliten la gestión integrada de los procesos formativos en su vínculo con la sociedad, constituyen el punto de partida para el desarrollo de la presente investigación. En correspondencia con lo anterior, se materializa lo normado en uno de los procesos sustantivos que tienen lugar en las universidades, a partir de la elaboración de un proyecto sociocultural que contribuye a la formación integral de los estudiantes como entes activos en el ámbito social, cultural y comunitario, mediante la creación de espacios de intercambio cultural con carácter instructivo, educativo y desarrollador, que favorezcan el vínculo entre la comunidad universitaria y su entorno social. Los resultados avalan la factibilidad y validez del proyecto sociocultural, mediante los métodos teóricos y empíricos utilizados, los cuales favorecieron el proceso de triangulación durante toda la investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Gestión de Proyectos, Proyectos socioculturales, Proyecto extensionista universitario

## SOCIOCULTURAL PROJECT AS THE AXIS OF EXTENSION MANAGEMENT

## ABSTRACT

For the foundation of the present research, several aspects were taken into account: the social demands in the creation of sociocultural projects that contribute to the complete formation of the future professionals and facilitate the integrated management of the formative processes in regard with the society. In agreement with the previously stated, a sociocultural project is elaborated. It answers to the demands for the complete formation of the future professionals. The students would have the possibility to act as active entities in the social, cultural and community spaces, as of the creation of cultural interchange domain with instructive, educational and developmental character that favor the link between the university community and its social environment. The investigation evidences result that validate the feasibility and validity of the implemented project, in which was necessary the use of a variety of theoretical and empirical methods which favored the triangulation process throughout the investigation.

**KEY WORDS:** Projects management; Sociocultural projects; extracurricular project

## 1. INTRODUCCIÓN

Las dinámicas de las sociedades contemporáneas, caracterizadas por desiguales niveles de desarrollo demandan continuamente la intervención de un personal altamente calificado para gestionar procesos de transformación sociocultural e incidir en la solución de problemáticas que se originan en ocasiones de manera inmediata. En este sentido, la formación integral de los estudiantes universitarios como futuros profesionales, se convierte en una actividad imprescindible en las universidades cubanas, la cual, impone retos para la Educación Superior.

Por cuanto, el proceso de formación en la Educación Superior debe caracterizarse por preparar integralmente a los educandos, para su futuro desempeño profesional. En este sentido, la docencia, la investigación científica y la extensión universitaria son los tres procesos sustantivos que contribuyen a la formación integral de los estudiantes dentro de este sistema educativo, capaz de brindar los conocimientos necesarios y desarrollarlos a partir de las capacidades y habilidades cognitivas, investigativas y creadoras, que le ayudan a comprender los fenómenos y procesos de su entorno en función de su transformación.

> El papel de la Extensión Universitaria resalta como una importante función social y un proceso formativo integrador de los vínculos Universidad-Sociedad; o sea, entre las diversas formas de la cultura universitaria y su entorno comunitario, regional, nacional e internacional. Su desarrollo continuo es vital en la formación de una sociedad preparada para asimilar los diferentes escenarios y vivir a la altura de su época, contribuyendo a transformarla, por lo que la misma tiene desafíos muy importantes en la contemporaneidad. [1].

Si bien la promoción de la cultura es uno de los propósitos al que tienen que contribuir los tres procesos universitarios, es en particular el proceso extensionista al que por su esencia y objetivo corresponde el papel protagónico, para enfrentar desde las universidades esta nueva etapa de desarrollo y ampliación del acceso a la cultura por el pueblo. Innumerables han sido los esfuerzos realizados para dar fundamento científico a esta función universitaria, que tiene en el movimiento reformista cordobense de 1918 sus inicios en el continente.

En el caso particular de la gestión de la extensión universitaria, esta investigación cuenta con un precedente de importancia, por lo que han representado los trabajos de [1], [2] y [3]; materiales de obligada consulta por su carácter esclarecedor, para la acertada comprensión del nuevo paradigma de extensión universitaria que se pretende alcanzar en nuestro país.

Al respecto, las carreras universitarias en nuestro país no están exenta de esa situación. Sin embargo, existen algunas que, por su propia naturaleza formativa, favorecen y potencian el desarrollo de los procesos extensionistas con su amplio y renovado perfil. En esa dirección, centran su accionar en los procesos de gestión sociocultural dirigidos a potenciar el desarrollo humano individual y colectivo, a través de diversas estrategias y proyectos de carácter preferentemente local y comunitario, vinculadas a los programas de desarrollo

social. Por ello, es responsabilidad de la universidad, la formación de un profesional que incida directamente en el enriquecimiento espiritual, en el fortalecimiento de la identidad cultural y sentido de pertenencia, en la calidad de la vida colectiva y la capacidad de participación de la población en el desarrollo social.

En correspondencia con lo anterior, esta investigación tuvo como móviles fundamentales: las demandas sociales en la formación del profesional universitario; la directiva universitaria dirigida a la gestión y conformación de proyectos socioculturales o extensionistas universitarios, que contribuyan a la formación integral de un profesional competente y comprometido, y a su vez, facilite la gestión integrada de los procesos formativos en cada carrera; y por último, la carencia de necesarios espacios de intercambio cultural con carácter instructivo, educativo y desarrollador en la comunidad universitaria y su posibilidad de establecer nexos con otras Sedes universitarias y su entorno social.

Por todo lo antes expuesto, este trabajo tiene como **objetivo** la elaboración de un proyecto sociocultural que contribuya a la formación integral de los estudiantes universitarios como entes activos en el ámbito social, cultural y comunitario.

## 2. DESARROLLO

### La gestión de proyectos socioculturales como parte del proceso de extensión universitaria

A partir del triunfo de la revolución, el trabajo sociocultural deviene una de las principales preocupaciones del nuevo proyecto social al considerar al hombre como el elemento central del proyecto cultural cubano. Múltiples y valiosas experiencias se han desarrollado a lo largo de estos años, la mayoría dirigidas a la satisfacción de necesidades inmediatas o de propuestas de transformación y desarrollo en la esfera de las manifestaciones culturales. Sin embargo, a medida que los procesos sociales se complejizan, los proyectos socioculturales requieren en su concepción y realización, de un mayor nivel de preparación teórico y práctica, tanto de los que conciben y dirigen la actividad social cultural, como los que la ejecutan.

En correspondencia con lo anterior, el proceso de extensión universitaria tiene como propósito promover cultura dentro y fuera del campus universitario, y en el cumplimiento de este objetivo, es vital la gestión de proyectos socioculturales que articulen y dinamicen los procesos y manifestaciones culturales con la participación y creatividad de los beneficiarios. Desde esta perspectiva se logra estimular la iniciativa y la toma de decisiones de los autores en la dinámica de su desarrollo integral, en aras de lograr la transformación social deseada.

Por cuanto, los proyectos socioculturales emergen desde el quehacer de las instituciones universitarias en su vínculo con la sociedad, a través de la extensión universitaria como proceso sustantivo rector. Estos proyectos devienen estrategias sin precedentes, con particularidades que se reconocen en sus intencionalidades comprometidas con una transformación desde, con y para las esencias humanas. De ahí que sus resultados sean más calificables que cuantificables.

Al considerar lo enunciado hasta aquí, se asume la definición de proyecto sociocultural que

aporta el Centro de Intercambio y Referencia Iniciativa Comunitaria (CIERIC), al expresar que es:

> Un conjunto de acciones estratégicamente planificadas, que involucran y articulan a personas interesadas en provocar cambios y transformaciones en su realidad, para lo cual necesitan tener a mano una serie de recursos humanos, financieros y materiales, que utilizados racionalmente les permitirá producir bienes o servicios al beneficio social en un tiempo determinado. [4].

El proyecto sociocultural emerge entonces, como opción para instrumentar el giro que la necesidad impone y centra toda su atención en las implicaciones sociales y culturales de tal renovación. Desde este punto de vista, el foco de atención se concentra en los seres humanos que hacen posible el logro de la finalidad propuesta, dando seguimiento al modo en que ésta fertiliza o inhibe el despliegue de sus potencialidades y pone énfasis en todos los recursos que pueden aportar a favor del cambio, sin escatimar saberes y experiencias. En correspondencia con lo anterior, los proyectos socioculturales constituyen un tipo particular de proyecto, que poseen características distintivas, tales como:

- Intencionalidades definidas a favor del desarrollo cultural.
- Entornos diagnosticados y diagnosticables desde las necesidades y potencialidades que emergen de los procesos culturales.
- Carácter eminentemente endógeno, al considerar el reconocimiento del protagonismo que corresponde a quienes resultan beneficiarios, cuyas fortalezas y oportunidades se ponen en función de resolver carencias y amenazas, a partir de la movilización de sus propios saberes y recursos, como vías para lograr la sustentabilidad.
- Participación, que se expresa en la presencia motivada y activa de todos los involucrados, desde el reconocimiento a la diversidad de roles y funciones que las necesidades diagnosticadas y las condiciones impongan a lo largo del proceso de diseño, ejecución y evaluación del proyecto, con especial atención a la toma de decisiones como circunstancia que define la legitimidad y la jerarquía de los nexos a nivel social.
- Utilización de las expresiones autóctonas de las manifestaciones artísticas, como recursos metodológicos para el logro de los objetivos orientados al desarrollo social y humano, con atención especial a las formas de la cultura popular y tradicional, sin desconocer el valor de formas globales de la cultura que en su interacción puedan enriquecer el mundo espiritual de los participantes.

El proyecto sociocultural que se propone tuvo en cuenta las características antes enunciadas, así como las necesidades de formación de la cultura general integral, adecuadas a un egresado que desarrollará sus funciones como Gestor Sociocultural para el Desarrollo en el contexto de una sociedad cada vez más actualizada, con prioridad en su auto preparación. Al respecto, para su desarrollo, se asumieron los siguientes presupuestos como exigencias:

- Los referentes teóricos más significativos de la Extensión universitaria expuestos por diversos autores del ámbito internacional, nacional y local, que hicieron posible su contextualización en la carrera Gestión Sociocultural para el Desarrollo.
- La concepción establecida por la Universidad cubana, para concebir Proyectos extensionistas universitarios que contribuyan a la formación integral de un profesional competente y comprometido y a su vez, facilite la gestión integrada de los procesos formativos en cada departamento docente y carrera.
- Las particularidades de los estudiantes universitarios y de manera especial, del Modelo de profesional que demanda la sociedad en la formación del profesional en Gestión Sociocultural para el Desarrollo.

En el desarrollo del Proyecto sociocultural, se precisan las premisas siguientes:

• Preparación previa de los estudiantes, principalmente en el desarrollo del trabajo sociocultural comunitario en sus diferentes vías.

• Preparación previa de los profesores en cuanto a la labor del gestor sociocultural en la sociedad cubana actual, de manera general y en particular, en la comunidad.

• Coordinación en el colectivo de año de los temas objeto de análisis, para lograr una visión integral en su tratamiento.

• Grado de motivación de los profesores y estudiantes para garantizar una cultura general y el trabajo sociocultural comunitario.

• Vinculación del contenido con el contexto y la situación actual del entorno social.

**Objetivo del Proyecto Sociocultural:** Creación de espacios de intercambio cultural con carácter instructivo, educativo y desarrollador, que favorezcan el vínculo entre la comunidad universitaria y su entorno social, en aras de contribuir a la formación integral de los estudiantes de la carrera Gestión Sociocultural para el Desarrollo, como entes activos en el ámbito social, cultural y comunitario.

En correspondencia con los presupuestos, las premisas y el objetivo del Proyecto Sociocultural propuesto; se adoptaron las siguientes etapas: ***Preparación, Planificación, Ejecución y Evaluación*** **del proyecto,** con sus respectivas acciones**.**

La primera etapa, denominada *preparación*, estuvo relacionada con el proceso previo a la *planificación* y diseño del proyecto, en función de preparar en la carrera a quienes van a desarrollar de forma activa y protagónica el mismo, en armonía con las exigencias que los sustentan. Sin ello, los profesores y estudiantes no tendrían una guía diagnóstica que les permita direccionar la concepción del proyecto.

En la etapa de *planificación,* se consideró todo lo previsto en la anterior y se determinaron las particularidades teórico-metodológicas que identifican y caracterizan al proyecto sociocultural propuesto, las cuales se describen a continuación.

- *Concepción integral del proyecto:* visto desde la denominación del proyecto que involucra a toda la comunidad universitaria (estudiantes, profesores, trabajadores) y su

entorno social. Esta concepción alude los presupuestos teóricos del proceso de Extensión universitaria, su naturaleza extensionista y educativa que integra y materializa los tres procesos sustantivos que tienen lugar en las universidades de forma curricular y extracurricular, para contribuir a la formación integral de sus egresados. Además, implica la relación entre lo afectivo, lo cognitivo y lo axiológico, desde la tríada formativa: instrucción, educación y desarrollo, en su relación universidad-comunidad-sociedad, es decir las diferentes estructuras organizativas. (Ver Gráfico #1)

En relación con lo anterior, la concepción integral del proyecto sociocultural que se elaboró, comprendió el *Carácter instructivo, educativo y desarrollador* manifiesto en las actividades que se conciben y desarrollan en el ámbito extradocente y extramuros, donde docentes y estudiantes expresan los conocimientos que poseen acerca de los diversos temas objetos de análisis, los cuales incrementan su acervo cultural y su formación en valores, todos en favor de su accionar profesional. Actividades que también, refuerzan y complementan el componente académico, que tiene lugar a través del proceso de enseñanza-aprendizaje.

- *Carácter contextual e interactivo:* expresado en la relación actividad-comunicación afectiva, que facilita la interacción con y entre los participantes de modo atractivo y motivante, ponderando aquellas experiencias y vivencias del contexto local en el orden cultural y en su relación con el contexto local, nacional e internacional, según el caso. En este sentido, es preciso no perder de vista a la universidad como centro cultural más importante de la comunidad y todo lo que en ella se gesta para el desarrollo y transformación social. La determinación de tales características permite comprender que la extensión como proceso de interacción humana, redimensiona su consideración como resultado de la actividad y la comunicación.
- *Carácter interdisciplinar y transdisciplinar:* en el tratamiento a la información que se brinda a partir de la gestión del conocimiento, que confluye en el análisis de los temas y responden a fechas, celebraciones o hechos significativos ocurridos en el mes. Por cuanto, las disciplinas: Gestión sociocultural, Historia cultural y pensamiento social, así como Desarrollo y Políticas Sociales, tienen un peso fuerte en la expresión y materialización de este carácter.

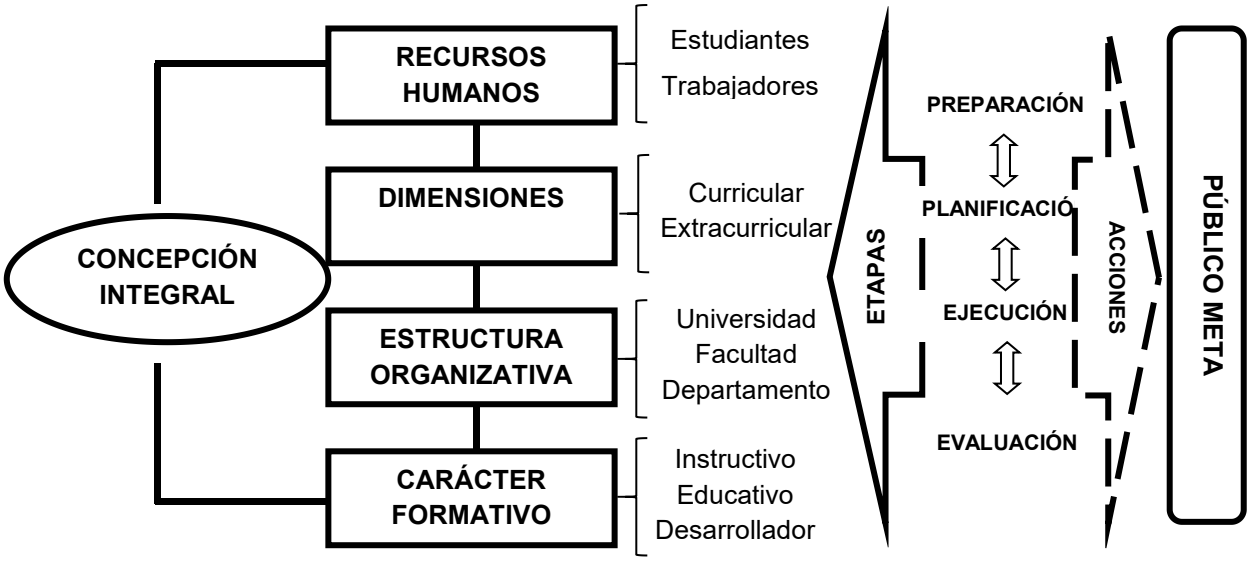


**Gráfico 1**. Representación de la concepción integral del Proyecto sociocultural universitario

El proyecto sociocultural universitario que se presenta, fue concebido como parte de la Estrategia educativa de la carrera Gestión Sociocultural para el Desarrollo, la cual ha sido el espacio de confluencia de actividades que responden a diferentes manifestaciones artísticas, en las que participan estudiantes y profesores, artistas o representantes de las instituciones culturales del territorio o nación, así como miembros de las comunidades aledañas a la universidad, con el propósito de dinamizar la vida de la comunidad universitaria en primer lugar y, vincular esta a la comunidad de pobladores cercanos.

Durante la planificación del proyecto, se determinó el profesor que cumplía con los requisitos necesarios para coordinarlo, así como los profesores y estudiantes que tendrían un papel activo y protagónico. En ese sentido, fue seleccionado como Coordinador al jefe de la Disciplina Historia cultural y Pensamiento Social.

En la etapa *planificación* del proyecto, se determinó trabajar, primeramente, en el desarrollo de actividades que tributarán al análisis de la Literatura (tertulias literarias y taller literario), artes plásticas (exposiciones y talleres de apreciación) y cine (cine club), por ser estas las de mayor demanda e interés por parte de la comunidad universitaria, fruto del diagnóstico experimental previo a la creación de espacios de intercambio cultural. Al respecto, se determinó la frecuencia, lugar, fecha, hora, responsables y participantes para cada una de las acciones previstas y ejecutadas del proyecto. También se acordó la implementación de las acciones de forma mensual.

En correspondencia con todo lo planificado, la etapa de *ejecución* permitió la implementación de cada una de las acciones previstas. A continuación, se presenta una muestra de las actividades y acciones desarrolladas como parte de la etapa *ejecución* del proyecto sociocultural, desde que inició sus primeros pasos.

- Inauguración del Mural y la Galería ***Isla mía*** con la muestra de artes plásticas.
- Presentación del libro ***Infidente*** del autor Nelton Pérez
- Expo arte y arquitectura colonial
- Apertura de la exposición ***Desea más sopa Don Ignacio*** dentro del evento ***Vivencia oblicua***[1]
- Presentación del grupo de narración oral ***Palabras al viento***, dentro del evento ***Vivencia oblicua***
- Proyección del film ***Punto de mira***

[1] Evento cultural propio de la carrera Gestión Sociocultural para el Desarrollo, de la Universidad de Holguín. Propicia el intercambio cultural y el reconocimiento a personalidades de la cultura local y nacional.

- Tertulia cine – literaria, con la proyección del film **Lolita**
- Mesa de diálogo con estudiantes de Artes Plásticas del ALBA
- Presentación de libros de la Editorial La Luz
- Tertulia y expo artes plásticas

Consecuentes con el *Carácter interdisciplinar y transdisciplinar* del proyecto, los temas objeto de análisis en el mes, responden a fechas, celebraciones o hechos significativos ocurridos en él. Por cuanto, todas las actividades y acciones que se desarrollan en el marco del proyecto, son monotemáticas, pero su tratamiento se realiza mediante el conocimiento de las diferentes ramas del saber o disciplinas y de las manifestaciones artísticas, que confluyen en el análisis de dichos temas.

En correspondencia con lo anterior, se propuso el análisis, presentación y debates de los siguientes temas en cada mes: Enero (La obra martiana), Febrero (El amor), Marzo (La Mujer), Abril (La niñez y la juventud), Mayo (Las Madres) y así sucesivamente durante todos los meses del curso académico. Como se puede apreciar, cada mes responde a un tema, pero estos son abordados desde las diferentes aristas de su conocimiento y expresión cultural. Por ejemplo, cuando se abordó el tema de la mujer, se pudo hacer un análisis sociológico, psicológico, antropológico, entre otras ciencias que lo implican, brindándole al público información novedosa, actualizada, de carácter científico investigativo, académica y cultural, mediante la valoración de las manifestaciones artísticas que han abordado el tema en sus diversas expresiones.

En los últimos tiempos, la visita y participación de variados y reconocidos representantes y directivos de instituciones culturales, así como de artistas de la plástica, la literatura, la música, las artes escénicas y del centro promotor del humor en muchas de las actividades planificadas y desarrolladas por el proyecto, han sido del agrado del público presente, pues han suscitado un gran debate en torno a sus obras. Ello ha tenido lugar también, en el marco de muchos eventos nacionales e internacionales que coincidentemente se han desarrollado en nuestro territorio.

La cuarta y última etapa por la que transita el proyecto aquí aludido, es de control y *evaluación*. Ellas han tenido lugar durante el proceso de su aplicación, con el objetivo de evaluar sobre la marcha cómo van alcanzándose resultados parciales y, en consecuencia, tomar las medidas correspondientes para corregirlo. Unido a lo anterior, la evaluación demandó también, hacer un análisis de los resultados de la formación de los estudiantes, a partir del cumplimiento de la estrategia educativa en general y en particular, de los objetivos, acciones y actividades realizadas por el proyecto. Por tanto, la carrera no puede desatender el seguimiento a las actividades desarrolladas, pues ello permite conocer en qué medida la formación lograda garantiza un desempeño adecuado de los estudiantes, en correspondencia con las demandas del modelo de profesional.

Para la extensión es particularmente importante que el control, además de la planificación, organización y ejecución, incluya como elemento esencial la constatación del resultado directamente con el beneficiario, es decir, la comunidad universitaria y los sectores poblacionales que participan o interaccionan en la actividad extensionista. Por ello, los

criterios de medida o indicadores que se empleen deben orientarse a constatar el nivel de satisfacción de los beneficiarios, de solución de sus problemas o necesidades como punto de partida del proceso de extensión universitaria. El control del proceso de implementación y de evaluación del impacto del proyecto, debe tener un alto componente participativo y para ello debe basarse en técnicas que lo propicien.

El resultado del control y evaluación integrado del proyecto sociocultural universitario propuesto, permitirá constatar, valorar y evaluar el grado de relevancia (impacto y pertinencia) alcanzado como resultado de la relación entre la necesidad social y el proceso extensionista, o sea, cómo la universidad influye en el medio y la influencia de este en la institución de Educación Superior, a partir de que esta lo refleje y se prepare para dar respuesta y solución a los problemas.

En resumen, el control y evaluación del proyecto deberán constatar integralmente la calidad de los resultados en correspondencia con los objetivos (efectividad), el uso adecuado y del modo más racional de los recursos (eficiencia) y la satisfacción de las necesidades de los beneficiarios (eficacia); mediante el seguimiento y monitoreo de las acciones, el control de la marcha del proceso y el control de los resultados.

A continuación, se muestra una síntesis de los resultados más significativos obtenidos a partir de la aplicación y desarrollo del Proyecto sociocultural universitario:

Como principales criterios, por su significación, se pueden resumir los siguientes:

♦ *Talleres con los estudiantes*

• Identifican la extensión con las actividades asociadas al quehacer cultural, deportivo y recreativo, y reconocen que su participación ha estado ceñida a su incorporación a los grupos de aficionados o clubes de aficiones, las actividades deportivas, cursos facultativos, Cátedras Honoríficas, actividades artísticas y literarias. Sin embargo, con la implementación del proyecto sociocultural reconocen el valor de las actividades extensionistas comunitarias, así como el de los talleres e intercambios sostenidos con personalidades de la cultura, todas esenciales para su formación como futuros profesionales.

• Por lo general, los profesores ejercen estímulo para vincular las carreras con las actividades socioculturales que se desarrollan en el marco del proyecto, existe una marcada vocación por lo cultural, investigativo y lo social, por el apoyo a la vida comunitaria y por complementar su formación.

• Reconocen la labor que se desarrolla por la Universidad, la Facultad y en particular por los profesores en su formación integral, y califican de creativo, orgánico e integral, el Proyecto sociocultural universitario y así fue reconocido por la Federación Estudiantil Universitaria (FEU) en el II Taller Provincial de Proyectos de Impacto Social.

♦ En las *observaciones* realizadas *a las actividades* propias del proyecto, se pudo constatar entre los principales elementos los siguientes:

• La generalidad de las actividades observadas son programadas y organizadas por profesores y estudiantes del Departamento de Estudios Socioculturales y en especial, por el

colectivo multidisciplinar de este departamento y no por el Departamento de Extensión Universitaria, participando de forma activa estudiantes, profesores y trabajadores de esta y otras carreras de la Facultad, así como miembros de las comunidades aledañas a la universidad.

• Las actividades observadas demuestran la preparación de las personas que se encontraban al frente de las mismas y el incremento de participantes, así como de personalidades de la cultura, tanto del territorio como de la nación.

• La utilización de variados espacios socioculturales dentro y fuera de la Sede universitaria y el tratamiento a diferentes temas del acontecer cultural, social y científico de interés, por y para la comunidad universitaria

## 3. CONCLUSIONES

A partir de todo lo expuesto y los resultados obtenidos con la puesta en práctica del Proyecto sociocultural universitario Isla Mía, se llegó a las conclusiones siguientes:

- El Proyecto propuesto se estructura a partir de la concepción integral denominada, por cuanto se basa en la consideración que la extensión se realiza desde una universidad que no se interesa solamente por aportar al crecimiento cultural, sino también a la transformación cultural y social y con ello, a su propia transformación. Lo cual resulta coherente con la política cultural y extensionista del país a partir de la valoración que en la extensión universitaria confluyen su condición de función sustantiva y proceso formativo, para dinamizar la contribución universitaria al desarrollo cultural del país.
- El Proyecto sociocultural universitario propuesto, transitó por las etapas de ***Preparación, Planificación, Ejecución y Evaluación.*** El cual tiene entre sus particularidades una concepción integral que involucra a toda la comunidad universitaria de estudiantes, profesores y trabajadores, en su dimensión curricular y extracurricular de carácter formativo. Este carácter se materializa en la naturaleza instructiva, educativa y desarrolladora del proyecto.
- Los resultados obtenidos durante la aplicación del proyecto sociocultural, avalan la factibilidad de esta propuesta que ha sido del agrado, aceptación y participación de la comunidad universitaria y aledañas a la universidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DEL HUERTO Marimón ME. *Proyección estratégica para la Extensión Universitaria en la Facultad de Ciencias Médicas de Matanzas* [Tesis]. La Habana: Escuela Nacional de Salud Pública, 2010

2. FERNÁNDEZ, J., PIGA, D y C. TÜNNERMANN. *Notas sobre la conceptualización de la extensión universitaria.* Universidad Nacional Autónoma de México. 1981

3. GONZÁLEZ, G. R y M. González. *Programa Nacional de Extensión Universitaria*. La Habana. Cuba. 2001

4. JULIÁ, H.E. Propuesta Metodológica para la Gestión de Proyectos. La Habana: Ed. CIERIC. 2006

**Sobre los autores**

Yanet Sánchez Vázquez, Doctora en Ciencias Pedagógicas, Profesora Titular Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES), Universidad de la Habana, Cuba

Juan Isidro Siam Árias. Máster en Gestión de Turismo. Profesor Auxiliar. Instituto Superior de Arte (ISA), Cuba

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# "EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL CONTEXTO UNIVERSITARIO. CAMPUS ANTONIO MACEO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE".

**Arq. Naira Paisan Moreira[1], Dra. C. Ada Esther Portero Ricol[2], Dr. C Alexis S. Pérez Figueredo[3]**

[1]Profesora Instructor, Directora de Servicios Técnicos-Profesionales UNAICC. [2]Profesora Titular y Consultante de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (cujae), Presidenta de la Cátedra de Patrimonio Cultural Universitario, [3]Profesor Titular y Consultante universidad de Oriente

e-mail: nairapaisanmoreira@gmail.com
e-mail: alexis.figueredo@uo.edu.cu
e-mail: adaestherportero@gmail.com

**RESUMEN**

El presente trabajo resalta la importancia de la Educación Ambiental dentro del contexto universitario. El objetivo principal que se persigue es evaluar el impacto de la educación ambiental en la comunidad universitaria atendiendo los procesos y actividades que se desarrollan en el campus central Antonio Maceo Grajales de la Universidad de Oriente (UO). Se presenta un acercamiento a estudios relacionados con la responsabilidad social de la temática ambiental. El principal problema vincula las indisciplinas sociales con la preservación de distintas áreas dentro del campus, en especial el Conjunto Patrimonial declarado en el año 2021 Monumento Nacional de la República de Cuba. Los principales métodos en el orden teórico son: histórico-lógico, el hipotético-deductivo y el análisis bibliográfico. Las principales conclusiones confirman la necesidad de un programa integrador desde una Estrategia Universitaria que sea la herramienta para la promoción de una mayor cultura ambiental. Profundizar en estas temáticas en el ámbito universitario forma parte de los aportes a la Agenda 2030.

**PALABRAS CLAVE:** Educación ambiental, Responsabilidad social.

# "ENVIRONMENTAL EDUCATION IN THE UNIVERSITY CONTEXT.ANTONIO MACEO CAMPUS OF THE UNIVERSIDAD DE ORIENTE".

**ABSTRACT**

This article highlights the importance of Environmental Education within the university context. The main objective pursued is to evaluate the impact of environmental education in the university community, taking into account the processes and activities that take place at the Antonio Maceo Grajales central campus of the Universidad de Oriente (UO). An approach to studies related to the social responsibility of environmental issues. The main problem links social indiscipline with the preservation of different areas within the campus, especially the Heritage Complex declared a National Monument of the Republic of Cuba in 2021. The main methods in the theoretical order are: historical-logical, hypothetical-deductive and bibliographic analysis. The main conclusions confirm the need for an integrative program from a University Strategy that is the tool for promotion of a greater environmental culture. Going deeper into these topics at the university level is part of the contributions to the 2030 Agenda.

**KEY WORDS:** Environmental Education, Social responsibility.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las universidades como instituciones dedicadas a la creación de aportes desde los conocimientos y técnicas a través de la investigación y la docencia, deben desempeñar un papel protagónico en la difusión de posibles soluciones y alternativas a los problemas ambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. Las mismas deben tener en cuenta las características institucionales de la localidad, de la región y del país, además de las relacionadas con el contexto internacional y el futuro que se aspira a alcanzar. Por tal razón, deben buscar una vinculación efectiva entre la acción transformadora que la formación ambiental puede ejercer en la sociedad y la esencia evolutiva de la educación per se.

Los programas de educación ambiental deben ser cuidadosamente dirigidos hacia las necesidades específicas locales de los destinatarios, deben tener en cuenta el ambiente en su totalidad: natural y cultural; social, político, económico, tecnológico, legislativo y estético. Debe hacer hincapié en una participación integral y activa, en la prevención y resolución de los problemas concretos y generales. Con la aplicación de un enfoque que trascienda lo biológico, para ampliar el concepto de ambiente al considerar, también, las relaciones económicas, políticas, socio-culturales y naturales (Martínez y Gonzáles, 2015). Las vivencias y experiencias de las personas que pertenecen a la comunidad universitaria (estudiantes, profesores y trabajadores de administración y servicios) son de gran importancia para el desarrollo y construcción de los comportamientos ambientales.

El campus central Antonio Maceo Grajales de la UO se ubica en la zona norte de la ciudad de Santiago de Cuba, en el reparto Quintero, dentro del distrito No.1 José Martí. Según datos del catastro elaborado por la Dirección Municipal de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (DMOTU) el 6 de enero del 2022, posee una superficie ocupada de 36 510 $m^2$ y una superficie libre de 149 190 $m^2$, para una superficie total de 185 700 $m^2$. En el mismo se encuentran áreas administrativas y desarrollan sus procesos un total de 6 facultades, también acoge el Conjunto Patrimonial declarado Monumento Nacional de la República de Cuba en el año 2021, la residencia estudiantil, varios centros de investigación, la base de almacenes y de transporte del centro y los principales talleres de mantenimiento. Dicha sede se caracteriza por sus placenteros ambientes, logrando una mezcla perfecta entre naturaleza, arquitectura e historia. A continuación, se muestra el plano de la situación actual del campus central Antonio Maceo Grajales (Ver Figura. No.1)

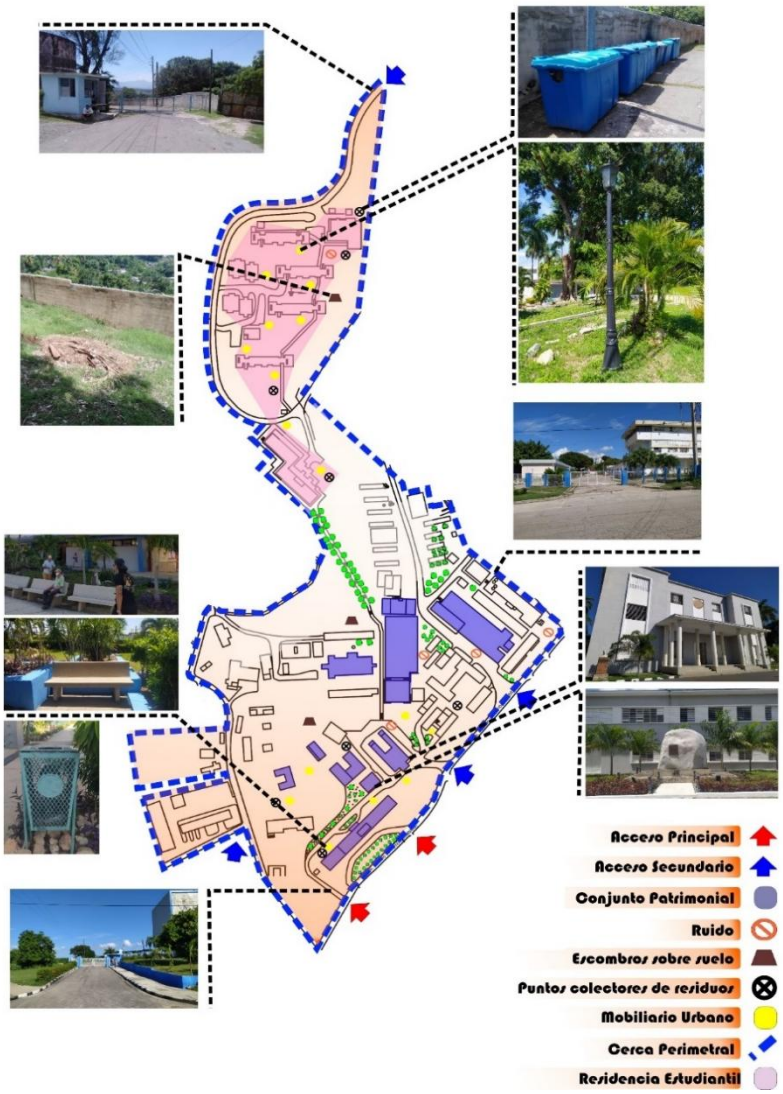



Figura. No.1. Situación actual del campus central Antonio Maceo Grajales
Fuente: Elaboración de los autores, 2024.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de la educación ambiental en la comunidad universitaria atendiendo los procesos y actividades que se desarrollan en el campus central Antonio Maceo Grajales de la UO.

## 2. DESARROLLO

### Sostenibilidad ambiental universitaria

A escala internacional las universidades están experimentando una creciente tendencia a redefinir sus estrategias en cuanto a la implementación de líneas generales de sostenibilidad en su organización. Un indicativo de ello es la creación de programas y redes internacionales para promocionar la sostenibilidad en la educación superior. Desde la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE), se diseñó un instrumento elaborado por el Grupo de Trabajo de Evaluación de la Sostenibilidad Universitaria (GESU) adaptado al contexto universitario español y orientado al autodiagnóstico y la mejora continua de la sostenibilidad ambiental universitaria.

Esta herramienta de Autodiagnóstico de la Sostenibilidad Ambiental se caracteriza por su versatilidad, siendo aplicable a los distintos modelos de universidad española, independientemente de su ubicación, tipo de enseñanza y características en general y es también de utilidad para la evaluación del cumplimento de algunos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) marcados por las Naciones Unidas, en el 2015. La Agenda 2030 y los ODS ofrecen una oportunidad única, pues integran en un mismo escenario de acción metas sociales, ambientales, económicas, de paz y alianzas.

El Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental en las universidades españolas, abordó tres áreas: organización, docencia e investigación y gestión ambiental. En cada área fueron definidos ámbitos para su evaluación. El estudio hoy cuenta con un programa que posibilita una Autoevaluación institucional (Ver Figura No.2) y señalar las debilidades de actuación.

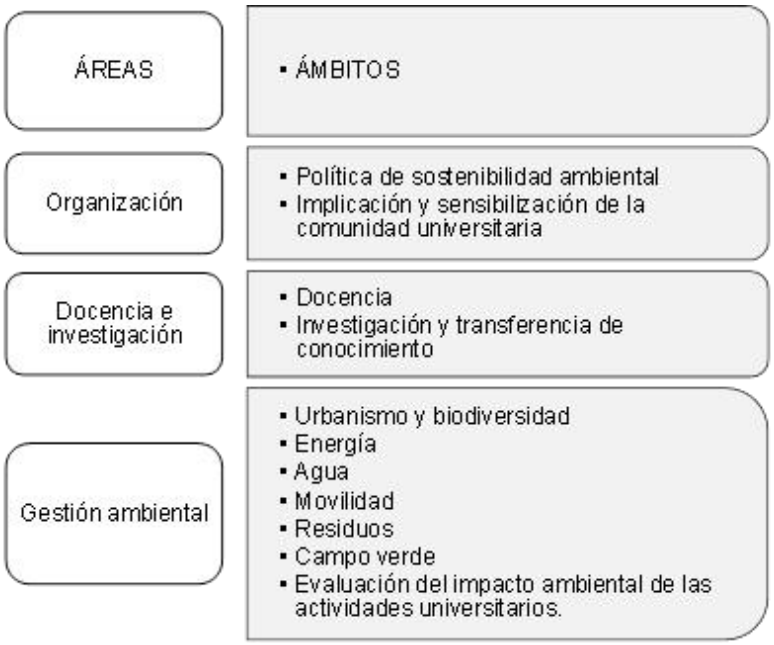



Figura No. 2. Aspectos para autoevaluación institucional.
Fuente: https://goo.gl/forms/Fol9qwVvYF2juTbC2

En la actualidad disimiles universidades han creado órganos de gestión específicos de nivel máximo encargados de planificar e implementar las acciones de sostenibilidad. Estas intervenciones tendrían que producirse tanto en el ámbito de la gestión como en el de la investigación y la docencia. Asimismo, las universidades están incorporando acciones de sostenibilidad ambiental (campus verdes, ahorro del consumo de energía y agua, fomento del reciclaje, vegetación autóctona), sostenibilidad económica (incorporación de productos de comercio justo, reducción de costos por eficiencia en el uso de recursos y reciclaje) y compromiso social (voluntariado, atención a colectivos vulnerable, atención a la diversidad funcional, campus más saludable, etc.).

**Educación ambiental universitaria**

La universidad con su liderazgo científico y una gran capacidad innovadora, tiene la responsabilidad de guiar cualquier proceso transformador respeto al tema por lo que alcanzar un funcionamiento interno correcto constituye el paso inicial para extenderlo al resto de la comunidad (Fernández y Hernández, 2013).

Estos autores, proponen acciones a tomar en consideración para promover el fomento a la educación ambiental, como son: desarrollar el proceso de ambientalización universitaria teniendo en cuenta las características del contexto, actualizar la línea curricular, fomentar y difundir prácticas ambientales

saludables y sostenibles en el manejo del campus universitario y la comunidad, generar y transferir conocimientos con rigor científico para una adecuada comprensión de los problemas ambientales y la mitigación de los éstos, promover la investigación en materia ambiental, entre otras.

El Programa Nacional de Educación Ambiental, que dirige el Ministerio de Educación Superior, considera estos argumentos, y es actualizado con las normativas implementadas. A partir de lo expuesto anteriormente se pueden considerar como básicos, para el presente estudio, los siguientes aspectos:

- Desarrollar la educación ambiental sostenible constituye una necesidad para lograr transformaciones objetivas y subjetivas en el medio ambiente.

- Ante la crisis ambiental actual, las universidades poseen una gran responsabilidad debido al papel protagónico, trasformador e innovador que ejercen.

- Las universidades deben materializar acciones que contribuyan al fortalecimiento de la cultura ambiental en todas las esferas de su accionar, incluyendo a estudiantes, profesores, administrativos, autoridades y comunidades.

**Análisis del sitio**

Para el desarrollo de esta investigación, se seleccionó el campus central Antonio Maceo Grajales de la UO, con la finalidad de hacer un diagnóstico del conocimiento de aspectos ambientales dentro de la comunidad universitaria. El proceso de trabajo incluyó observaciones de campo, a partir de las siguientes variables:

- Uso de suelo.
- Mobiliario y elementos de diseño urbano.
- Características de las áreas libres y espacios públicos.
- Educación ambiental vinculada a las acciones que se realizan en el campus.

Resultado de las observaciones de campo:

**Uso de suelo:** el campus presenta un comportamiento variado, atendiendo a las necesidades propias que demanda este tipo de institución. Se encuentran en el área 15 tipos de ocupaciones de suelos, prevaleciendo edificaciones destinadas a la docencia, inmuebles para talleres y los edificios en la residencia de estudiantes. Las áreas verdes ocupan la mayor parte de los espacios libres, con un total aproximado de 0.54 ha y las áreas libres pavimentadas con alrededor de 0.14 ha, en esta última se incluyen las áreas deportivas que constituye la cancha.

Las áreas verdes dentro del campus (Ver Figura No. 3 y No. 4) desarrollan un rol fundamental desde el punto de vista psicológico, ambiental y estético, de ahí la importancia de un adecuado diseño y selección de plantas. En este sentido señala (Meza et al, 2017) que la herramienta necesaria para conocer la vegetación es la realización de un diagnóstico fitosanitario, especialmente del arbolado y en particular por sus características de permanencia debido a sus largos ciclos de vida y por la importancia que revisten en el sitio debido a su talla y dimensión.



Figura No. 3. Áreas verdes, zona patrimonial: Plaza Monumento a los mártires universitarios.
Fuente: Autores, 2024.



Figura No. 4. Áreas verdes, zona patrimonial: Edificio del Rectorado
Fuente: Autores, 2024

**Mobiliario y elementos de diseño urbano:** Dentro del campus se ubica un gran número de mobiliario y elementos de diseño urbano (Ver Figura No.5; No. 6 y No.7), distribuidos por tipos y número atendiendo a la zona funcional donde se ubiquen. Se cuenta con un inventario detallado de estos.



Figura No. 5. Tipologías de bancos distribuidos en el campus
Fuente: Autores, 2024



Figura No. 6. Tipologías de luminarias peatonales distribuidos en el campus
Fuente: Autores, 2024



Figura No. 7. Tipologías de cestos de basura distribuidos en el campus
Fuente: Autores, 2024

**Características de las áreas libres y espacios públicos:** Actualmente posee un área aproximada de 0.68 ha ocupada por espacios públicos y áreas libres. Las áreas libres generalmente se encuentran no pavimentadas, con presencia de vegetación mayormente silvestre. Los espacios públicos presentes en el campus están formados por zonas de parques pequeños asociados generalmente a las edificaciones adyacentes más cercanas. Existen varias zonas de bancos que se distribuyen de forma aislada en las inmediaciones de algunas edificaciones.
El campus universitario se encuentran plazas (Ver Figura No.8) y canchas deportivas, las primeras se asocian a monumentos y conjuntos de edificaciones con actividades comunes, tal es el caso de la plaza donde se ubica el Monumento a los Mártires, la plaza con el monumento a Julio Antonio Mella ubicada en el Centro de Estudios de Reconocimiento de Patrones y Minería de Datos (CERPAMID), la plaza José Martí ubicada al lateral del edificio de Biología y la plaza de la residencia estudiantil. Las canchas deportivas son tres, dos se asocian a la zona de docencia del campus y la tercera al área de la residencia estudiantil.



Figura No. 8. Plazas dentro del campus
Fuente: Autores, 2024

**Educación ambiental vinculada a las acciones que se realizan en el campus:** La institución cuenta con varios proyectos destinados a fortalecer la educación ambiental. El mundo universitario constituye uno de los espacios primordiales para crear conciencia sobre la importancia de conservar el ambiente y para impulsar comportamientos pro-ambientales. Se trata de que la comunidad universitaria esté consciente de las afectaciones al medio ambiente que pueden provocar las actividades que se ejecutan y se apliquen alternativas transformadoras para que el deterioro sea mínimo.

Los proyectos que se desarrollan están asociados al Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático TAREA VIDA a través de su tarea 10 que dispone potenciar la educación ambiental para el fortalecimiento de la institucionalidad y la gobernanza climáticas, incluyendo el marco legal, las capacidades de gestión y los arreglos institucionales para el funcionamiento de la Tarea Vida. Es importante destacar el desarrollo del proyecto Gobernanza adaptativa y del proyecto ECOS

Son distintas las acciones de Educación Ambiental que se desarrollan dentro del campus universitario, que están orientadas fundamentalmente a la gestión ambiental y la conservación del patrimonio cultural edificado, se pueden mencionar las siguientes:

1. Desarrollo de Talleres Educativos

- **Temas**:
- Introducción a la educación ambiental.
- Impacto de las actividades humanas en el patrimonio cultural.
- Estrategias de conservación y gestión ambiental.
- **Formato**: Talleres interactivos que incluyen discusiones, estudios de caso y actividades prácticas.

2. Jornadas de Limpieza y Mantenimiento

- **Descripción**: Se organizan días de limpieza en áreas del campus como son edificios históricos o jardines.
- **Objetivo**: Promover la responsabilidad colectiva en el cuidado del entorno y del patrimonio.

3. Campañas de Concientización

- Desarrollo de campañas visuales y digitales que informan sobre la importancia de la conservación del patrimonio cultural y las prácticas sostenibles.
- **Medios**: Uso de redes sociales, carteles informativos y seminarios virtuales.

Por medio de entrevistas se indagó acerca de la realización de campañas ambientales dentro del campus, las mismas promueven una mejor relación de los sujetos con su entorno en el ámbito universitario, como un factor para la preservación y cuidado del medio ambiente.

El análisis realizado demuestra el impacto positivo de las acciones de educación ambiental dentro del campus, factores como la limpieza visible en las distintas áreas, mantenimiento y cuidado del mobiliario y elementos de diseño urbano, reflejan que la comunidad universitaria está comprometida en preservar los diferentes ambientes del campus. Es fundamental desarrollar procesos de seguimiento y evaluación de los logros alcanzados que nos permitan identificar la posición en la que nos encontramos y en qué elementos debemos seguir trabajando e incluyendo en los diferentes procesos: docencia de pregrado y postgrado, investigación y extensión universitaria.

## 3. CONCLUSIONES

Fomentar la educación ambiental en la comunidad universitaria es vital para evaluar los criterios que tiene sobre aspectos y procesos ambientales, en beneficio de la generación de conocimientos científicos. Las observaciones de campo permitieron valorar a manera de diagnóstico inicial, la importancia de profundizar en términos ambientales como proceso que reconoce valores y aclara conceptos centrados en fomentar las actitudes, destrezas, habilidades y aptitudes necesarias para comprender y apreciar las interrelaciones entre el ser humano, su cultura y la naturaleza. Esta investigación se une a otras acciones que promueven el desarrollo de una actitud favorable de la comunidad universitaria hacia la construcción de una cultura ambiental responsable. Es importante definir los problemas existentes y las acciones que, a corto y largo plazos, logren mitigar los impactos negativos al medio ambiente en el espacio universitario.

## REFERENCIAS

FERNÁNDEZ BATANERO, J.M; HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. Liderazgo directivo e inclusión educativa. Estudio de casos. Revista Perfiles Educativos, (2013) XXXV (142),27-41. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13228832003

MARTÍNEZ –FERNÁNDEZ, C. N; GONZÁLEZ GAUDIANO, E. J. Las políticas para la sustentabilidad de las Instituciones de Educación Superior en México: entre el debate y la acción. *Revista de la Educación Superior*, (2015). *XLIV* (2) (174), 61-74. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60439229004

MEZA-AGUILAR, M.D.C., VELÁZQUEZ-RAMÍREZ, L; LARRUCEA-GARRITZ, A. Recuperación De Áreas Verdes Urbanas. La Importancia Del Diagnóstico Fitosanitario Para La Intervención. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (2017) 1(22). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477951390005

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESARROLLO DE UN MODELO DE UNIVERSIDAD SALUDABLE: INTEGRACIÓN DE LA BIOSEGURIDAD, LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y LA PROMOCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN SALUDABLE

**María Belén Vinces Obando, M.Sc[1], Luis David Balarezo Saltos. M.Sc[2], María Rosa Milán Licea. M.Sc[3], Geilert De La Peña-Consuegra. Dr[4], Marcos Raúl Vinces Centeno. Dr[5]**

[1]Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Manabí., Ecuador
[2]Facultad de Acuicultura y Ciencias del Mar. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
[3]Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba
[4]Profesor Investigador, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
[5]Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
e-mail: maria.vinces@utm.edu.ec

**RESUMEN**

Una universidad saludable es un entorno académico que promueve el bienestar integral de su comunidad a través de medidas de bioseguridad, sostenibilidad ambiental y la alimentación saludable. La combinación de estos factores garantiza un espacio seguro y libre de riesgos sanitarios, minimizan el impacto ecológico de la institución, e inculcan la educación nutricional, lo cual permite a las universidades no solo mejorar la calidad de vida de sus miembros, sino también contribuir a formar profesionales más conscientes y comprometidos con el cuidado del medio ambiente y la salud pública. Existen procesos que pueden afectar el bienestar integral, por lo cual, esta investigación pretende identificar los principales aspectos que favorezcan el desarrollo de la bioseguridad en las instalaciones de salud de la Universidad Técnica de Manabí (UTM). La metodología empleada fue de enfoque cualitativo, de tipo no experimental y documental y se emplearon los métodos de análisis-síntesis, inductivo-deductivo y análisis documental. A nivel empírico, se utilizaron la observación y las encuestas que complementan el análisis matemático-estadístico. Finalmente, se evidencio que existen criterios de calidad que se deben tener en cuenta para fomentar el bienestar integral, así mismo, se determinó que la visión que promueve la universidad va más allá de un espacio promotor de la formación académica, si no también, abarca aspectos sociales, ambientales y personales. Por lo antes mencionado, se propusieron acciones a seguir mediante un diagrama de flujo del funcionamiento de las mismas que fomentaran la salud y sostenibilidad en las instituciones de educación superior.

**PALABRAS CLAVE:** Bioseguridad; Laboratorio; Riesgos; Desechos sanitarios; Sostenibilidad Ambiental.

## DEVELOPING A HEALTHY UNIVERSITY MODEL: INTEGRATING BIOSECURITY, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND THE PROMOTION OF HEALTHY EATING

**ABSTRACT**

A healthy university is an academic environment that promotes the overall well-being of its community through biosafety measures, environmental sustainability, and healthy eating. The combination of these factors ensures a safe and risk free space, minimizes the institution's ecological impact, and instills nutritional education, allowing universities not only to improve the quality of life of their members but also to contribute to shaping professionals who are more aware and committed to environmental care and public health. There are processes that can affect overall well-being, which is why this research aims to identify the main aspects that favor the development of biosafety in the health facilities of the Technical University of Manabí (UTM). The methodology used was qualitative, non-experimental, and documentary in nature, employing the methods of analysis-synthesis, inductive-deductive reasoning, and document analysis. At the empirical level, observation and surveys were used to complement the mathematical-statistical analysis. Finally, it was evident that there are quality criteria that must be considered to promote overall well-being. Likewise, it was determined that the university's vision goes beyond being a space for academic development, encompassing social, environmental, and personal aspects as well. Based on the aforementioned, actions to be followed were proposed through a flowchart of their functioning, aimed at promoting health and sustainability in higher education institutions.

**KEY WORDS**: Biosecurity; Laboratory; Risks; Sanitary waste; Environmental Sustainability.

## 1. INTRODUCCIÓN

La comunidad universitaria es tradicionalmente considerada un espacio de generación de conocimiento y desarrollo intelectual; los estilos de vida sedentarios, la inadecuada alimentación y el estrés académico se han convertido en problemas comunes entre estudiantes, docentes y personal administrativo. Ante este panorama, surge la necesidad de replantear el modelo tradicional de universidad y promover un enfoque que priorice la salud y el bienestar integral de toda la comunidad [1].

La crisis ambiental global exige una revisión profunda de nuestras prácticas y hábitos. Las universidades, como instituciones clave en la formación de profesionales y ciudadanos, tienen un papel fundamental en la promoción de la sostenibilidad. Sin embargo, muchas universidades aún no han integrado de manera efectiva criterios de sostenibilidad en sus operaciones diarias. Este artículo aborda la necesidad de desarrollar un modelo de universidad saludable que, además de promover la salud individual, contribuya a la sostenibilidad ambiental.

Las universidades se enfrentan a diversos desafíos relacionados con la salud y el bienestar de su comunidad, tales como la gestión de riesgos biológicos, el impacto ambiental de sus actividades y los hábitos alimenticios poco saludables de estudiantes y personal [2]. Abordar estos aspectos de manera aislada puede resultar en esfuerzos fragmentados y poco efectivos. Se hace necesario, por lo tanto, desarrollar un modelo integral que permita integrar de manera sistémica estos elementos clave para la construcción de una universidad saludable.

Como principal objetivo general del estudio desarrollado, se tuvo en cuenta: proponer el desarrollo de un modelo de universidad saludable que integre la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable, con el fin de generar un entorno que promueva el bienestar y el desarrollo integral de la comunidad universitaria [3] [4] [5].

## 2. METODOLOGÍA

Al basarse en la premisa de la necesidad de desarrollar un modelo de universidad saludable, se propuso una metodología en el estudio de carácter cualitativo. En este sentido, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos metodológicos en cuestión:

- Revisión Sistemática de la Literatura: En la que se requirió identificar estudios previos sobre universidades saludables, bioseguridad, sostenibilidad y alimentación saludable. La extracción de las mejores prácticas y los vacíos de conocimiento, además de efectuar un marco teórico sólido para el estudio.
- Diseño de un Marco Conceptual: garantizar un modelo conceptual que integre los tres pilares: bioseguridad, sostenibilidad y alimentación saludable y de esta forma, definir indicadores clave para medir el éxito de cada pilar.
- Selección de Caso(s) de Estudio: Identificar como caso de estudio a la Universidad Técnica de Manabí (UTM), así como determinar la necesidad de tener en cuenta otras universidades que estén implementando iniciativas relacionadas con la salud y la sostenibilidad. Considerar la diversidad de contextos (tamaño, ubicación geográfica, tipo de institución).
- Recolección de Datos: Cualitativa: Entrevistas en profundidad con actores clave (rectores, decanos, estudiantes, personal administrativo), grupos focales, análisis documental (planes estratégicos, informes de sostenibilidad). Cuantitativa: Encuestas a estudiantes, docentes y personal administrativo para medir actitudes, comportamientos y percepción sobre la salud y la sostenibilidad en la universidad.
- Análisis de Datos: Cualitativo, en función del análisis temático para identificar patrones y tendencias en los datos cualitativos. Y cuantitativos, en relación con el análisis estadístico para comparar grupos, identificar relaciones entre variables y evaluar la efectividad de las intervenciones.
- Desarrollo del Modelo: Basado en los resultados del estudio comparativo o proceso diagnóstico, ofrecer elementos detallados de universidad saludable que incluya:
    - Componentes clave (bioseguridad, sostenibilidad, alimentación saludable)
    - Indicadores de éxito
    - Estrategias de implementación
    - Mecanismos de evaluación

En este caso, se ofrecen como posibles indicadores claves:

- Bioseguridad: Tasa de enfermedades infecciosas, cumplimiento de protocolos de limpieza, percepción de seguridad.
- Sostenibilidad: Consumo de energía y agua por estudiante, cantidad de residuos reciclados, uso de transporte sostenible.
- Alimentación saludable: Porcentaje de estudiantes que consumen frutas y verduras diariamente, disponibilidad de opciones saludables en los comedores.

Consideraciones Éticas:

- Obtener el consentimiento informado de los participantes.
- Garantizar la confidencialidad de los datos.
- Obtener los permisos institucionales necesarios.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El concepto de universidad saludable ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, transformándose en un paradigma que va más allá de la mera provisión de servicios de salud. Se trata de un enfoque integral que busca promover el bienestar físico, mental y social de toda la comunidad universitaria, integrando dimensiones como la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable.

Según la Organización Mundial de la Salud [6], una universidad saludable es aquella que crea un entorno físico y social que promueve la salud y el bienestar de todos sus miembros. Este enfoque se basa en la premisa de que la salud no es solo la ausencia de enfermedad, sino un estado de completo bienestar físico, mental y social.

La bioseguridad en el ámbito universitario implica la implementación de medidas preventivas para garantizar la salud y seguridad de todos los miembros de la comunidad universitaria. Esto incluye la prevención y control de infecciones, la gestión de residuos peligrosos, la seguridad en los laboratorios y la promoción de prácticas higiénicas.

Por ello, es importante tener presente:

- Prevención y control de infecciones: La implementación de protocolos de higiene, inmunización, la detección temprana de enfermedades y el manejo adecuado de brotes epidémicos son aspectos clave.
- Gestión de residuos peligrosos: La correcta clasificación, almacenamiento y disposición final de los residuos generados en actividades académicas y de investigación es fundamental para evitar riesgos para la salud y el medio ambiente.
- Seguridad en los laboratorios: La capacitación del personal, la señalética de riesgos, el uso de equipos de protección personal y la implementación de procedimientos de emergencia son elementos esenciales para garantizar la seguridad en los laboratorios.
- Promoción de prácticas higiénicas: La educación en higiene de manos, la limpieza y desinfección de espacios comunes y la promoción de hábitos saludables son fundamentales para prevenir la propagación de enfermedades.

La sostenibilidad ambiental en las universidades, implica la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental de las instituciones educativas. Esto incluye la eficiencia energética, la gestión de residuos, la movilidad sostenible y la promoción de la biodiversidad.

- Eficiencia energética: La implementación de tecnologías de ahorro energético, la optimización de los sistemas de climatización y la promoción del uso eficiente de la energía eléctrica son medidas clave.
- Gestión de residuos: La separación de residuos en origen, el reciclaje, el compostaje y la reducción de la generación de residuos son aspectos fundamentales.
- Movilidad sostenible: La promoción del uso de transporte público, bicicletas y vehículos eléctricos, así como la creación de infraestructura ciclista y peatonal son medidas importantes.

- Promoción de la biodiversidad: La creación de espacios verdes, la protección de la flora y fauna local y la educación ambiental son elementos clave para fomentar la biodiversidad en los campus universitarios.

La promoción de la alimentación saludable en las universidades implica la oferta de opciones nutritivas en los comedores universitarios, la educación nutricional y la creación de huertos urbanos.

- Oferta de opciones nutritivas: La inclusión de frutas, verduras, cereales integrales y legumbres en los menús, la reducción del consumo de alimentos procesados y la disponibilidad de agua potable son aspectos fundamentales.
- Educación nutricional: La implementación de programas educativos sobre alimentación saludable, la realización de talleres de cocina saludable y la promoción de una alimentación equilibrada son medidas clave.
- Creación de huertos urbanos: La producción de alimentos frescos en el campus permite a los estudiantes conocer el origen de los alimentos y fomentar hábitos de consumo más saludables.

Estos tres elementos, en función de una universidad saludable, están estrechamente interrelacionados. Por ejemplo, la promoción de la alimentación saludable contribuye a mejorar la salud de la comunidad universitaria y, por lo tanto, a reducir los costos asociados a la atención médica. La sostenibilidad ambiental, a su vez, mejora la calidad del aire y del agua, lo que tiene un impacto positivo en la salud de las personas.

El desarrollo de un modelo de universidad saludable representa un desafío y una oportunidad para las instituciones educativas. Al integrar la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable, las universidades pueden mejorar la calidad de vida de su comunidad, fomentar el desarrollo sostenible y contribuir a la formación de ciudadanos más conscientes y comprometidos con el bienestar común.

La OMS ha desarrollado un marco conceptual para las universidades promotoras de la salud, que enfatiza la importancia de la participación comunitaria, la creación de entornos saludables y el fortalecimiento de las capacidades individuales.

Diversos autores han propuesto modelos conceptuales para la universidad saludable, destacando la importancia de la participación de todos los actores de la comunidad universitaria, la creación de entornos saludables y la promoción de estilos de vida saludables [7]. En una revisión se vieron ejemplos como:

- Modelo de la Universidad de Harvard: La Universidad de Harvard ha implementado un modelo de universidad saludable que se centra en la promoción de la salud mental, la actividad física y la alimentación saludable [8].
- Modelo de la Universidad de Stanford: Este modelo enfatiza la sostenibilidad ambiental y la creación de un campus saludable y sostenible. Incluye iniciativas como la reducción del consumo de energía, la gestión de residuos, la promoción de la movilidad sostenible y la creación de espacios verdes [9].
- Modelo de las Universidades Promotoras de la Salud (UPS): Este modelo, promovido por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), busca fortalecer las capacidades de las universidades para promover la salud y el bienestar de su comunidad. Destaca la importancia de la participación comunitaria, la creación de entornos saludables y el fortalecimiento de las capacidades individuales [10].
- Modelo de la Universidad de Chile: Este modelo se caracteriza por su enfoque en la promoción de la actividad física, la alimentación saludable y la salud mental. Se han implementado diversas iniciativas como la creación de rutas saludables, la oferta de talleres de cocina saludable y la implementación de programas de apoyo psicológico [11].
- Modelo de la Universidad de Buenos Aires: La Universidad de Buenos Aires ha desarrollado un programa de promoción de la salud que incluye la creación de espacios saludables en el campus, la formación de promotores de salud y la realización de campañas de concientización sobre temas como el tabaquismo y el consumo de alcohol [3].
- Modelo de la Universidad de São Paulo: La Universidad de São Paulo ha implementado un programa de sostenibilidad que incluye la reducción del consumo de energía, la gestión de residuos y la promoción de la movilidad sostenible. Además, se han desarrollado programas de alimentación saludable y de promoción de la salud mental [12].

La implementación de modelos de universidad saludable en América Latina ha cobrado relevancia en los últimos años, respondiendo a las demandas de una población cada vez más consciente de la importancia del bienestar y la sostenibilidad. Si bien existen diversas iniciativas y enfoques, todos comparten el objetivo común de promover la salud y el bienestar de la comunidad universitaria.

A continuación, se presentan algunos ejemplos concretos de universidades latinoamericanas que han implementado modelos de universidad saludable, destacando sus iniciativas más relevantes en cada uno de los pilares: bioseguridad, sostenibilidad ambiental y promoción de la alimentación saludable.

De la Universidad de Costa Rica

Bioseguridad: Protocolos estrictos de limpieza y desinfección en espacios comunes, especialmente durante períodos de alta incidencia de enfermedades infecciosas.

Sostenibilidad ambiental: Implementación de un programa de gestión de residuos sólidos, promoción del uso de transporte público y bicicletas, y creación de huertos urbanos.

Alimentación saludable: Oferta de opciones vegetarianas y veganas en los comedores universitarios, etiquetado nutricional de los alimentos, y promoción de la educación alimentaria [13].

De la Universidad de Chile

Bioseguridad: Campañas de vacunación contra la influenza y otras enfermedades prevenibles, y promoción de hábitos de higiene.

Sostenibilidad ambiental: Reducción del consumo de papel, uso de energías renovables, y creación de un sistema de gestión ambiental.

Alimentación saludable: Oferta de alimentos saludables en los comedores universitarios, e implementación de un programa de educación alimentaria para estudiantes [11].

De la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Bioseguridad: Protocolos de seguridad en laboratorios, campañas de prevención de enfermedades infecciosas, y promoción de la salud mental.

Sostenibilidad ambiental: Reducción del consumo de agua y energía, gestión de residuos, y creación de áreas verdes.

Alimentación saludable: Oferta de alimentos orgánicos y locales en los comedores universitarios, y promoción de la agricultura urbana [14].

De la Universidad de São Paulo (USP)

Bioseguridad: Protocolos de seguridad en laboratorios, campañas de prevención de enfermedades infecciosas, y promoción de la salud mental.

Sostenibilidad ambiental: Reducción del consumo de energía y agua, gestión de residuos, y creación de áreas verdes.

Alimentación saludable: Oferta de alimentos orgánicos y locales en los comedores universitarios, y promoción de la agricultura urbana [12].

De la Universidad de los Andes (Colombia)

Bioseguridad: Protocolos de bioseguridad en laboratorios, campañas de prevención de enfermedades infecciosas, y promoción de la salud mental.

Sostenibilidad ambiental: Reducción del consumo de energía y agua, gestión de residuos, y creación de áreas verdes.

Alimentación saludable: Oferta de alimentos orgánicos y locales en los comedores universitarios, y promoción de la agricultura urbana [15].

En cuanto al análisis comparativo en cuestión, se tuvo en cuenta:

Si bien cada universidad presenta particularidades en la implementación de su modelo, se pueden identificar algunas tendencias comunes:

Enfoque integral: Todas las universidades buscan abordar la salud de manera integral, considerando los aspectos físicos, mentales y sociales.

Participación de la comunidad: Se fomenta la participación de estudiantes, docentes, personal administrativo y otros actores en la planificación y ejecución de las iniciativas.

Sostenibilidad: La sostenibilidad ambiental es un componente clave en todos los modelos, buscando reducir el impacto ambiental de las universidades.

Alimentación saludable: La promoción de la alimentación saludable es un aspecto fundamental, con énfasis en la oferta de opciones nutritivas y la educación alimentaria.

Entre las similitudes encontradas, todos los modelos comparten el objetivo de promover la salud y el bienestar de la comunidad universitaria. Además, enfatizan la importancia de la participación de todos los actores, la creación de entornos saludables y la evaluación de los resultados.

Y, en cuanto a diferencias, los modelos se diferencian en su enfoque y en las intervenciones prioritarias. Por ejemplo, el modelo de la OMS tiene un enfoque más amplio y abarca todos los aspectos de la salud, mientras que el modelo de Stanford se centra en la sostenibilidad ambiental.

A pesar de los avances, aún existen desafíos como la falta de recursos económicos, la resistencia al cambio y la necesidad de evaluar y mejorar continuamente las iniciativas. Sin embargo, también existen oportunidades para fortalecer la colaboración entre universidades, compartir buenas prácticas y escalar los proyectos exitosos.

Los ejemplos presentados demuestran que las universidades latinoamericanas están desempeñando un papel fundamental en la promoción de la salud y el bienestar de sus comunidades. Al integrar la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable, estas instituciones contribuyen a formar ciudadanos más saludables y comprometidos con el desarrollo sostenible.

Sobre los principales resultados se tienen cuenta en cuanto a ello:

- La importancia de un enfoque integral: Un modelo de universidad saludable debe abordar todos los aspectos del bienestar, incluyendo la salud física, mental y social.
- La necesidad de participación: La participación activa de todos los miembros de la comunidad universitaria es fundamental para el éxito de cualquier iniciativa.
- La importancia de la evaluación: La evaluación continua permite identificar los avances, las áreas de mejora y ajustar las estrategias.
- La adaptación a cada contexto: Los modelos deben adaptarse a las características específicas de cada institución y a las necesidades de su comunidad.
- La colaboración interinstitucional: La colaboración con otras universidades, instituciones de salud y organizaciones de la sociedad civil puede fortalecer las iniciativas de promoción de la salud.

Propuesta para desarrollar la UTM como Universidad Saludable, esta, debe:

- Proveer ambientes saludables que favorezcan al aprendizaje a través de sus áreas y edificaciones, zonas de recreación, bienestar universitario y medidas de bioseguridad.
- Promover la responsabilidad individual, familiar y comunitaria.
- Apoyar el desarrollo de estilos de vida saludables en la comunidad universitaria.
- Ayudar a los jóvenes a alcanzar su potencial físico, psicológico y social, y promover la autoestima.
- Implementar la promoción de la salud y facilitar la participación activa de la comunidad universitaria.

Para lo lograr y consolidar todo ello, se consideran 4 etapas fundamentales:

1. Planificación: Proceso participativo y sistemático mediante el cual se identifican problemáticas, necesidades y potencialidades de la comunidad universitaria y de su entorno, incluido el diagnóstico.

| Acciones | Producto | Posible Resultado |
|---|---|---|
| Identificación de prioridades de salud en general y sus determinantes sociales de la población universitaria y de la región. | Estructuración de Plan para promover y consolidar la universidad como Universidad Saludable.<br><br>Concertación y afiliación a Redes de de Universidades Saludables y aprobado por las instancias establecidas en la UTM | Implementación de planes a diferentes instancias para lograr la consolidación como Universidad Saludable. |
| Profundizar en los elementos esenciales relacionados con la Bioseguridad, la Sostenibilidad Ambiental y la Promoción de la Alimentación Saludable | | |
| Análisis de estrategias de intervención en las facultades y unidades de la Universidad. | | |
| Estado actual del funcionamiento de Bienestar Estudiantil y las unidades que contribuyen a la salud de la población universitaria. | | |
| Análisis del trabajo intersectorial e interinstitucional. | | |
| Incorporación de las acciones en la perspectiva de consolidación de universidad saludable, en función de los mecanismos establecidos y el análisis de presupuesto para ello. | | |

2. Concertación: mecanismo por el cual se permite la articulación de las decisiones y acciones estratégicas de la universidad en general y con otras instituciones / organismos / empresas, cuya finalidad y actividad coincidan con las políticas sanitarias, la Bioseguridad, la Sostenibilidad Ambiental y la Promoción de la Salud, en función de la Universidad Saludable. Esto se realizaría a través de reuniones permanentes, en la que se comprometen a los actores involucrados y ejecutores de las acciones; lo que establece potenciar las intervenciones en favor de la comunidad universitaria y el desarrollo local.

| Acciones | Producto | Posible Resultado |
|---|---|---|
| Presentación de Planes y acciones sólidas por parte de Universidades Saludables y la Red de Universidades, así como la debida difusión de lo considerado al respecto, para trazar líneas de articulación con la política universitaria en general. | Acta de compromiso suscrita por las autoridades universitarias para el desarrollo de los principales indicadores relacionados con la Universidad Saludable.<br><br>Carta que solicita la Adhesión a la Red de universidades saludables dirigida a la autoridad universitaria y designación de representante. | Comité de gestión de Universidad Saludable reconocido oficialmente por la autoridad universitaria, cuenta con hoja de ruta para su implementación. |
| Abogacía con autoridades universitarias en favor de las universidades Saludables dirigidas por la instancia desinada para ello en la universidad. | | |

3. Asistencia técnica: Niveles de apoyo que se requieren para llevar a cabo las acciones y actividades necesarias en favor de garantizar el crecimiento y consolidación de la universidad saludable en función de los principales indicadores para ello.

| |
|---|
| Gestión institucional: para generar políticas institucionales sanitarias de promoción de la salud en el entorno universitario. |

| |
|---|
| Formación académica: para fortalecer los contenidos en el plan de estudios o contenidos de las diversas carreras profesionales, de manera transversal o específica. |
| Bienestar universitario: para fomentar condiciones favorables a las prácticas saludables de alimentación en los comedores universitarios, cafetines, quioscos, bares y demás lugares de expendio de alimentos. |
| Proyección social: para fortalecer capacidades ciudadanas a favor de la Bioseguridad, la Sostenibilidad Ambiental y la Promoción de la Salud, en la comunidad a través de proyectos, voluntariado universitario, campañas educativas, informativas y de difusión en el ámbito de influencias de la universidad |
| Unidades que aportarían, o estarían enroladas en mayor medida en el desarrollo de la Universidad Saludable:<br>• Dirección de Bienestar Universitario<br>• Dirección de Servicios Generales (o su equivalente)<br>• Dirección de Talento Humano (o su equivalente)<br>• Dirección Académica (o su equivalente)<br>• Dirección de Comunicación (o su equivalente)<br>• Dirección de Sostenibilidad (o su equivalente)<br>• Centros de investigación: Pueden desarrollar proyectos de investigación relacionados con la salud y el bienestar.<br>• Bibliotecas: Pueden ofrecer recursos bibliográficos sobre temas de salud y bienestar.<br>• Asociaciones estudiantiles: Pueden promover actividades relacionadas con la salud y el bienestar. |

4. Evaluación sistemática: Proceso especifico de reflexión participativa sobre las experiencias universitarias que permiten concluir sobre el quehacer cotidiano en los principales aspectos relacionados con la Universidad Saludable: Bioseguridad, la Sostenibilidad Ambiental y la Promoción de la Salud. Desde esta perspectiva se ofrecen los principales insumos que permiten la toma de decisiones para las mejoras en los diversos procesos relacionados con estos elementos, y replicar experiencias exitosas, así como generar evidencias para la formulación y construcción de políticas al respeto. En esta etapa en particular, el coordinador o desinado en función de la Universidad Saludable realiza las siguientes acciones:

| Acciones | Productos esperados |
|---|---|
| Identificar el o los principales temas a sistematizar. | Compendio de buenas prácticas y desarrollo del funcionamiento de las acciones en correspondencia con la Universidad Saludable. |
| Recopila datos de las experiencias en las universidades. | |
| Procesos analiza y organiza los datos de las experiencias logradas. | |
| Elabora y socializa las conclusiones y recomendaciones considerando las lecciones aprendidas y compartidas en el quehacer de la red de universidades participantes. | |

## 4. CONCLUSIONES

La diversidad de modelos de universidad saludable refleja la complejidad del tema y la necesidad de adaptar las estrategias a cada contexto. Sin embargo, todos los modelos comparten el objetivo común de crear entornos universitarios más saludables y sostenibles. Al aprender de las experiencias de otras instituciones y al adaptar los modelos a las necesidades propias, las universidades pueden contribuir significativamente a mejorar la calidad de vida de su comunidad y a construir un futuro más saludable y sostenible.

Los ejemplos presentados demuestran que las universidades latinoamericanas están desempeñando un papel fundamental en la promoción de la salud y el bienestar de sus comunidades. Al integrar la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable, estas instituciones contribuyen a formar ciudadanos más saludables y comprometidos con el desarrollo sostenible.

La implementación de un modelo de universidad saludable representa un desafío y una oportunidad para las instituciones educativas. Al integrar la bioseguridad, la sostenibilidad ambiental y la promoción de la alimentación saludable, las universidades pueden mejorar significativamente la calidad de vida de su comunidad, fomentar el desarrollo sostenible y contribuir a la formación de ciudadanos más conscientes y comprometidos con el bienestar común.

**REFERENCIAS**

1. MAZORCO SALAS, Julio; ROJAS LEÓN, Gina; GÓMEZ ROMERO, Felipe; DUARTE RUEDA, Rocío; GRANADOS MENDOZA, María. "Diseño de una metodología para la co-creación de ambientes saludables en entornos educativos universitarios". *Hacia la Promoción de la Salud,* 2021, vol. 26, núm. 2, pp. 49-67. Recuperado de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/hpsalud/article/view/12290
2. RODRIGUEZ TORRES, Freddy; CURAY CARRERA, Pablo; LUNA VELASTEGUI, Gabriela; GARCÉS ÁNGULO, José; CAÑAR LEITON, Vanessa. "Promoción de salud: un reto de la Educación Superior". *Dominio de las Ciencias,* 2021, vol. 7, núm. 5, pp. 839-855. Recuperado de https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1358
3. BECERRA HERAUD, Silvia. "Universidades saludables: una apuesta a una formación integral del estudiante". *Revista de Psicología (PUCP),* 2013, vol. 31, núm 2, pp. 287-314. Recuperado de https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/psicologia/article/view/9539
4. MARTÍNEZ SÁNCHEZ, José; BALAGUER, Albert. "Universidad saludable: Una estrategia de promoción de la salud y salud en todas las políticas para crear un entorno de trabajo saludable". *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales,* 2016, vol. 19, núm. 3, pp. 175-177. Recuperado de http://apr.sprl.upv.es/index.php/aprl/article/view/74
5. SANCHIS SOLER, Gema; GARCÍA JAÉN, Miguel; SEBASTIA AMAT, Sergio; DIANA SOTOS, Cristian & TORTOSA MARTÍNEZ, Juan. "Acciones para una universidad saludable: Impacto sobre la salud mental y física de los jóvenes". *Revista de Psicología Aplicada*, 2022. Recuperado de: https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/91940
6. Organización Mundial de la Salud. *Universidades promotoras de la salud: Un marco de acción* [en línea], [ref. de 2020]. Recuperado de https://www.who.int/teams/health-promotion/physical-activity/university-health-promoting-framework\
7. MUÑOZ, Mónica; CABIESES, Baltica. Universidades y promoción de la salud:¿ cómo alcanzar el punto de encuentro?. Revista panamericana de salud pública, 2008, vol. 24, p. 139-146. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2008.v24n2/139-146/es
8. Universidad de Harvard. *Salud y Bienestar Diseño de un Plan de Nutrición Sostenible* [en línea]. Boston, Massachusetts, Estados Unidos. [ref. 2011]. Recuperado de https://execonline.hms.harvard.edu/salud-bienestar
9. Stanford University. Stanford psychologists show leading with flavor encourages healthy eating. [en línea]. Stanford, Estados Unidos. [ref. 2019]. Recuperado de https://news.stanford.edu/stories/2019/10/leading-flavor-encourages-healthy-eating
10. Organización Panamericana de la Salud. *Una nueva mirada al movimiento de universidades promotoras de la salud en las Américas* [en línea], [ref. de 2008]. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana* [ref. de 2018], vol. 144, núm. 1, pp. 1-12. Recuperado de https://iris.paho.org/handle/10665.2/46612
11. Universidad de Chile. *Plan de Desarrollo Sostenible* [en línea]. Santiago, Chile. [ref. 2018]. Recuperado de http://www.uchile.cl/publicaciones
12. Universida de de São Paulo. *Relatório de Sustentabilidade* [en línea]. São Paulo, Brasil. [ref. 2019]. Recuperado de https://www.usp.br/relatorios-sustentabilidade

13. Universidad de Costa Rica. *Informe de Sostenibilidad* [en línea]. San José, Costa Rica. [ref. 2015]. Recuperado de https://www.ucr.ac.cr/informes-sostenibilidad
14. Universidad Nacional Autónoma de México. *Informe de Sostenibilidad* [en línea]. Ciudad de México, México. [ref. 2020]. Recuperado de https://www.unam.mx/informes-sostenibilidad
15. Universidad de los Andes. *Informe de Sostenibilidad* [en línea]. Bogotá, Colombia. [ref. 2021]. Recuperado de https://www.uniandes.edu.co/informes-sostenibilidad
16. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. *Manual de Bioseguridad para Instituciones de Educación Superior* [en línea], [ref. de 2012]. Recuperado de https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2019/04/Manual-de-Bioseguridad-para-Instituciones-de-Educaci%C3%B3n-Superior.pdf
17. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Guía para una alimentación saludable en instituciones educativas* [en línea], [ref. de 2021]. Recuperado de http://www.fao.org/3/cb5440es/cb5440es.pdf
18. Organización de las Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible* [en línea], [ref. de 2015]. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ÀLBUM DE FAMILIA COMO PARTE DEL TRABAJO DE LA CÀTEDRA SANTIAGO ÀLVAREZ

**Karla Picart Rodriguez[1], Maribel Acosta Damas[2]**

[1]Universidad de La Habana, karlapicart@gmail.com, [2]Universidad de La Habana, maribelaperiodista@gmail.com

**RESUMEN**

El estremecimiento que significó la vulnerabilidad de la vida humana y del planeta durante la epidemia mundial de Covid 19 (2020-2021), puso en entredicho, los tiempos de esa toma de conciencia y las matrices que hasta ahora parecían definidas. Concertamos una mirada que establece estos diálogos en la comunicación, el arte y el archivo en tanto registro, memoria, juntura y vuelta a mirarnos insertados en la formación de los futuros periodistas en Cuba. Nos anclamos en el ejercicio de clase Álbum de Familia (2017-2018-2019-2020- 2021-2022). Sin dudas hay un antes y un después de 2020, pero el antes nos permite estructurar el después-ahora para redefinir las plataformas de vida e identidad. Es por ello que, el objetivo de esta investigación es sistematizar los resultados de la aplicación del ejercicio docente Álbum de familia como práctica de la introducción del binomio memoria-comunicación como parte el trabajo de la cátedra honorifica de periodismo cinematográfico Santiago Álvarez.

**PALABRAS CLAVE**: Cultura; Arte y Archivo; Memoria; Comunicación; Periodismo.

## GUIDELINES FOR PREPARING ARTICLES FOR THE XXI SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE

**ABSTRACT**

The shock that the vulnerability of human life and the planet meant during the global Covid 19 epidemic (2020-2021) called into question the times of this awareness and the matrices that until now seemed defined. We agreed on a look that establishes these dialogues in communication, art and the archive as a record, memory, union and return to look at ourselves inserted in the training of future journalists in Cuba. We anchor ourselves in the Family Album class exercise (2017-2018-2019-2020- 2021-2022). Without a doubt there is a before and after 2020, but the before allows us to structure the after-now to redefine the platforms of life and identity. That is why the objective of this research is to systematize the results of the application of the Family Album teaching exercise as a practice of introducing the memory-communication binomial as part of the work of the Santiago Álvarez honorary chair of film journalism.

**KEY WORDS**: About five key words or phrases, separated by commas (,).

## 1. INTRODUCCIÒN

La Cátedra de Periodismo cinematográfico Santiago Álvarez se fundó el cinco de noviembre del 2012, con sede en la Facultad de Comunicación de la Universidad de La Habana. Basada en el espíritu del cineasta, la Cátedra, trabaja por ampliar el estudio de su figura y obra, apoyar la creación audiovisual de los jóvenes profesionales de la comunicación y carreras afines, así como formarlos en los principios éticos, ideológicos, artísticos y periodísticos que guiaron el trabajo de esta importante figura del cine militante a nivel internacional cuya obra noticiosa hoy forma parte de la Memoria del Mundo, de la UNESCO.

Entre las Instituciones participantes en este proyecto se encuentran la Facultad de Comunicación de la Universidad de La Habana, el Instituto Cubano del Arte e Industria Cinematográficas (ICAIC) y la Oficina Santiago Álvarez. Cuenta además con el apoyo del Festival Santiago Álvarez in Memoriam

(génesis de la Cátedra), la Escuela Internacional de Cine y Televisión de San Antonio de los Baños, el Instituto Internacional de Periodismo José Martí y otras instituciones y organizaciones.

La Cátedra Santiago Álvarez desarrolla sus actividades a través de cuatro líneas de acción básicas: docencia en grado y posgrado, investigación, elaboración de productos comunicativos y extensión universitaria; y desarrollo de proyectos comunitarios de educación para la comunicación audiovisual.
La primera línea de trabajo comprende el diseño e implementación de asignaturas sobre comunicación audiovisual que enriquezcan la malla curricular de la carrera de Periodismo en la Facultad de Comunicación. Igualmente, organiza ciclos de conferencias, talleres y diplomados de temáticas similares para la educación en pregrado y posgrado.

La línea de trabajo de elaboración de productos comunicativos se lleva a cabo a través de tres grandes áreas. La primera se corresponde con la producción audiovisual y comprende el trabajo en grupos creativos, integrados por estudiantes, profesores y especialistas del mundo audiovisual, para la realización de materiales periodísticos y documentales. Entre estos materiales destacan los Noticieros Santiago Álvarez, productos informativos que realizados desde los presupuestos técnicos y estéticos que ofrecen las nuevas tecnologías y que pretenden constituirse en una opción informativa cinematográfica que rescate, para el Periodismo, espacios de exhibición alternativos como son las salas de cine y video.

La producción de documentales avala además esta línea de trabajo, fundamentalmente resultado de los cursos optativos en sus cinco ediciones. Algunos de estos materiales han merecido premios en concursos nacionales y han sido socializados dentro y fuera de Cuba. Dentro de esta línea de trabajo se inserta el ejercicio docente Álbum de Familia, una herramienta educativa que ha permitido el binomio memoria-comunicación como parte de la formación de los periodistas en la preservación del patrimonio inmaterial de la identidad cubana.

## 2. DESARROLLO

En el contexto socio simbólico del capitalismo cognitivo [1], podríamos hablar de un nuevo parteaguas que ha establecido la pandemia y sus consiguientes narrativas: entre los países ricos y los países pobres, entre los vacunados y los no vacunados; en los países ricos entre los sin trabajo y los trabajadores, entre los pobres y los empobrecidos, entre lo público y lo privado, entre la soledad y las redes de apoyo, entre la vida-vida y la vida en redes sociales, entre la reemergencia de las luchas anticapitalistas y las luchas antisistema y la desmovilización social, entre los jóvenes y los viejos, entre la intolerancia y la asunción acrítica, entre los enfoques ecologistas y el arrasamiento, entre lo individual y el individualismo, entre la fugacidad-espectáculo y la trascendencia; entre el llamado trabajo intelectual y el también llamado trabajo manual, entre lo político y lo político, aun cuando se quiera enmascarar.

Y como transversalidad, las narrativas por mantener la identidad y no renunciar a la existencia cotidiana y de la memoria…

Si bien se encuentran perspectivas que revalidan la educación en los contextos socioculturales, lo cierto es que la mayoría de estos puntos de vista fragmentan las partes contentivas y desconocen la relevancia de la memoria como camino integrador de un pensamiento-acción sostenibles. Seguramente la praxis de numerosos colectivos humanos está haciendo estallar estas fragmentaciones, pero aun en la teoría científica y de estrategias de sostenibilidad, las reflexiones resultantes no están a nuestro alcance; por lo menos con la urgencia de las demandas actuales.

Entonces nos valemos del pensamiento humanista para plantearnos lo que consideramos esta imprescindible progresión. Figura esencial de los Estudios Culturales Latinoamericanos, la investigadora chilena Nelly Richard desde hace más de una década nos trazaba un aserto de memoria como “vibración simbólica del recuerdo en toda su potencialidad crítica de reconstrucción y deconstrucción de las narrativas en curso” [2]. La estudiosa apunta a una posibilidad de aprehender la vida, práctica y vivible desde una memoria no cosificada y, por tanto, viva y revolucionadora. “Es mantener la relación entre presente y pasado abierta a la fuerza del recuerdo como desencaje y expectación” [2]. Lo define además como la capacidad de luchar “para que el reclamo tenaz, la queja insuprimible, el radical desacuerdo

tenga siempre oportunidad de molestar –con su pesadez y gravedad de sentido- los montajes livianos de la actualidad fútil, desmemoriada" [2].

Desde esta dirección, convenimos con Richard [3] en que una crítica de la memoria será la práctica que dará expresión a la pugna entre el sustrato identitario de la memoria social y las gramáticas utilitarias del mercado, explorando el paisaje necesariamente poblado de ranuras, rendijas, líneas de fuga que interrumpen el tiempo plano de la actualidad neoliberal. Ahí es cuando reestablecemos a las mujeres como lugares de la memoria y por tanto de cualquier perspectiva sostenible; en núcleo-archivo en tanto legado transmisible y episteme identitarios de la transformación de la realidad.

De ahí que amparados en los Campos cruzados de Nelly Richard [4] sostenemos el concepto de memoria como eje articulador de un enfoque al desarrollo sostenible donde feminismo-equidad-medio-ambiente-arte y cultura, funcionen cual metáfora-membrana; tal y como apunta su definición en el Oxford Languages: "Lámina de tejido orgánico, flexible y resistente, entre cuyas funciones están la de recubrir un órgano o un conducto o la de separar o conectar cavidades o estructuras adyacentes." [4]

Dentro de las muchas interrogantes que envuelven los estudios de memoria-comunicación, esta investigación pretende aportar al debate como formadores de profesionales de la comunicación y el periodismo, el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo incorporar a los análisis y posturas de la formación universitaria las nuevas narrativas aportadas por la práctica de activismo artístico- cultural-comunicativo y de existencia cotidianas? Para ello, nos trazamos el objetivo sistematizar los resultados de la aplicación del ejercicio docente Álbum de familia como práctica de la introducción del binomio memoria-comunicación.

Con la participación de estas autoras en las prácticas de investigación, realización y socialización de esta experiencia docente clave para nuestro análisis, los diálogos teoría-praxis nos permitieron no solo un acercamiento a nuestra postura conceptual, sino un posicionamiento en ella desde el ejercicio profesional. En las experiencias de referencia, estas autoras partimos del planteo de Infraestructura emergente para la investigación archivística que promueve el diálogo teórico y metodológico interdisciplinar para la investigación de archivo.

Parte de la certeza de que tanto el gran número de proyectos que involucran la indagación archivística desde diferentes campos, así como los investigadores aportando innovación y trabajo colaborativo, se hace necesario estudiar profundamente métodos y técnicas que deben incorporarse a la investigación desde fuera del campo de la archivística. De ahí que en la contemporaneidad esta disciplina se distinga por su creciente transdiciplinariedad, al asumir una cultura investigativa emergente sustentada en la conciencia y la participación de los investigadores en proyectos que están siendo dirigidos desde otros campos y dando lugar al desarrollo y experimentación de nuevos métodos investigativos.

En tanto, los enfoques respecto al archivo como consignación arcóntica en el arte contemporáneo, en la infraestructura emergente de la investigación archivística, dotan a este campo de un corpus teórico-metodológico y de la praxis de las ciencias sociales que desde la intervención archivística (en proceso continuo) y evaluado como genealogía semántica del archivo membránico en tanto re/de/construcción de significados, deviene narrativa tácita de capas sucesivas reutilizables y reinterpretables en cada trayectoria de activación del documento; devolviéndonos siempre una nueva historia, determinada a su vez por la memoria y el contexto.

**Ejercicio académico audiovisual Álbum de familia**

En la Facultad de Comunicación de la Universidad de La Habana, desde hace algunos años, (a partir de 2010 como experiencia exploratoria y luego sistematizada a partir de 2017), comenzamos el intento de dinamizar los currículos de estudio de Periodismo desde otras prácticas e incluir en ellas dimensionamientos inclusivos, diseñados metodológicamente. Para la impartición de Periodismo audiovisual, elegimos como punto de partida las ideas de José Luis Brea [5] en su obra antológica El tercer umbral, que resitúa la economía y la producción simbólica en el mundo contemporáneo como

colisión inédita de los registros de la economía y la cultura y el nacimiento de una nueva industria: la industria de la subjetividad (constructora de identidades y transversalizada por la imagen).

Desde ahí transitamos en viaje deriva hacia el arte contemporáneo, la comunicación y sus diálogos desde las imágenes. Nos apropiamos de fundamentos del arte conceptual que nos permitieron aproximaciones naturales a la comunicación. Tomamos "prestado" el Proyecto Álbum de familia de artistas albaneses en red para contar relatos audiovisuales de la memoria familiar a partir de la fotografía fija de archivo. Como condición de trabajo en el aula, cada estudiante elabora su propio Álbum de familia con sus archivos personales y su estética propia para contar el relato de experiencia en un video-arte que después es compartido entre todos (con la conformidad de los autores). A ello añadimos el Proyecto Sonidos de mi país, en que también los alumnos y alumnas se acercan a periodismo radiofónico contando sus relatos de vida a través de los sonidos-archivos, sonidos cotidianos, en una suerte de iconocidad sonora que identifica cada una de las experiencias propias, presentes o pasadas, como conocimiento tácito compartido Para nuestra sorpresa, en los relatos presentados en el aula (algunos de ellos publicados incluso, en convenio con la televisión cubana), emergieron aspectos que consideramos centrales para entender el mundo de hoy, en particular de los jóvenes; los riesgos y los nichos de construcción de sostenibilidad e identidad colectiva:

1. Una resistencia inicial a mirar atrás, a buscar en el pasado, a indagar en archivos viejos…
2. Después, una inmersión consciente y entusiasta en esos mismos archivos, el contacto con las abuelas y padres, tías y otros parientes… la indagación en sus vidas e historias familiares; el diálogo participativo con ellos para encontrar las rutas de las narrativas propias.
3. El descubrimiento consciente de la historia familiar en los contextos específicos de cada familia.
4. El descubrimiento de los contextos colectivos de la historia familiar.
5. La sedimentación de identidad personal y colectiva a partir de una historia personal dentro de la historia colectiva. El sentido de pertenencia a una familia, a un país, a una época, a un mundo.

Y para las docentes que pusimos en práctica el proyecto, cuando analizamos los relatos Álbum de familia, descubrimos la agenda país desde la comunicación y la cultura [6]. Las narrativas nos devolvían la memoria colectiva de la Revolución Cubana en sus diversidades y en su evolución en el tiempo.

Resulta significativo que, en los relatos de los primeros años, la emergencia del proyecto colectivo dentro del proyecto personal, era muy evidente. Se identificaban de manera reveladora los caminos de Cuba post 1959 desde la estética emergente hasta en la intención de los relatos: los uniformes de becarios cubanos de las escuelas en el campo, las poses fotográficas junto a los televisores y objetos que venían de la ex URSS, las fotos de padres y madres en la ex Unión Soviética donde hicieron estudios universitarios, imágenes de soldados en Angola, las madres y padres como doctores en África o en América Latina, fotos de la diáspora cubana en distintas partes del mundo, fundamentalmente en Estados Unidos y Europa; y fotos colectivas con compañeros y compañeras de aula como parte de la familia.

En la medida que nos acercamos a los últimos tres cursos académicos empezamos a observar cambios en la naturaleza de los relatos: La experiencia personal se hizo más personal. Los relatos empezaban a sufrir procesos de inmersión en el yo, cada vez más profundos desde la existencia, centrados en la historia del yo nacimiento, de una familia más compleja, estructurada de otra manera y naturalizada en las nuevas estructuraciones. De igual modo, la emergencia del proyecto colectivo y de país que se percibe principalmente desde los subtextos, sumergida en la narrativa del yo existencial como intención explícita y consciente de los autores-estudiantes. Ya para el año 2021, en pleno rebrote de pandemia de Covid 19 en Cuba, a estas mismas directrices se añadía, una mayor inmersión en la familia personal como ágora de salvación, una religiosidad de primer orden y una feminización del relato con el protagonismo de las madres-mujeres en la vida de los jóvenes como sustancia de la sobrevivencia.

Estamos en presencia de praxis que nos devuelven enjundias imprescindibles para entender el alma de los contextos que estamos transitando y las posibles rutas desde lo social, lo político, el arte, la cultura y su correspondiente transversalidad comunicativa. Para intentar penetrar estas prácticas, nos atenemos a la mirada del teórico colombiano Martín-Barbero, en su libro Oficio de Cartógrafo [7], en que, de manera adelantada, nos apuntaba coordenadas, que estableció de acuerdo a una configuración de tres dimensiones: "el espacio del mundo, el territorio de la ciudad y el tiempo de los jóvenes [7]"

-Como Espacio-mundo ya que la globalización no se deja pensar como mera extensión cualitativa o cuantitativa de los Estados nacionales haciéndonos pasar de lo internacional (política) y lo transnacional (empresas) a lo mundial (tecnoeconomía). El globo ha dejado de ser una figura astronómica para adquirir plenamente una significación histórica. Ahí están las redes poniendo en circulación, a la vez, flujos de información que son movimientos de integración a la globalidad tecnoeconómica, pero también el tejido de un nuevo tipo de espacio reticulado que transforma y activa los sentidos del comunicar-nos.

-Territorio-ciudad porque en él se configuran nuevos escenarios de comunicación de los que emerge el nuevo sensorium, cuyos dispositivos clave son la fragmentación —no sólo de los relatos sino de la experiencia, de la desagregación social— y el flujo ininterrumpido de las imágenes en la multiplicidad de pantallas —de trabajo y de ocio—enlazadas.

-Y donde esa sensibilidad se hace social y culturalmente visible hoy es en el entretiempo de los jóvenes, cuyas enormes dificultades de conversación con las otras generaciones apunta a todo lo que en el cambio generacional hay de mutación cultural.

A partir de estas matrices de análisis, descubrimos mutaciones de esas otras en los diálogos emergentes de una realidad diacrónica, que integró, desde las narrativas de la existencia (las mujeres en el centro) las prácticas fragmentadas de las que hemos sido parte: Las mujeres en el escenario del día a día y como lugar de los cuerpos y de las memorias, resituando los discursos y preeminencias.

Refiriendo a Serres, Martín Barbero [7] ha refrendado sobre las cartografías contemporáneas: "Nuestra historia, singular y colectiva, nuestros descubrimientos como nuestros amores, se parecen más a las apuestas azarosas del clima o los sismos que a un viaje organizado provisto de un contrato de seguros. Y declara que por esta razón "los mapas meteorológicos, rápidos y lábiles, o los lentos y pacientes que nos muestran las ciencias de la tierra profunda, con sus placas movedizas, líneas de fractura y puntos calientes, interesan hoy al filósofo más que los antiguos mapas de carreteras" [7]. Barbero sostiene que asistimos a una lógica cartográfica que se vuelve fractal donde en los mapas el mundo recupera la diversa singularidad de los objetos: cordilleras, islas, selvas, océanos— y se expresa en "pliegues y despliegues, reveses, intertextos, intervalos; que se condensa en imagen de "Penélope tejiendo y destejiendo el mapa de los viajes de su marido, mapa del mar soñado y del real entretejidos en el canto de Homero". [7].

Entonces a esta otra cartografía desplegada en el desafío del pensamiento, del arte y la cultura, cuando el mundo está intentando volverse a la normalidad, la arropan nuevamente las tensiones entre la memoria y el olvido, cuya salvación está en el pensamiento y la praxis feminista integradora de las expectativas y luchas de hoy.

En medio de estas voces, no nos queda más opción intelectualmente honrada, que recapacitar sobre el mundo en que vivimos, en las palabras como sedimento de ideas, en el consumo como árbitro de plantación; en las redes de solidaridad como opción ineludible y en el papel de las mujeres y de quienes aliadas a ellas enfrentan los tiempos difíciles en narrativa coral de la existencia, con diálogos y experiencias sin las cuales no hay tiempo fértil ni mundo sostenible.

## 3. CONCLUSIONES

El trabajo de la cátedra con el rescate de la memoria ha contribuido, no sólo a rescatar el conocimiento de la obra de Santiago Álvarez con todos los valores estéticos artísticos y socio-políticos implícitos en la misma; sino que con ello , a su vez, compulsa e incentiva a las jóvenes generaciones y a los profesionales,

a la realización de buen cine documental con el fin de proclamar la importancia de este género, como medio efectivo para el cambio social a favor del proyecto humanista de la Revolución Cubana.

De igual forma, la labor de la cátedra ha permitido mantener y profundizar la inserción en la vida local para contribuir a la alfabetización audiovisual y la transformación social, sobre todo en barrios o comunidades donde los estudiantes habitan y realizan sus investigaciones. Este accionar ha pretendido estimular en el estudiantado las capacidades para pensar críticamente y transformar los entornos donde se desarrollan, a tono con el proyecto de sociedad que nuestro país defiende.

## RECONOCIMIENTOS

Las autoras desean agradecer a los estudiantes de Periodismo de la Facultad de Comunicación de la Universidad de La Habana por convertirse en fuente de inspiración para realizar esta investigación. De igual forma, a la Oficina "Santiago Álvarez" de ICAIC.

## REFERENCIAS

1. SIERRA, F. Capitalismo cognitivo y Economía Social del Conocimiento. La lucha por el código. Quito, Ecuador: Ediciones CIESPAL.2016
2. RICHARD, N.. *Políticas y estéticas de la memoria.* Disponible en web: https://books.google.com.cu/books?id=7mmtrnDC91wC&pg=PA10&lpg=PA10&dq=nelly+richard+Pol%C3%ADticas+y+est%C3%A9ticas+de+la+memoria&source=bl&ots=ivn8n8iwY1&sig=Zh0vJcQQsNVYyrs_DCl7icaWcn0&hl=es 419&sa=X&ved=0ahUKEwj4gJG3i_jTAhVUVWMKHYBDC_AQ6AEINzAE#v=onepage&q=nelly%20richard%20Pol%C3%ADticas%20y%20est%C3%A9ticas%20de%20la20memoria&f=false, 2006
3. RICHARD, N. *La crítica de la memoria*. Revista de crítica cultural Recuperado de: https://www.google.com.cu/?gws_rd=ssl#q=nelly+richard%2Bmemoria, 2011
4. RICHARD, N. "Campos cruzados: crítica cultural, latinoamericanismo y saberes al borde". vol 44. Cuadernos Casa Editor Fondo. La Habana, Cuba: Editorial Casa de la Américas, 2009.
5. BREA, J. L. El tercer Umbral. Estatuto de las prácticas artísticas en la era del capitalismo cultural. CENDEAC. Centro de Documentación y estudios avanzados de la Comunidad de Murcia. Recuperado de: https://libros.metabiblioteca.org/bitstream/001/426/1/El%20Tercer%20Umbral.pdf. 2003
6. MARTIN BARBERO, J. "Entre saberes desechables, y saberes indispensables (Agendas de país desde la comunicación)". Documento No 9-FEC C3.Bogota, Colombia: Centro de Competencia en Comunicación para América latina, 2009.
7. MARTIN BARBERO, J. *Oficio de cartógrafo*. "Travesías latinoamericanas de la comunicación en la cultura". Santiago de Chile, Chile: Fondo de Cultura económica. S.A, 2002.

sobre los autores

Karla Picart Rodriguez, licenciada en Periodismo por la Universidad de La Habana, doctoranda en Ciencias de la Comunicación por la Universidad de La Habana, profesora asistente. Jefa de Departamento de Periodismo de la propia universidad. Es miembro de la Unión de Periodistas de Cuba y del Registro del Creador Audiovisual del Instituto Cubano del Arte e Industria Cinematográfica.

Maribel Acosta Damas, doctora en Ciencias de la Comunicación por la Universidad de La Habana, profesora titular. Jefa de la Comisión Nacional de la carrera de Periodismo. Es miembro de la Unión de Periodistas de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INTEGRACIÓN ENTRE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA, DOCENCIA E INVESTIGACIÓN: CASO DE ESTUDIO PROYECTO "CHATARRERO

**Amanda Bárbara Bello Colomer[1], Erika Sarahy Montenegro Morales[2], Orestes Gabriel Osorio Rodríguez[3], Ernesto Alberto Alvarez[4]**

[1, 2] Estudiante, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba.
[3, 4] Ingeniero electricista, Instructor, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba,
[1]e-mail: amandabbe@electrica.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las actividades fundamentales de la universidad, como la docencia, la investigación y la extensión, representan pilares esenciales en cualquier institución de educación superior. Estas áreas son cruciales porque contribuyen significativamente a la calidad de la formación integral, profesional y académica de los estudiantes. En el contexto universitario, los vínculos entre estos procesos adoptan roles diversos que impactan distintos aspectos de la vida académica. A pesar de su importancia individual, se reconoce que la verdadera fortaleza de estos procesos radica en su articulación conjunta. Por esta razón, el objetivo principal de este artículo es describir cómo se puede lograr la integración de la investigación, la docencia y la extensión universitaria en la gestión del conocimiento. Para ello, se ha elegido como estudio de caso el proyecto CHATARRERO, desarrollado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría. Este proyecto proporciona un ejemplo claro de cómo la integración de los procesos sustantivos de la universidad puede desempeñar un papel fundamental en el desarrollo integral del aprendizaje de los alumnos. Los resultados obtenidos demuestran la relevancia de conectar estas áreas para fomentar una experiencia educativa más completa y enriquecedora, que trasciende los límites tradicionales del aula y la investigación aislada, permitiendo un desarrollo más profundo del conocimiento.

**PALABRAS CLAVES:** docencia, investigación, extensión universitaria, aprendizaje.

## "INTEGRATION BETWEEN UNIVERSITY EXTENSION, TEACHING, AND RESEARCH: CASE STUDY OF THE 'CHATARRERO' PROJECT"

**ABSTRACT**

The fundamental activities of the university, such as teaching, research and extension, represent essential pillars in any institution of higher education. These areas are crucial because they contribute significantly to the quality of students' comprehensive, professional and academic education. In the university context, the links between these processes adopt diverse roles that impact different aspects of academic life. Despite their individual importance, it is recognized that the true strength of these processes lies in their joint articulation. For this reason, the main objective of this article is to describe how the integration of research, teaching, and university extension can be achieved in knowledge management. For this purpose, the CHATARRERO project, developed by the Faculty of Electrical Engineering of the José Antonio Echevarría Technological University of Havana, has been chosen as a case study. This project provides a clear example of how the integration of the university's substantive processes can play a fundamental role in the integral development of student learning. The results obtained demonstrate the relevance of connecting these areas to foster a more complete and enriching educational experience, which transcends the traditional limits of the classroom and isolated research, allowing for a deeper development of knowledge.

**KEY WORDS:** teaching, research, university extension, learning.

## 1. Introducción

Las universidades son centros de enseñanza superior que forman a futuros profesionales, científicos, artistas y líderes en diversos campos. Su objetivo principal es proporcionar una educación de calidad que prepare a los estudiantes para contribuir al desarrollo económico y social de la sociedad. Sus investigadores trabajan en temas de actualidad y crean nuevos conocimientos que pueden aplicarse en la industria y mejorar la vida cotidiana de las personas.[1],[2]

Para lograr este papel de la formación de los estudiantes universitarios debe estar organizada de manera exhaustiva consiguiendo la sinergia de los diferentes procesos donde desarrollen habilidades críticas para formar individuos conscientes de la realidad de su tiempo, que contribuyan a entregar a la sociedad a profesionales altamente cualificados y capaces de dar respuestas ingeniosas a las problemáticas de la comunidad, con un desempeño proactivo y alto sentido de responsabilidad social, pero que también sepan interactuar y comunicarse de manera acertada en los nuevos entornos digitales.[2],[3]

En Cuba la educación superior tiene como misión contribuir a la construcción de una sociedad socialista, próspera y sostenible mediante la formación de profesionales de nivel superior comprometidos con la Revolución Cubana y con los aportes pertinentes de la capacitación y la educación de posgrado, la ciencia, la tecnología, la innovación y la extensión universitaria; con calidad, alto impacto económico y social y racionalidad económica.[4]

Con una red de universidades y entidades de ciencia e innovación tecnológica, comprometidos con el proyecto social cubano, que impulsan y se comprometen con la construcción del socialismo próspero. Formando con calidad y eficiencia profesionales integrales, con profundo sentido humanista, competentes, cultos, portadores de nuestros valores y comprometidos con la Patria.[4]

Entre esas universidades, **La Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE**, contribuye al desarrollo sostenible de la sociedad cubana mediante la formación integral, continua y eficiente de profesionales de excelencia comprometidos con su Patria Socialista, la ciencia e innovación y la extensión universitaria; con alto impacto y racionalidad económica, liderazgo nacional y prestigio internacional en el campo de las ciencias técnicas. Siendo una universidad científica, tecnológica, culta y humanista que con alto prestigio en el entorno latinoamericano y desde su papel como centro Rector de las Ciencias Técnicas en el país es referencia en el desarrollo integral y uso de las nuevas tecnologías con impacto en el desarrollo económico, sociocultural y ambiental de Cuba.[4]

El proceso de formación de los estudiantes dentro de la universidad se divide en tres procesos fundamentales, docencia, investigación y extensión universitaria, conocidos como procesos sustantivos dentro de las instituciones de educación superior, también llamados como claves o principales, son los que inciden directamente en los objetivos estratégicos dentro de la formación y son críticos en el éxito de la organización.[5]

La investigación científica en la universidad cubana consiste en la búsqueda constante de actualización y desarrollo del conocimiento desde el propio proceso de formación, tanto en pregrado como posgrado, a través del contenido de las asignaturas y disciplinas, y la ejecución de tareas científicas por parte de profesores y estudiantes vinculados a diferentes proyectos de investigación que responden a problemas reales y prioridades que importan a la sociedad.[6]

La extensión universitaria es una actividad que busca generar activamente un impacto en el entorno. Su propósito no se limita a influir en los procesos internos de la universidad, sino también en su transformación, con el fin de ser un actor clave en el progreso de integración en la sociedad. Esta proyección social, junto con la extensión universitaria, complementa las funciones centrales de la docencia y la investigación. A través de estas acciones, la universidad puede asumir de manera integral su responsabilidad social, contribuyendo activamente al desarrollo y bienestar de la comunidad. [7]

La docencia constituye el proceso de enseñanza y aprendizaje a través del intercambio multidireccional de conocimiento entre la universidad, la comunidad y los diferentes actores sociales con el fin de salvaguardar y elevar el nivel cultural general de una sociedad, esto, a través de la investigación científica, por lo que este vínculo encuentra como base los resultados de la ciencia y la innovación tecnológica desde la novedad del conocimiento y la transformación práctica[8], resulta así la extensión universitaria el nexo adecuado para interrelacionar ambos procesos, además este fin procura estimular el desarrollo espiritual, intelectual y técnico de la nación, al proponer de forma imparcial y objetivamente soluciones a los problemas de interés general.[8].




*Gráfico 1: Diagrama de Venn de los procesos sustantivos universitarios.(Elaboración propia)*

El logro de la integración de las tres funciones sustantivas es necesario como objetivo institucional y permitirá articular el conocimiento con la reflexión colectiva, las teorías con la realidad y la actividad institucional con las necesidades de la sociedad, fortaleciendo el currículum y las actividades internas y externas de investigación y vinculación con la sociedad.[9]. Con este trabajo los autores se proponen analizar la vinculación de los tres procesos sustantivos utilizando como caso de estudio en el evento científico estudiantil "CHATARRERO", creado en la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, CUJAE, donde el estudiante vincula la teoría de las clases, la ciencia detrás del invento y como este llega a resolver un problema de la sociedad cubana actual.

## 2. INTEGRACIÓN EXTENSIÓN UNIVERSITARIA, DOCENCIA E INVESTIGACIÓN.

Para una universidad renovada acorde con las necesidades que se plantean en la actualidad es de vital importancia avanzar en la integración de los procesos sustantivos tomando como denominador común la extensión universitaria, al incluirla en los currículos universitarios y los planes de estudio de todas las áreas del conocimiento al procurar que dicha integración no neutralice su potencial transformador sino que lo vuelque hacia la transformación curricular y pedagógica, incluyendo el nivel de las relaciones educativas, los modelos pedagógicos, así como las concepciones y métodos de evaluación y acreditación de aprendizajes[10].

A nivel internacional existen valiosas experiencias en las que se manifiesta la integración de los procesos, a través de la extensión. Los autores Curtis y Mahon proponen una estrategia para la incorporación del aprendizaje experiencial en trabajos de cursos universitarios, mediante proyectos de extensión en el terreno, los resultados demostraron que los proyectos de trabajo estimulan a los estudiantes y proporciona valiosa información a sus proyectos de curso[11]

Por otro lado, Imperatore reseña a contribución de un proyecto de extensión universitaria online para la enseñanza de estudiantes en contextos reales, el autor llega a la conclusión de que los cursos dieron una contribución significativa a la enseñanza y explotar las potencialidades de los cursos para el perfil profesional y para la propia naturaleza de la institución[12].

La premisa para establecer proyectos extensionistas de impacto debe, en primera instancia detectar un problema de la institución o la sociedad, posteriormente el análisis del programa de estudio en cuestión para establecer relaciones interdisciplinarias viables. Una vez este proceso se encuentre consolidado, se

debe definir el tronco básico de la relación interdisciplinar, o sea la disciplina principal a la que deben contribuir los esfuerzos secundarios.

Los diferentes actores dentro de una universidad, como profesores, administrativos y estudiantes, juegan roles cruciales en la ejecución de los procesos sustantivos de docencia, investigación y vinculación con la sociedad. Cada uno de estos roles contribuye de manera única y esencial a la calidad y relevancia de la formación universitaria.

***Los profesores:*** son fundamentales en la docencia, ya que son quienes diseñan y llevan a cabo las experiencias de enseñanza-aprendizaje. Su papel es construir conocimientos y desarrollar capacidades y habilidades en los estudiantes, basándose en la interacción con ellos durante las clases y actividades extracurriculares. Además, los profesores también pueden participar activamente en la investigación, contribuyendo al avance del conocimiento en su campo de estudio. Esto significa que la investigación y la docencia están intrínsecamente ligadas, ya que los profesores pueden utilizar sus hallazgos de investigación para enriquecer sus lecciones y viceversa [13].

***Los administrativos:*** desempeñan un papel crucial en la gestión de los procesos sustantivos. Su labor incluye la planificación y coordinación de las actividades académicas, la gestión de recursos y la garantía de que las funciones de docencia, investigación y vinculación con la sociedad se realicen de manera eficiente y efectiva. Esto implica trabajar en estrecha colaboración con los profesores y estudiantes para asegurar que los programas académicos sean pertinentes y de alta calidad. Además, los administrativos pueden facilitar la articulación entre la teoría y la práctica, promoviendo la aplicación de los conocimientos adquiridos en situaciones reales [14].

***Los estudiantes:*** son actores activos en todos los procesos sustantivos. En la docencia, participan activamente en el proceso de aprendizaje, contribuyendo con sus preguntas y trabajos. En la investigación, pueden participar en proyectos de investigación bajo la supervisión de profesores, lo que les permite adquirir experiencia práctica en el ámbito científico. Finalmente, en la vinculación con la sociedad, los estudiantes pueden involucrarse en proyectos de extensión universitaria, aplicando el conocimiento adquirido para resolver problemas reales en la comunidad. Este tipo de participación no solo beneficia a la sociedad, sino que también enriquece la experiencia educativa de los estudiantes, preparándolos para ser ciudadanos socialmente responsables [15],[14].




*Ilustración 1 Diagrama representativo del entorno propicio para lograr el éxito de la integración en los procesos sustantivos universitarios.(Elaboración propia)*

En resumen, cada actor dentro de una universidad tiene un papel esencial en la ejecución de los procesos sustantivos. La interacción y cooperación entre profesores, administrativos y estudiantes son fundamentales para garantizar la calidad y relevancia de la formación universitaria, así como su impacto en la sociedad y la formación profesional de los mismos.

## 3. CASO DE ESTUDIO: CHATARRERO.

Haciendo una revisión a lo planteado en la proyección estratégica de la universidad en cuanto a sus estrategias tenemos que:

1- Desde área de la formación de pregrado se debe contribuir de forma continua a elevar la calidad y cantidad en la formación de profesionales donde sea imprescindible incrementar el rendimiento académico y lograr la formación integral de los estudiantes.
2- Desarrollar la investigación científica para la obtención de resultados (bienes o servicios) relevantes e impactos significativos a nivel nacional, sectorial, territorial (desarrollo local) y empresarial-institucional con énfasis en los programas de los sectores estratégicos del país, la exportación, la sustitución de importaciones y el desarrollo de nuevos proyectos de inversión extranjeras.
3- Incentivar el impacto de la extensión universitaria en la comunidad universitaria, el municipio, provincia y el país. Desarrollando la participación activa de trabajadores y estudiantes acciones extensionistas que aporten a los ingresos de la universidad o den respuesta a las necesidades sociales actuales, haciendo énfasis en el fomento de la cultura científica y técnica.

En la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, CUJAE de acuerdo a lo antes planteado, a finales de 2019 un grupo de profesores y estudiantes se preguntaban, ¿cómo incrementar el rendimiento académico, desarrollar la investigación científica (incluida la estudiantil) y se lograba un impacto en la comunidad? Surge así la idea de crear un espacio que vinculara estas tres ideas al mismo tiempo que introdujera y promocionara los principios fundamentales de la economía circular, el evento científico estudiantil *CHATARRERO*.

**¿En que consiste el evento científico estudiantil *CHATARRERO*?**

El evento fue concebido para darle una segunda oportunidad a todos los componentes y equipos que hoy son desechados, en donde el estudiante mediante el conocimiento adquirido en las asignaturas ya cursadas o las que cursara presente un nuevo dispositivo que pueda ser usado para explicar un fenómeno (aporte directo a la docencia), para mostrar que es el perfil del ingeniero eléctrico( aporte a la formación vocacional) o para ser utilizado por otro equipo que este defectuoso (aporte científico), todo siempre vinculado al beneficio y desarrollo de la sociedad.

Luego de sus dos primeras ediciones, la dirección de la FEU y la administración de la Facultad decidió que este evento se podía extender a todas las restantes facultades de la universidad bajo los conceptos del reciclaje y la reutilización, defendiendo el espacio donde los jóvenes y adolescentes desarrollen su creatividad a la vez que muestren los conocimientos adquiridos en las aulas, además que sirva para intercambio de experiencias y debata sus ideas respecto al desarrollo sostenible manteniendo el concepto de que todos los trabajos deberían estar relacionados con la rama energética.

Además, al final de cada edición se encuestó a ponentes, profesores y estudiantado en general para conocer el nivel de satisfacción del evento. Los resultados que se obtuvieron indican el aporte de este espacio a desarrollar la inventiva de los estudiantes, el impacto positivo del reto que constituye la creación de nuevos diseños a partir de componentes recuperados, fomenta el trabajo en equipo y la

gestión del conocimiento, los estudiantes sugieren extender el evento al resto de la universidad para que tenga más alcance y elevar el nivel de competitividad del mismo.

## 4. RESULTADOS

El proyecto CHATARRERO de la Facultad de Ingeniería Eléctrica constituye una propuesta de viabilidad de la integración, al integrar los procesos sustantivos, dando solución a problemáticas reales del entorno universitario.

**1era edición**

En la primera edición se presentaron 8 trabajos, todos pertenecientes a la propia facultad en su mayoría demostrativos, diferencia que se verá en las próximas ediciones en la cual son trabajos mayormente innovadores y funcionales. Los resultados fueron positivos, se puede destacar que principalmente su logro radica en crear los cimientos del proyecto, generar el interés del estudiantado, y permitir a los organizadores detectar los aspectos a mejorar, para crear una línea de trabajo lo más eficaz posible que resultara en el éxito de próximas ediciones.

**2da edición**

Con las buenas prácticas de la primera edición y el entusiasmo por diseñar su propio invento, la segunda edición se presentaron 12 trabajos (incluido 1 de preuniversitario) y 3 carritos eléctricos. Esta edición contó con la particularidad de tener como espectadores a los estudiantes de los preuniversitarios Eduardo García Delgado y Vilma Espín Guillois, lo cual sirvió para la formación vocacional de los interesados por convertirse en un profesional del sector eléctrico, es bueno resaltar que muchos de los espectadores catalogaron la experiencia como única y altamente educativa. Incluso varios se encuentran a día de hoy estudiando ingeniería eléctrica en la facultad.



*Imagen 1: Estudiantes de preuniversitario recorriendo las areas de la facultad*




*Imagen 2: Feria expositiva del evento Chatarrero*



*Imagen 3: Ponentes del evento*




*Imagen 4: Ponentes del evento*





*Imagen 5: Ponentes del evento*

**3ra edición**

En esta ocasión las creaciones fueron a otro nivel se lograron sumar 3 tres trabajos de facultades de automática y dos trabajos de preuniversitarios, además de los 12 trabajos presentados por estudiantes de la facultad.






**Convención de CUBAINDUSTRIA**

Debido a las relaciones universidad empresa a la facultad los organizadores del evento le dieron la posibilidad de presentarse en la Convención con sus trabajos, fueron elegidos 6 proyectos (por la calidad y la terminación de estos) y presentados 6 carritos.



*Imagen 6: Estudiantes presentando sus proyectos a los delegados de CUBAINDUSTRIA2024*




*Imagen 7: Representación de los ponentes del Chatarrero CUBAINDUSTRIA2024.*



*Imagen 8: Competencia de Rápido y Furioso*

La formación, además de llevarlo a vencer los objetivos por disciplinas y asignaturas de los currículos, contribuye a que el estudiante, con tareas extra clases y otras propias de ese proceso, pueda construir en colectivo una respuesta profesional adecuada ante nuevas situaciones.
Entre los resultados se destaca:

- Formación de aptitudes resolutivas, en un entorno de necesidades reales, donde debe poner su conocimientos y herramientas disponibles para brindar solución a problemas incluso con recursos limitados.
- Consolidación y puesta en práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, sumándole el factor económico para conducir al estudiante a un análisis costo/beneficio que es fundamental en una carrera de ingeniería.
- Preparación del estudiante para la realización del trabajo de culminación de estudios.
- Fomentar el trabajo en equipo además de las habilidades comunicativas del estudiante.

Los estudiantes que participaron en el evento quedaron más que satisfechos por los resultados, y este entusiasmo se encuentra presente desde la primera edición del chatarrero, algunas de las opiniones más repetidas afirman que es un evento en que los participantes tienen la oportunidad de aprender a utilizar las diferentes herramientas que se usarán a lo largo de la carrera por lo que lo convierte en una oportunidad de adquirir conocimiento adicional sobre las diversas asignaturas y su aplicación práctica, que motiva desde los primeros años y despierta una gran ilusión hacia la carrera al aportar ese sentimiento de crear algo útil para satisfacer necesidades además de que resulta muy divertido trabajar con compañeros hasta crear un proyecto funcional capaz de crear admiración en todo el que se detenga a observar. A demás de esto se aprecia como los profesores observan una notoria mejoría en cuanto al ingenio y técnica de los trabajos cada año.

## 5. CONCLUSIONES

Esta investigación demostró cómo, al integrar la investigación y la extensión con la docencia, se promueve no solo el crecimiento académico, sino también un compromiso con la realidad social, favoreciendo así una educación que responda a las necesidades del entorno. Esto fortalece la formación integral de los egresados y crea habilidades como el trabajo en equipo, la innovación, la creatividad y una mayor capacidad resolutiva. Utilizando el evento CHATARRERO de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría como caso de estudio, se ilustra cómo la integración efectiva de estas áreas puede impactar positivamente en el aprendizaje y desarrollo profesional de los alumnos. A lo largo de las tres ediciones del evento, se ha consolidado la formación integral del estudiante y se les ha motivado a continuar sus estudios. Para futuras ediciones, es necesario adoptar un enfoque que integre más disciplinas en la construcción de proyectos, posibilitando maximizar el alcance en la sociedad, fortaleciendo la vinculación Universidad-Sociedad.

## REFERENCIAS

[1] B. D. I. C. Y. Sociedad, «“Las universidades no solo deben formar individuos productivos para el mercado, sino también buenos ciudadanos”», LA MIRADA HUMANA. Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://institutoculturaysociedad.wordpress.com/2023/02/02/las-universidades-no-solo-deben-formar-individuos-productivos-para-el-mercado-sino-tambien-buenos-ciudadanos/

[2] «El-papel-de-la-universidad.pdf». Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/bitstream/CLACSO/16215/1/El-papel-de-la-universidad.pdf

[3] «(PDF) La universidad en la sociedad actual: aportaciones y limitaciones». Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/353056829_La_universidad_en_la_sociedad_actual_aportaciones_y_limitaciones

[4] «Ministerio», MES. Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.mes.gob.cu/ministerio

[5] G. A. Melians y L. M. Baute Álvarez, «La integración de los procesos sustantivos universitarios desde el proceso extensionista: una mirada a la teoría», *Rev.Cienc.Tecnol.*, vol. 20, n.º 27, jul. 2020, doi: 10.47189/rcct.v20i27.388.

[6] «Sánchez Paz - 2016 - Los procesos sustantivos de la universidad a favor.pdf».
[7] «5.+Lilian+Zárate+Rojas.pdf».
[8] N. Travieso Ramos, L. Bandera Sosa, N. Travieso Ramos, y L. Bandera Sosa, «Concepción integradora para la evaluación de impacto de los procesos sustantivos en la universidad médica de Santiago de Cuba», *MEDISAN*, vol. 24, n.º 6, pp. 1308-1323, dic. 2020.
[9] M. C. E. García, «Capítulo vii integración de las funciones sustantivas docencia–investigación–vinculación con la sociedad en la», *Formación del docente de educación superior y el compromiso social*, vol. 159, 2021.
[10] M. C. H. Valdés, R. C. Velar, y E. H. L. Rivera, «LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA COMO DENOMINADOR COMÚN DE LOS PROCESOS SUSTANTIVOS EN LA UNIVERSIDAD DE NUEVO TIPO», 2021.
[11] «Uso del trabajo de campo de extensión para incorporar el aprendizaje experiencial en los cursos universitarios».
[12] «Aprendizados em Projetos de Extensão Universitária sob a Perspectiva de Acadêmicos de Cursos EAD _ EaD em Foco».
[13] «Dialnet-ArticulacionDeLasFuncionesSustantivasDeLaEducacion-8385909.pdf».
[14] «articulacion.pdf».
[15] «2528-7907-rsan-43-00049.pdf». Accedido: 3 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rsan/n43/2528-7907-rsan-43-00049.pdf

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los estudiantes que han hecho posible la realización de las 3 ediciones del CHATARRERO, por el amor, dedicación y excelencia en cada uno de los trabajos, demostrando el gran talento que poseen.

## Sobre los autores

**Amanda Bárbara Bello Colomer**
Estudiante, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba. e-mail: amandabbe@electrica.cujae.edu.cu ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9566-1199

**Erika Sarahy Montenegro Morales**
Estudiante, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José AntonioEcheverría, Cujae. Cuba. e-mail: erikasamo@electrica.cujae.edu.cu ORCID: https://orcid.org/0009-0006-4002-2118

**Orestes Gabriel Osorio Rodríguez**
Ingeniero electricista, Profesor Instructor, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba e-mail: gosorio.rodriguez@electrica.cujae.edu.cu ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5182-4734

**Ernesto Alberto Alvarez**
Ingeniero electricista, Profesor Instructor, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba. e-mail: elavertoa@electrica.cujae.edu.cu ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5238-8324

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROYECTOS COMUNITARIOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS DESDE LA HISTORIA DE CUBA

**Niubis Bernarda Lahera Almeida[1], Pedro Eddy Campo Perales[2], Armando Benítez Santoya[3]**

[1] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, La Habana, Cuba.

[2] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, La Habana, Cuba.

[3] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, La Habana, Cuba.

[1]e-mail: niubis@icb.cujae.edu.cu
[2]e-mail: pcampos@icb.cujae.edu.cu
[3]e-mail: armando@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Resulta una necesidad de la sociedad cubana, la formación de profesionales comprometidos con su país, para lo cual es una premisa importante fortalecer la cultura histórica, que los eduque en los sentimientos de identidad nacional, así podrían comprender las transformaciones que deben acometer en beneficio del desarrollo sostenible del país. Los proyectos comunitarios se diseñan con el objetivo de la solución de las necesidades específicas sentidas por la comunidad. En ellos los estudiantes de ingeniería pueden realizar una importante labor al valorar los problemas técnicos de cada región o país y proponer soluciones factibles. En ese proceso de formación de los ingenieros deben integrarse conocimientos tecnológicos y valores históricos, para su actuación en un contexto social. La formación de la cultura juega un rol fundamental en el proceso educativo del futuro profesional, si se tiene en cuenta que el campo de acción del ingeniero no se relaciona únicamente con el conocimiento científico y tecnológico, que adquiere durante sus años de estudio. Está inmerso, además, en una realidad compleja que él debe comprender y conocer en su totalidad para optimizar el ejercicio de su profesión en función del bienestar integral de la sociedad y el medio natural donde se desenvuelve. Esto exige conocer la sociedad y su historia, así como el medio ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** cultura histórica, ingeniería, formación científico técnica.

# COMMUNITY PROJECTS IN THE TRAINING OF ENGINEERS AND ARCHITECTS SINCE THE HISTORY OF CUBAN

**ABSTRACT**

A need of the society proves to be Cuban, the formation of professionals compromised with his country, for which is an important premise to strengthen the historic culture, that he educate them in the sentiments of national identity, thus they would be able to understand the transformations that they must undertake in benefit of sustainable development of the country. They design the communal projects for the sake of the solution of specific needs felt by the community. In them, the students of engineering can accomplish an important work when appraising the technical problems out of every region or country and proposing feasible solutions. Know-how and historic moral values, for his acting in a social context must integrate in the engineer's that process of formation. The formation of culture, play a fundamental role in the educational process of the professional future, if it is had in account that the range of activity of the engineer does not relate with only scientific and technological knowledge, that he acquires during his years of study. He is immersed, besides, in a complex reality that he must understand and knowing completely to optimize the exercise of his profession in terms of integral well-being of the society and the natural midway where it becomes unwrapped. This demands knowing the society and its history, as well as the ambient midway.

**KEY WORDS:** historic culture, engineering, scientific technical formation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El profesional de ingeniería juega un papel fundamental en cualquier sociedad y en especial en Cuba ya que su rol es relevante no solo para el desarrollo económico sino además para el desarrollo social del país. Debe combinar competencias tecnológicas y humanistas y actuar con responsabilidad profesional. En su actividad profesional constantemente crea, utiliza, desarrolla o transforma radicalmente un conjunto de tecnologías para beneficio de la sociedad.

Las necesidades económicas y sociales de una región o país, contribuyen a determinar el uso adecuado de los adelantos científico técnico, aunque los factores políticos, culturales, así como los valores que se desarrollen en los futuros ingenieros, pueden detener, frenar o acelerar el desarrollo tecnológico.
Los proyectos comunitarios, formar parte del proceso de formación de ingenieros al sensibilizar a los estudiantes con su región, localidad o país y valorar los problemas o necesidades de los pobladores y analizar las posibles soluciones técnicas en correspondencia con el momento histórico, el lugar en que se aplique y las condiciones medio ambientales.

El objetivo del presente trabajo es argumentar la importancia de los proyectos socioculturales como método de enseñanza de la Historia de Cuba en la formación de ingenieros en Cuba.

## 2. DESARROLLO

### El proceso de formación de la cultura histórica

La historia, como ciencia, reviste gran importancia para conocer la historia de las civilizaciones y su evolución en el tiempo, constituye una dimensión esencial de la cultura de los pueblos. “La historia es el registro de la larga memoria de la humanidad.” [1] Esta requiere un análisis con enfoque optimista y demostrativo del sentido progresivo de los procesos históricos que no siempre avanza en sentido lineal, sino que en ocasiones experimenta retrocesos, para luego continuar la tendencia progresiva. Estas regresiones a veces, abarcan períodos largos.

La historia “estudia el cambio y la permanencia en las experiencias humanas a lo largo del tiempo en diferentes espacios. Su objeto de estudio es la transformación de la sociedad y la experiencia humana en el tiempo. Su propósito es comprender las causas y consecuencias de las acciones del ser humano por medio del análisis de los procesos económicos, políticos, sociales y culturales que se han gestado en el tiempo y en el espacio del devenir de la humanidad.” [2]

Esta es la definición que se asume en el presente trabajo, al valorar la historia en disimiles aspectos de la vida social del hombre y en su relación con la naturaleza, en especial la historia de la ciencia, la tecnología y la ingeniería, como parte importante de la historia y su desarrollo.

Hay que comprender la historia como relación dialéctica, pasado, presente y futuro, con un importante valor cognoscitivo para explicar el desarrollo de la sociedad y reflexionar sobre el pasado, entender el presente y proyectarse hacia el futuro con voluntad transformadora. La historia aporta una visión de pasado, no se reduce a reproducir el pasado, sino a analizarlo, comprenderlo y decodificar los documentos acerca de las experiencias de algunos autores confrontándolos con otras fuentes y valorándolos desde diferentes ópticas para poder llegar a la verdad histórica.

Es importante hacer referencia a algunas valoraciones que se han realizado sobre la historia. Carlos Marx, en sus “Tesis sobre Feuerbach”, expresa que: “la primera premisa de toda existencia humana y también, por tanto, de toda historia, es que los hombres se hallen, para hacer historia, en condiciones de poder vivir.

Ahora bien, para vivir hacen falta ante todo comida, bebida, vivienda, ropa y algunas cosas más. El primer hecho histórico es, por consiguiente, la producción de medios indispensables para la satisfacción de estas necesidades.” [3]

Se concibe al hombre como un elemento activo de su propia historia y del desarrollo de la sociedad en que vive, que tiene la necesidad de satisfacer las necesidades de sobrevivencia, lo cual le permite tanto el desarrollo individual como colectivo. Al reconstruir su historia nacional de acuerdo con su trascendencia, contribuye con su actuar a dejar huellas en sus sucesores que influyan en la proyección futura de la historia nacional.

En ese mismo sentido, se valora la ingeniería como actividad humana que tiene su historia desde la aparición del ser humano hasta su configuración actual. El hombre construyó instrumentos, desarrolló técnicas de supervivencia, fue el ingeniero de su época; no tuvo que esperar a que hiciera su aparición la ciencia para producir lo que necesitaba. La ingeniería, en sus expresiones ancestrales primogénicas, resolvió paso a paso los problemas vitales para la subsistencia de la humanidad.

A través de la historiografía marxista se puede analizar la historia de una forma más integral y dialéctica en el entramado de todas las interacciones que se producen en la sociedad, como resultado de la influencia de diferentes factores que convergen en la sociedad y que influyen en su desarrollo, destacándose la ingeniería, por el papel que ha jugado a lo largo de todo el desarrollo de la humanidad, como ámbito del quehacer del hombre para resolver problemas fundamentales de supervivencia y transformar las condiciones adversas del medio natural, aspecto este de interés en el presente trabajo.

Precisamente, debido a que la historia de la humanidad ha estado estrechamente relacionada con la ingeniería es que se expone la necesidad de consolidar la formación de la cultura histórica en los ingenieros si se tiene en cuenta que la historia permite: “el descubrimiento de los nexos objetivos pasado presente futuro que constituye la base del principio del historicismo, según el cual cada fenómeno o proceso debe ser estudiado en su movimiento y desarrollo, desde las premisas que anteceden a su surgimiento, las condiciones en que se desenvuelve, los vínculos con otros fenómenos que en alguna medida pueden influir en el curso de su desarrollo futuro.” [4]

En este orden de análisis, el historiador Jorge Ibarra plantea: “La historia no ha pretendido nunca aportar soluciones a los hombres del presente, sino tan solo ponerlos en condiciones de pensar en sus problemas actuales revelándoles la dialéctica de los cambios en el tiempo.” [5]

Estos elementos sirven de base a la concepción de la cultura histórica, para entender el papel que ha jugado la ingeniería a lo largo de la historia. Es un factor crucial: cuando el hombre descubrió la forma de encender y conservar el fuego, hizo ingeniería, lo mismo cuando inventó la rueda, el acero, el bronce y tantos otros productos que hoy se usan. Todos ellos fueron avances de la ingeniería estrechamente asociados a la historia de la humanidad.

El concepto “cultura histórica”, comenzó a utilizarse de manera más o menos generalizada a partir de la década de 1970, sobre todo para definir determinados trabajos de historiadores anglófonos (ingleses y estadounidenses) y francófonos (franceses), tales como Jörn Rüsen, María Grever y Bernard Guenée
Desde fines del siglo XX, la valoración de la cultura histórica alcanza una mayor dimensión, al tener en cuenta todo un campo de estudios humanísticos al que se dedican asignaturas, programas universitarios específicos de pregrado o de postgrado y de centros de investigación. Los estudios sobre cultura histórica y la memoria histórica, se han convertido en un prolífico ámbito interdisciplinar en el que confluyen filósofos, historiadores, teóricos de la literatura, sociólogos, antropólogos y estudiosos de la historia social de la ciencia y la tecnología.

El concepto de cultura histórica que se asume en este trabajo es el aportado por María López, quien la define como: “Una construcción histórico-social de carácter cultural basada en conocimientos, habilidades, tradiciones y valores que permiten a los sujetos comprender los hechos, procesos, fenómenos del pasado y su relación con el presente, lo cual identifica que la formación orientada a este fin, no solo sustenta un enfoque epistemológico del contenido que lo conforma, sino incluye la noción de identidad, pertenencia y trascendencia de los hechos, procesos, fenómenos y personalidades del pasado, el presente y el futuro.” [6]

La cultura histórica es una categoría de estudio más abarcadora que la de historiografía, ya que no se circunscribe únicamente al análisis de la literatura histórica académica. La perspectiva de la cultura histórica se proyecta a investigar todos los estratos y procesos de la conciencia histórica- social, presta atención a los agentes que la crean, los medios por los que se difunde, las representaciones que divulga y a la recepción creativa por parte de cada persona.

Los estudiantes de ingeniería como grupo social, tienen características específicas y una cosmovisión del mundo muy particular, la cultura histórica del ingeniero adquiere nuevos rasgos, se define como: "una construcción histórico-social y científico-técnica de carácter sociocultural basada en conocimientos, habilidades, tradiciones y valores que permitan a este profesional comprender con sentido de identidad nacional, los hechos, procesos, fenómenos del pasado de la historia social de su profesión y su relación con el presente para proyectar su deber ser como profesional y ciudadano. [7]

El concepto de cultura histórica del ingeniero se apoya en la concepción dialéctica materialista del mundo y contempla los valores materiales y espirituales producidos por el hombre en su actividad científico-técnica, económica, política, social y cultural a nivel universal, nacional, regional y comunitario. Favorece la comprensión de la responsabilidad social e individual del ingeniero, para que no solo asuma los valores trasmitidos por sus antecesores, sino que desarrolle y transforme la realidad y se forme en el sentimiento de su deber con la historia.

La cultura histórica se debe forma a lo largo de todo el proceso de formación del ingeniero a través de acciones pedagógicas que integren a los tres procesos sustantivos de la Universidad, formación, investigación y extensión. Es importante la participación activa de toda la comunidad universitaria en estrecha relación con la sociedad.

Significativa importancia tiene revelar el alcance del término "formación", el cual ha sido tratado por numerosos pedagogos cubanos y extranjeros. Al respecto Martínez Llantada plantea: "Es preciso formar una actitud reflexiva crítica, competente, que ponga el conocimiento en la acción, es importante la relación de la teoría con la práctica y el vínculo ciencia-docencia y la consideración de la interdisciplinariedad" [8]

Se coincide en la necesidad de formar un hombre activo capaz de transformar el medio porque posee los conocimientos científico- tecnológicos para hacerlo, con creatividad para ofrecer soluciones tecnológicas que sean sostenibles y promuevan el desarrollo estable del país.
En la pedagogía cubana, la formación del hombre se concibe, como "el resultado de un conjunto de actividades organizadas de modo sistemático y coherente, que le permiten poder actuar consciente y creadoramente. Formar al hombre es prepararlo para vivir en la etapa histórica concreta en que se desarrolla su vida." [9]

El proceso de formación con una visión dialéctica materialista con énfasis en el desarrollo de la personalidad de los estudiantes desde un enfoque histórico- cultural, para darle la oportunidad de producir transformaciones sociales, en las que se armonicen los intereses profesionales con los personales en beneficio de la sociedad en que vive.

A partir de los referentes teóricos vigotskianos, la pedagogía cubana, plantea que la educación desarrolladora es la que conduce al desarrollo, va delante del mismo, lo guía, orienta, estimula y se aplica en la práctica pedagógica, en el proceso de enseñanza- aprendizaje desarrollador, que se expresa como "aquel que constituye un sistema donde tanto la enseñanza como el aprendizaje como subsistemas, se basan en una educación desarrolladora, lo que implica una comunicación y actividad intencionales, cuyo accionar didáctico genera estrategias de aprendizajes para el desarrollo de una personalidad integral y autodeterminada del educando." [10]

En Cuba, la formación de la cultura histórica ha sido objeto de investigación por autores de diferentes especialidades: historiadores, pedagogos, politólogos y filósofos. Entre los más representativos se encuentran el historiador, Díaz Pendás quien señala "la cultura histórica debe ser un componente esencial

de la cultura general integral de todo educador cubano y debe caracterizarse por el diálogo, la búsqueda, el espíritu de indagación, el debate, el ejercicio del criterio argumentado." [11]
Otros autores, como Fernando Ortiz [12], Julio Le Riverend [13] y Eduardo Torres [14], se refieren a la memoria histórica que debe formarse en los jóvenes, la que constituye una parte importante de la cultura histórica.

Se comparte también esta idea sobre la importancia de valorar la memoria histórica como parte importante de la cultura histórica. Sí se analiza que la memoria histórica se refiere a la facultad que tienen los hombres para conservar los acontecimientos, los fenómenos, los sentimientos, los ideales, las normas, las costumbres y los valores autóctonos, genuinos que caracteriza una nación y trasladarlos al plano de la conciencia histórica.

Particular importancia adquiere la investigación realizada por Adalys Palomo y Manuel Romero, en la formación de la cultura histórica en los momentos actuales en el trabajo titulado "Enseñanza de la Historia para la escuela actual", en el que se define la formación de la cultura histórica como: "Todos los valores materiales y espirituales producidos por el hombre en su actividad histórico-social, y que constituye el legado generacional de su actividad económica, política, social y cultural a nivel universal, nacional, regional y comunitario, tomando como base el conocimiento histórico de las diferentes épocas por las que ha transitado la humanidad." [15]

Las definiciones precedentes tienen como elementos comunes la integración de valores, la formación de juicios, los criterios y valoraciones en los individuos, tomando como base el conocimiento histórico, aspectos estos, que se consideran esenciales en la formación de los profesionales de ingeniería.

En la formación de ingenieros es importante desarrollar la memoria histórica, incorporándole la posibilidad del debate de los estudiantes sobre la proyección futura, del estudio del pasado a partir de hechos, procesos y fenómenos, con el protagonismo de los actores de la historia y que puedan investigar y buscar la conexión entre los conocimientos de la ciencia y la tecnología, así como la historia del país.
La "formación de la cultura histórica en los ingenieros" se asume como: "un proceso pluridimensional, intencional e integrado que contribuye a la creación de una identidad propia en este profesional, de un compromiso ético con el devenir histórico del país y de la profesión; y al desarrollo de su personalidad a través del redimensionamiento de lo histórico." [16]

Es insuficiente el trabajo realizado con las nuevas generaciones respecto a la integración de conocimientos, habilidades y valores de la cultura histórica en la formación profesional, si se tiene en cuenta la función social del ingeniero y la necesidad que tiene de poseer competencias tecnológicas y humanistas que le permitan actuar ajustándose a las condiciones históricas de su país. De su responsabilidad profesional dependerá el éxito de la tecnología que aplique para el desarrollo económico-social próspero y sostenible de la sociedad cubana.

La formación profesional como proceso responde a un contexto histórico social determinado, el que demanda requerimientos pedagógicos en concordancia con las características de cada carrera y la valoración de los motivos e intereses de los estudiantes. En la medida en que se hagan coincidir las necesidades individuales de los estudiantes con las necesidades sociales, el proceso de enseñanza-aprendizaje será más efectivo, porque como escribiera José Martí, "todo esfuerzo por difundir la instrucción es vano cuando no se acomoda la enseñanza a las necesidades, naturaleza y porvenir del que la recibe." [17]

Se precisa la necesidad de la consolidación de la formación de la cultura histórica en los estudiantes de ingeniería, debido a la carencia que ha existido de aristas históricas en las percepciones sobre la ciencia y la tecnología, así como en las valoraciones sobre la evolución de las diferentes profesiones en Cuba y en el mundo. Esas carencias provocan que, en ocasiones, sin pleno conocimiento de causa se mistifique a la tecnología, sin tener en cuenta la estrecha relación que existe entre la ciencia, la tecnología y la historia de las profesiones con su contexto histórico social.

Estas reflexiones conducen a la necesidad de acometer la consolidación de la formación de la cultura histórica en los estudiantes de ingeniería, concepto que se ha definido como un proceso integrador, que parte del aspecto cognitivo de la cultura histórica en su más amplio sentido, y genera conocimientos, habilidades, sentimientos, valores y convicciones desde el propio currículo del profesional de ingeniería, y propicia el desarrollo motivacional y afectivo de la personalidad del estudiante.

Este análisis permite relacionar la cultura histórica con otras disciplinas del plan de estudio y tener en cuenta la interdisciplinariedad como resultado de la multidimensionalidad del proceso pedagógico que exige el análisis de los problemas desde diferentes planos y aristas.
La interdisciplinariedad se manifiesta por medio de múltiples interrelaciones y a través de los diferentes métodos pedagógicos. En la medida en que los conocimientos se utilicen en la solución de problemas, de demandas sociales, se convertirán en valores.

La comprensión del carácter social de la tecnología contribuye a una adecuada utilización de la misma, acorde con las condiciones económicas, sociales, históricas y medioambientales del lugar en que se aplique. Contribuye también “el conocimiento de las contradicciones que revela el progreso tecnológico, como un proceso ambivalente y contradictorio por los diferentes enfoques interpretativos y contrapuestos que se hacen del fenómeno tecnológico”. [18]. Ayuda el desarrollo de una conciencia crítica y reflexiva que facilite el análisis multidisciplinario de los diferentes procesos tecnológicos que le corresponda dirigir.

La cultura histórica, es una vía para lograr una formación más integral del ingeniero, en la medida en que se tenga plena conciencia de cómo la cultura histórica aporta conocimientos, habilidades y valores que influyen de forma determinante en el uso que se haga de las tecnologías de acuerdo con los intereses que motivan su empleo. Los métodos de análisis histórico permiten reflexionar y valorar de forma crítica qué tecnología puede ser útil a la sociedad y al mismo tiempo, qué tecnologías pueden causar daños irreversibles al ecosistema.

**La consolidación de la cultura histórica a través de los proyectos comunitarios**

Las universidades, por su propia esencia, son promotoras de la cultura en el más amplio sentido de la palabra. No solo las manifestaciones artísticas, sino toda la cultura atesorada por la humanidad, incluyen de un modo esencial la cultura de cada una de las profesiones. “La extensión universitaria, vista desde esta perspectiva, aparece ahora como el tercer eslabón de la tríada preservación -desarrollo- promoción.” [19]

La cultura histórica que se promueve a través de la extensión universitaria, se enriquece en el intercambio cultural que tiene lugar entre la comunidad universitaria y la extrauniversitaria. La comunidad universitaria aporta los conocimientos científico- técnicos recibidos en el proceso de formación y la comunidad extrauniversitaria aporta la historia oral que también enriquece el conocimiento histórico de los hechos y hace más real y palpable la historia.

Los procesos sustantivos de la universidad no deben verse separados unos de otros, realmente constituyen una unidad dialéctica, se presentan unidos: “Sin la integración de la investigación y la formación no existe calidad de la última, producto de la dinámica del desarrollo científico -técnicos y del proceso de informatización actual, que hace que la apropiación del saber siempre parcial, se ejecute mediante el desarrollo de habilidades investigativas que se convierten, de hecho, en tarea docente.” [20]

La extensión universitaria, sin la investigación de su gestión, quedaría muy limitada si se tiene en cuenta que la labor sociocultural es un proceso indagatorio y por tanto transformador de realidades sociales que muchas veces se ejecutan mediante la investigación. Al mismo tiempo, la extensión promueve la cultura atesorada por la sociedad y parte del proceso de formación.

Acciones pedagógicas realizadas en la Cujae, para consolidar la formación de la cultura histórica., se efectúan desde los tres procesos sustantivos de la universidad:

**En formación:** al establecer una estrecha relación entre la historia de la profesión y la Historia de Cuba para lograr la adecuada actuación de los hombres en la sociedad, acorde con las condiciones del desarrollo económico, científico técnico, político, social y del medio ambiente.

**En investigación:** para desarrollar la identidad profesional, se realizan investigaciones científicas en la que participan estudiantes y profesores que vinculen las diferentes disciplinas con su historia.
**En extensión:** se hace énfasis en las acciones extensionista argumentadas porque tiene como una de las formas de realización; los proyectos socioculturales, donde se vincule la historia local con los avances de la ciencia y la tecnología. Además de se hacen diagnósticos de los principales problemas que plantea la comunidad con la aplicación de las tecnologías, en la solución de problemas cotidianos y se realizan propuestas de posibles soluciones a las instancias de gobiernos municipales. [21]

La cultura histórica que se promueve a través de la extensión universitaria, se enriquece en el intercambio cultural que tiene lugar entre la comunidad universitaria y la extrauniversitaria, con importantes aportes de la historia de la localidad que hacen sus pobladores.
**Acciones realizadas: s**e realizó un trabajo educativo para promover la participación de los estudiantes en Fórums de Historia y Jornadas Científica- Estudiantiles, con trabajos de investigación sobre el vínculo entre la Historia de Cuba y la profesión en los que se alcanzaron premios a nivel de universidad, provincia y nación.

Se logró establecer una relación entre los proyectos de investigación y sus impactos en la comunidad. Los estudiantes realizaron investigaciones acerca de las necesidades de los municipios de residencia, en lo referente a los problemas tecnológicos que se relacionan con su profesión.
Se realiza trabajo metodológico interdisciplinario entre los profesores de la Disciplina Principal Integradora y la Historia de Cuba para evaluar en el trabajo final de la práctica laboral investigativos aspectos de la cultura histórica de los estudiantes.

En la práctica laboral investigativa, se tuvo en cuenta las experiencias prácticas de los trabajadores, especialistas y actores de la comunidad para ampliar los conocimientos técnicos, vivencias personales y sus valores al vincularse más a los problemas de la sociedad.

Proyectos de ingeniería de carácter sociocultural, con la participación de estudiantes y de actores de la comunidad en actividades que permite valorar las experiencias de los actores comunitarios en las obras ingenieriles que se ejecutan.

## 3. CONCLUSIONES

Los proyectos socioculturales tienen una gran importancia en la formación profesionales con conocimientos prácticos de los problemas profesionales que se presentan el contexto histórico social del país. Los profesores, estudiantes y actores comunitarios interactúan para lograr una identidad profesional y aprovechar las experiencias adquiridas a través de los proyectos socioculturales.

## REFERENCIAS

1. DÍAZ-PENDÁS, Horacio. *La enseñanza de la Historia. Selección de lecturas*. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2002.
2. SEP. Secretaria de Educación Pública (México). Aprendizajes claves para la educación integral. Plan y programas de estudio para la educación básica. Disponible en Web: https://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/10933/1/imagens/aprendizajes
3. MARX, Carlos y ENGELS, Federico. *Prólogo de la Contribución a la Crítica de la Economía Política.* Obras Escogidas. Tomo I. Moscú: Editorial Progreso, 1973.
4. MILIA, Armando. "La historia local con enfoque de historia social en la formación inicial del profesor de Marxismo-Leninismo-Historia." Tesis de doctorado, Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, 2013.

5. IBARRA, Jorge. *Los variados caminos de la historia*. Ciudad de La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 2011.
6. LÓPEZ, María. "La asignatura de Historia de la Educación en la formación de profesores: Una propuesta curricular en el Instituto Superior Pedagógico de Cienfuegos." *Revista Electrónica "Conrado Benítez García"*, 1999, núm. 33, pp. 184-192.
7. LAHERA-ALMEIDA, Niubis Bernarda. "Concepción metodológica para la consolidación de la formación de la en los estudiantes de ingeniería." Director: Nurys Batista Tejeda. Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2018.
8. MARTÍNEZ, Manuel. *Razones para un cambio de concepción en la formación del profesorado en Cuba. Nuevos caminos en la formación del profesional en Cuba.* Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2003.
9. BÁXTER, Esther; AMADOR, Amelia; BONET, Martha. *Compendio de Pedagogía*. Ciudad de La Habana: Editorial Félix Varela, 2008.
10. ADDINE, Fátima. "La didáctica. Una visión histórica desde su desarrollo en la Varona". *Revista Varona,* 2008, núm. 47, pp. 82 - 88.
11. DÍAZ-PENDÁS, Horacio. Díaz, H. *A propósito del conocimiento de la historia como componente esencial de la Cultura General Integral de todo educador.* En 7mo Seminario Nacional para Educadores. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2006.
12. ORTIZ, Fernando. "Los Factores Humanos de la Cubanidad." *Revista Bimestre Cubano*, 1940, vol. XIV, núm.2.
13. LE RIVEREND, Julio. "La Historia del pensamiento antiimperialista cubano." 1948. Disponible en Web: https://www.revistabrijim.cu/index.php/revistabncjm/artiecle/viewfile/451/469
14. TORRES-CUEVAS, Eduardo. *La creación de la memoria histórica colectiva. En busca de la cubanidad.* Tomo II. Ciudad de La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 2006.
15. PALOMO, Armando; ROMERO, Manuel. "Enseñanza de la Historia para la escuela actual." En acta de Evento Pedagogía 2007. Ministerio de Educación (Cuba), 2013.
16. LAHERA-ALMEIDA, Niubis Bernarda. "Concepción metodológica para la consolidación de la formación de la en los estudiantes de ingeniería." Director: Nurys Batista Tejeda. Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2018.
17. MARTÍ, José. *Obras Completas.* (Edición crítica) Tomo IV. Ciudad de La Habana: Editorial Centro de Estudios Martianos, 2015.
18. DÍAZ-CABALLERO, José Ricardo *"¿Hacia dónde va la Tecnología?"* Ciudad de La Habana: Editorial Científico Técnica. La Habana, 2011.
19. GONZÁLEZ, Maritza. "Formulación teórico-metodológica de la promoción cultural de la investigación para la integración de los procesos universitarios de extensión e investigación." Tesis de doctorado, Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, Ciudad de La Habana, 2006.
20. GONZÁLEZ, Maritza. "Formulación teórico-metodológica de la promoción cultural de la investigación para la integración de los procesos universitarios de extensión e investigación." Tesis de doctorado, Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, Ciudad de La Habana, 2006.
21. GONZÁLEZ, Gil y FERNÁNDEZ-LARREA, Mercedes. "La Gestión Universitaria: Una aproximación desde la perspectiva cubana." *Revista Cubana de educación Superior*, 2003, núm. 2, pp. 18 - 22.

**Sobre los autores**

Niubis Bernarda Lahera Almeida: Universidad Tecnológica de La Habana, metodóloga de Extensión universitaria en el Instituto de Ciencias Básica, profesora de Historia de Cuba y ciencias sociales. Profesora consultante Profesora Auxiliar y Doctora en Pedagogía. Miembro de la Unión de Historiadores de Cuba UNHIC. Miembro de la Asociación de Historiadores Latinoamericanos y del caribe (ADHILAC) 2019.Ha ocupado diferentes responsabilidades en su vida laborar dentro de la que se destacan.:
Jefa de la Disciplina Historia de Cuba. 2002- 2007. En la CUJAE

Subdirectora de la Dirección de Marxismo-Leninismo 2007-2017.CUJAE.
Miembro de la Comisión Nacional para el Perfeccionamiento de la Enseñanza de Historia de Cuba en el 2000
.

Pedro Edy Campos Perales: Universidad Tecnológica de La Habana, profesor de Historia de Cuba y ciencias sociales. Profesor Auxiliar y Doctor en ciencias de la Educación. Miembro de la Unión de Historiadores de Cuba UNHIC, de la Asociación Latinoamericana de Historia ALAHIS, de la Red Iberoamericana de Pedagogía REDIPE y de la Sociedad de Investigaciones Filosóficas de Cuba SIF.

Armando Benítez Santoya: Universidad Tecnológica de La Habana, profesor de Ciencias sociales. Profesor Auxiliar y Doctor en Ciencias Políticas. Miembro de la Unión de Economistas de Cuba ANEC, coordinador del diplomado de adiestrados de la CUJAE, jefe de la asignatura Teoría Sociopolítica de la Dirección de Historia y Marxismo-Leninismo de la CUJAE.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LOS ESTUDIOS MARTIANOS EN LA UNIVERSIDAD DE LA HABANA (1941-1962)

**David Hernández Duany**
Dirección de Eventos Culturales. Universidad de La Habana, Dr. en Ciencias de la Educación
dhduany@gmail.com

**RESUMEN**

Conformamos este trabajo con el objetivo de exponer el inicio de los ciclos de conferencias del Seminario Martiano de la Universidad de La Habana. Se presenta el trabajo de la Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano de la Universidad de La Habana. En él se describe la relevancia del trabajo de los Grupos Infantiles y Juveniles Martianos organizados por la Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano de La Universidad de La Habana. Se muestra además, la labor del museo martiano, fundado en el sitio donde cumpliera la condena de trabajos forzados el joven José Martí. Asimismo, se precisa la significación del traslado de las conferencias martianas para la pinacoteca recién inaugurada con este objetivo. Se socializa la historia de un proceso exitoso, que demostró la valía de la extensión universitaria. Se muestra el impacto en la enseñanza general de los estudios martianos de la Universidad de La Habana.

**PALABRAS CLAVES:** Universidad de La Habana, estudios martianos, conferencias.

# MARTIAN STUDIES AT THE UNIVERSITY OF HAVANA (1941-1962)

**ABSTRACT**

We created this work with the objective of exposing the beginning of the conference cycles of the Martiano Seminar of the University of Havana. The work of the Association of Alumni of the Martiano Seminary of the University of Havana is presented. The relevance of the work of the Martí Children's and Youth Groups organized by the Association of Alumni of the Martí Seminar of the University of Havana is described. The work of Martí's museum is shown, founded on the site where the young Martí served his sentence of forced labor. The significance of the transfer of Martí's lectures to the recently inaugurated art gallery is specified. The story of a successful process is socialized, which demonstrated the value of university extension. The impact on the general teaching of Marti studies at the University of Havana is shown.

**KEY WORDS:** University of Havana, Martí studies, conference.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los m omentos actuales, la educación se potencia aún más como un elemento esencial del desarrollo y de los avances económicos a nivel mundial, garante del profesional competente y humanista demandado en nuestros días.

Por tal razón, en instantes en que se introducen significativos adelantos científico-técnicos transformadores de la vida de los ciudadanos, se imponen iniciativas innovadoras, eficientes y efectivas en los procesos formativos, acompañadas del perfeccionamiento constante de los recursos humanos, para garantizar el éxito en la labor pedagógica.

En una de sus intervenciones en la V Legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular, en diciembre de 1998, el presidente de los Consejos de Estado y de Ministros de la República de Cuba Fidel Castro Ruz (1998) expresó: “Vivimos en un mundo interesante, excepcional, un mundo en plena fase de

globalización que trae problemas tremendos y desafíos inmensos, nuestro mayor interés es que nuestro pueblo en su conocimiento, en su cultura y sobre todo en su conciencia política y científica, se encuentre preparado para ese mundo que se nos encima a pasos de gigante" [1]. Estas reflexiones son la tesis fundamental de la política educacional cubana y mantienen absoluta vigencia después de más de veinte años de dadas a conocer por el más grande de los cubanos.

En los momentos actuales el papel de la historia como ciencia aporta a los profesionales en formación los recursos cognoscitivos para valorar el presente y decidir sobre el futuro. Por tal motivo, la noción martiana de que el único modo de ser libre está enlazado a la instrucción y la cultura resulta relevante y tiene plena vigencia, porque José Martí es figura esencial, con su legado intelectual y con su práctica revolucionaria. Todas las formas en que se contribuya a mantener su vigencia, no solo tienen actualidad sino importancia capital para la educación.

La Universidad de La Habana ha desempeñado un rol notable en la construcción social del símbolo martiano a partir de su vida y obra. La presente ponencia aborda el impacto de este proceso en el período de tiempo, (1941-1962), por su carácter fundacional, para desentrañar sus claves y ofrecer un modelo de actuación académica –particularmente, extensionista– dada su vigencia.

Son muchos los estudiosos de la vida y la obra de José Martí que entretejen su legitimación a la luz de sus resultados científicos. Pero son aún escasos los esfuerzos por exponer la historia de los estudios martianos, sobre todo en la Universidad de La Habana.

La aspiración de vivir en un mundo en que prevalezca el respeto a la dignidad plena del hombre, la solidaridad y el bienestar general, en que la noción de "vivir bien" sea sustituida por la de "buen vivir" y el apego a valores humanistas vuelve a poner énfasis en la tarea educativa… aún en la era posmoderna. Ante tal realidad, hacen falta los maestros que "eduquen al hombre para la vida". La instrucción tiene que ceder espacio a la educación. Y ello lleva un infatigable trabajo de perfeccionamiento de la labor docente-educativa.

## 2. DESARROLLO

### Los ciclos de conferencias del Seminario Martiano

El año 1941 marca el inicio de una etapa introductoria de los estudios martianos en la Universidad de La Habana. Para llegar a ese momento transcurrieron más de 45 años desde su caída en combate, período en el que se dio a conocer a través de sus escritos su pensamiento revolucionario y antimperialista, su capacidad para organizar una guerra y todo el legado que lo convirtió en uno de los hijos más universales nacidos en Cuba.

El 17 de noviembre de 1941 se instituyen los ciclos de conferencias del Seminario Martiano. El profesor a cargo de impartirlas fue el Dr. Gonzalo de Quesada y Miranda, quien por entonces formaba parte de la plantilla de trabajadores de la Facultad de Filosofía y Letras, y ocupaba desde el año 1925 el cargo de responsable de Estudios Martianos, según consta en su expediente laboral.

La cercanía profesional a la dirección de la Facultad y a las máximas autoridades universitarias le permitieron proponer al decano Roberto Agramonte, y al rector Rodolfo Méndez Peñate, la introducción en el centro de los cursos libres para estudiar la vida y la obra del Héroe Nacional, los que fueron asesorados en sus inicios por la Comisión de Extensión Cultural de la Facultad de Filosofía y Letras, aunque no eran considerados cursos oficiales de la mencionada comisión. Desde sus inicios desempeñaron un papel importante en la promoción de cultura en su más amplia acepción, y marcaron pautas en el trabajo de difusión de la historia, propio del proceso extensionista en la Universidad de La Habana.

En coordinación con los medios de prensa se daban a conocer las tareas del Seminario. Los lectores conocían el programa completo, los temas de las diez conferencias previstas para el curso y en las entrevistas que concedió Quesada compartió las primicias de los cursos previstos a iniciar, apareciendo

notas informativas desde el mes de octubre en los órganos nacionales, a los que proporcionaba los detalles organizativos, las vías para matricular o asistir como oyentes a los cursos libres, los detalles del guion de los actos inaugurales, la marcha de las sesiones semanales y las fechas de todas las actividades previstas, que eran cubiertas y divulgadas con precisión.

La apertura del primer curso elemental o de introducción, se realizó en el Aula Magna de la Universidad de La Habana. El acto contó con las palabras centrales del decano de la Facultad de Filosofía y Letras, encargada a través de su Comisión de Extensión Cultural, de ofrecer asesoría a los ciclos de conferencias. El doctor Roberto Agramonte transmitió la importancia de estudiar la obra martiana en la institución; inmediatamente procedió a presentar al profesor que ofreció las sesiones del curso, el doctor Gonzalo de Quesada y Miranda, de quien destacó su consagrada obra investigativa y su aval como uno de los más reconocidos promotores del pensamiento martiano, heredero del archivo de su padre, que le correspondió salvaguardar al producirse su imprevista muerte, una colección voluminosa conformada por objetos martianos que tenía bajo su custodia [2].

Culminó el primer contacto con los asistentes convocándolos para el lunes siguiente a las cinco de la tarde en el aula número 3 del edificio Enrique José Varona, sede de la Facultad de Pedagogía [2].

El programa previsto para la primera edición del curso incluyó los siguientes temas: aspectos biográficos de la vida de Martí; labor y pensamiento revolucionario de José Martí; visión americanista de Martí; enfoque martiano de los problemas cubanos; aspectos filosóficos de Martí; la poesía de Martí; Martí y el amor; “La niña de Guatemala”.

Para la consecución de sus objetivos docentes previó enseñar a los educandos interactuando con valiosos objetos museables, que sistemáticamente transportaba en su vehículo y los ubicaba a la vista de los alumnos en una de las mesas del aula. Enfatizaba que los educandos matriculados y los oyentes, muchos docentes supieran instruir correctamente a sus alumnos.

Al escuchar las lecciones del programa de clases, los discípulos a su vez visualizaban bienes patrimoniales muy poco vistos anteriormente; conocieron interesantes detalles de la historia de los objetos que el profesor poseía en calidad de custodia. Relataba cómo los adquirió Martí, cuáles fueron donados y diversos aspectos sobre bienes martianos que se mostraron por primera vez en el museo nacional José Martí, fundado luego de la emisión del Decreto Presidencial No. 1187, de fecha 11 de julio de 1928. Es importante mencionar la información aparecida en medios de amplia circulación del país que reprodujeron la noticia de la decisión del doctor Gonzalo de Quesada y Miranda de ceder a la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes la propiedad literaria de las obras y del resto de la documentación de José Martí que mantenía en su poder, noticia que posteriormente Quesada desmintió. El museo cerró en el año 1930 por la insensibilidad gubernamental y la falta de recursos económicos para sostener la institución, con el presunto amparo de la grave crisis económica que atravesaba el país.

Por otra parte, en las clases promovía el profesor Quesada y Miranda el análisis de trascendentales documentos del Apóstol como «Vindicación de Cuba», «Nuestra América», «El Manifiesto de Montecristi», las «Bases y Estatutos secretos del Partido Revolucionario Cubano». De igual manera se estudiaba la ética martiana, presente tanto en su vida pública como privada.

Desde el primer curso incentivó entre sus estudiantes la investigación científica. Constituyó una prioridad el debate de experiencias adquiridas fruto de la lectura de los materiales orientados; eran indicados a los inscriptos trabajos investigativos. La evaluación final consistía en un examen que era calificado a razón de 100 puntos.

Fue convocado un concurso abierto para todos los interesados. Los mejores trabajos resultaron premiados; en la evaluación de los mismos se pudo apreciar las impresiones que las conferencias dejaron en ellos. No obstante, al leer los trabajos aún conservados y algunos publicados, apreciamos en la mayoría de los casos que los estudiantes concentraron sus composiciones en narrar anécdotas sobre la vida del excelso cubano, pero carentes de sustanciosos análisis [3].

Aunque no se controló con registros la asistencia, como tampoco sucedió en la segunda edición, se pudo corroborar la inscripción de 16 estudiantes, promoviendo un total de 10 alumnos.

La clausura se realizó el 13 de marzo de 1942. El acto celebrado en el Aula Magna[1], con una presidencia conformada por el rector y demás autoridades universitarias, contó con un auditorio integrado por los matriculados, oyentes del curso, participantes en los concursos y profesores de la Facultad de Filosofía y Letras a cargo de la organización del curso.

Las investigaciones con más calidad recibieron premios, resultando seleccionados los trabajos de Guillermo Ochoa Penín, Roberto Goidarás, Pedro Méndez Díaz, Margarita Vega y Aníbal Díaz. Por su originalidad fue reconocido el ensayo elaborado por Dolores Rodríguez Ortega. Los galardonados recibieron un libro de la autoría de su profesor como estímulo [3].

El cierre también constituyó un momento para realizar la evaluación de las incidencias de la edición. Los directivos universitarios designaron al profesor y director para pronunciar las palabras concluyentes de la primera graduación. El hijo del discípulo predilecto de José Martí Pérez patentizó en la ocasión el agradecimiento a los que tuvieron responsabilidad con el éxito de la actividad pedagógica, y reconoció especialmente a los estudiantes que cumplimentaron el programa con disciplina y constancia, a pesar de ser cursos impartidos cuando ya habían cumplido una extensa jornada de clases o laboral.

Ese día memorable cerraba en la reconocida casa de altos estudios la primera sesión de los cursos. A los estudiantes les fueron entregados diplomas oficiales firmados por el rector a nombre del Consejo Universitario; también recibieron los elaborados por el profesor con las calificaciones obtenidas.

Para los participantes, el curso cubrió las expectativas y constituyó un estímulo para seguir estudiando la obra martiana. Expresión de la huella que en ellos dejó la actividad educativa se manifestó con el hecho de que promovieran la recogida de firmas solicitando al rector la organización de un curso formal en el verano y que el mismo se impartiera con la ayuda de textos, exámenes parciales, finales e igualmente fueran otorgadas por el profesor notas conclusivas a los alistados (Hernández, 2022b). La sugerencia de los educandos no se materializó en el periodo de receso veraniego de 1942, aunque fue catalogada como trascendente, cívica, cultural y muy patriótica por la Comisión de Extensión Cultural de la Facultad de Filosofía y Letras.

La Facultad de Filosofía y Letras y el profesor del curso pusieron en práctica una labor que se puede considerar entre las primeras desarrolladas, en las que se integraron la investigación, la docencia y la extensión universitaria, procesos clave de la educación superior. Siempre declararon los mencionados compañeros la intención de contribuir a la formación cívica de los participantes con la transmisión del legado martiano [3].

A la ceremonia inaugural asistieron las autoridades universitarias, destacadas personalidades docentes, estudiosos y promotores de la vida y obra del Apóstol. El programa de clases incluyó los mismos temas aprobados por la Comisión de Extensión Cultural de la Facultad en la edición inaugural, el que se mantuvo sin muchas variaciones para los cursos elementales. La matrícula ascendió a 21 estudiantes; 12 de ellos cumplieron el programa y los ejercicios evaluativos convocados para el mes de marzo de 1942.

En los siguientes tres cursos académicos se produjo un notable crecimiento en el número de suscritos y graduados. En el correspondiente a 1944-1945 fue alcanzada la cifra más alta de inscriptos y titulados entre todas las sesiones desarrolladas antes del triunfo de la Revolución, con 97 estudiantes matriculados y 61 promovidos; sin embargo, los números indican que el 35 % de los matriculados no obtuvieron los resultados para aprobar el curso.

[1] Los estudiantes del Seminario tuvieron la posibilidad de graduarse en el Aula Magna, sitio donde se entregaban los títulos de graduados a los estudiantes de pregrado, un espacio reservado para magnos eventos, elemento demostrativo de la importancia que se le concedió a los estudios martianos.

La labor de educación del Seminario Martiano incentivó la instrumentación en el año 1944 de un nuevo curso, a propuesta de los propios estudiantes graduados del curso elemental, ávidos de profundizar en otras materias de mayor complejidad sobre el amplio legado del Apóstol. Nombrado como curso superior, podían acceder solamente los graduados del primer curso.
La nueva opción creada para estudiar a Martí quedó estructurada en tres amplios sectores abarcadores de lo más medular e importante de su inmensa obra, adentrándose en la cantera inagotable de la existencia del prócer cubano, en su mensaje cívico y humano para Cuba y América.

Las clases de más hondura y complejidad, dignas de un curso diseñado para quienes adquirieron conocimientos en un curso anterior, se completaron con la exhibición y estudio de un amplio material de fotografías, reliquias, documentos y manuscritos pertenecientes al archivo que legó el Apóstol a quien consideró su discípulo predilecto: Gonzalo de Quesada y Aróstegui.

En la nueva modalidad instaurada eran analizadas detenidamente las ideas políticas, sociales, filosóficas, religiosas, educativas y la producción literaria de Martí. Hubo debates sobre los puntos fundamentales de su pensamiento. Como resultado comenzaron a aumentar la calidad de los trabajos investigativos y los elaborados por quienes se dispusieron a participar en los concursos convocados. Se les orientaba la conformación de trabajos de curso de no menos de tres páginas a dos espacios y nunca más de cuatro páginas. La evaluación final de los estudiantes matriculados, que debían contar con el 80 % de asistencia a clases, consistió en un examen escrito; los estudiantes debían seleccionar tres boletas contentivas de las preguntas que contestarían, responderían en no menos de tres páginas y no podían pasar de seis horas para solucionar el examen.

Era tan palpable el reconocimiento alcanzado por el Seminario Martiano al transcurrir las primeras 5 ediciones, que el 11 de octubre de 1946 obtuvo la condición de curso oficial de extensión cultural de la Facultad de Filosofía y Letras, y se estableció un primer reglamento que precisó su periodicidad anual, subdividido en un curso elemental o introductorio y otro superior, así como la edad mínima de 17 años para solicitar la matrícula de ingreso en el primero. De esta manera se cumplía formalmente un viejo anhelo de Quesada, que abogaba por la oficialización de los cursos y que contaran con más atención de la facultad, que hasta ese momento le ofrecía asesoría.

Con el objetivo de perfeccionar la gestión extensionista del centro de altos estudios y de garantizar que la Universidad de La Habana fuera un centro universal de cultura para el adulto, como la escuela lo era para el niño, en el mes de marzo de 1949 se constituyó la Comisión de Extensión Universitaria. Los nueve años transcurridos de la década del cuarenta vieron crecer en la casa de altos estudios el alcance del teatro universitario, del cine, de las escuelas de verano y de los estudios martianos.

Para cumplir adecuadamente con el encargo de la nueva comisión, fueron constituidas cinco subcomisiones de trabajo encargadas de gestionar integralmente el quehacer extensionista del centro de altos estudios:

- Subcomisión A: estaba integrada por la actividad administrativa, publicaciones, informática, imprenta, escuela de verano.
- La subcomisión B: agrupaba la actividad de investigación científica.
- La subcomisión C: la conformaban los seminarios y conferencias, las actividades del Seminario Martiano unido a las de la Cátedra Martiana, considerada por entonces por la comisión como el Centro de Estudios Martianos.
- Subcomisión D: atendía teatro, música y cine.
- Subcomisión E: artes plásticas.

La Comisión surgió con la finalidad de coordinar y fiscalizar todas las actividades culturales universitarias que no se hallaban específicamente comprendidas en los cuadros de estudio de las carreras oficiales cursadas en las diferentes Facultades.

Para hallarse comprendidas en el campo gestionado por la Comisión de Extensión Universitaria, las actividades tenían que reunir las siguientes características:

- Efectuarse en la universidad o en lugares autorizados por esta.
- Tender a la superación de la cultura universitaria.
- Ejecutarse principalmente para alumnos de la Universidad y por profesores de la misma o personal especialmente invitado o contratado.
- Carecer de todo matiz político, partidista, confesional o lucrativo.

En la sesión ordinaria del Consejo Universitario desarrollada el 25 de abril de 1949, fue incluida en el orden del día la evaluación del trabajo del Seminario Martiano. Como resultado del análisis se acordó declararlo, después de ocho años de labor ininterrumpida, como curso oficial de la Comisión de Extensión Universitaria, radicada por entonces en el edificio del Rectorado. El singular y unánime acuerdo se materializó después de haberse presentado una nueva instrucción del Consejo mostrada por el doctor Elías Entralgo, decano de la Facultad de Filosofía y Letras, aprobando mediante el acuerdo No. 28, la oficialización de la labor del Seminario a la Comisión de Extensión del centro de altos estudios, encargada de gestionar los esfuerzos extensionistas.

Con la mencionada aprobación por el Consejo Universitario, acogidos a los artículos 6 y 7 de los Reglamentos aprobados en las sesiones de los días 25 de abril y 7 de octubre de 1949, se estableció a partir del curso 1949-1950 la expedición de certificados de calificación y asistencia a los alumnos de estos cursos.

Los estudiantes universitarios, fundamentalmente de las Facultades de Filosofía y Letras, Pedagogía y Derecho y los maestros de Escuelas eran mayoría entre los matriculados a las primeras ediciones, por tal razón se trazaron diversas actividades para singularizar la preparación de los educadores participantes, a los que una vez matriculados les exigían la presencia en todos los encuentros, en aras de dotarlos de conocimientos, herramientas y la capacitación necesaria para transmitir lo asimilado a los niños que tenían en sus aulas, en el caso de los maestros.

Los cursos del Seminario Martiano demostraron su valía y constituyeron un importante estímulo para que en otras áreas de la Universidad de La Habana y en diversos centros de estudios de la capital, se instrumentaran actividades martianas con niños y jóvenes.

**La Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano de la Universidad de la Habana**

En 1944 acumulaban tres años de experiencia los ciclos de conferencias del Seminario Martiano, la sostenida labor del doctor Quesada había permitido la graduación de cuarenta y un estudiantes. En ese momento, un grupo de alumnos graduados, con la voluntad de mantenerse ligados a la enseñanza del pensamiento de Martí en la primera institución universitaria fundada en el país, propuso buscar nuevas proyecciones de estudio para continuar aumentando su acervo martiano y diseñar actividades en las que los alumnos y exalumnos le rindieran culto al fundador del periódico *Patria,* se instaura el curso superior para incorporar nuevos y más complejos materiales martianos para su discusión en las clases y así dotar a los futuros profesionales, muchos provenientes de la Facultad de Pedagogía, de los conocimientos requeridos para la labor educacional que cumplieron.

Las doctoras Luisa Alejandra López y Carmen Cruz esbozaron la idea de fundar una asociación conformada por anteriores estudiantes. Aspiraban a contar con una entidad consagrada a promover el conocimiento de la vida y la obra del Apóstol, dedicada a proyectar actividades con el más elevado espíritu martiano y cubano, en beneficio de la Patria y de la humanidad e inspirados exclusivamente en sus doctrinas.

Correspondió a la secretaría de la Administración Provincial de La Habana la aprobación de la proyectada agrupación. La propuesta fue entregada para la evaluación por dicha estructura de dirección gubernamental, resultó aprobada el 22 de junio de 1944. Posteriormente, y luego de examinar el proyecto de reglamento presentado el día 15 del citado mes a esa instancia administrativa, el secretario de la Administración Provincial del Gobierno de la Ciudad comunicó oficialmente la anuencia dada por el Negociado de Asociaciones a la doctora Dolores Rodríguez Ortega, exalumna del Seminario.

Quedaba constituida la Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano de la Universidad de La Habana (AAASM), cuyo acto de fundación se efectuó el 3 de julio de 1944 en el aula 2 del edificio Enrique José Varona de la Universidad de La Habana. Fue reglamentada la realización de elecciones anuales para conformar la junta directiva, y la primera la presidió la Dra. Dolores Rodríguez Ortega; como vicepresidentes fueron electos Luisa Alejandra López, Aníbal T. Díaz y Carmen Cruz. Uno de los primeros acuerdos fue nombrar unánimemente presidente de Honor y asesor al doctor Gonzalo de Quesada y Miranda.

La Asociación de Antiguos Alumnos elegía mediante voto secreto y directo a sus directivos. La membresía la conformaban 53 socios fundadores, a los que a partir de 1945 se sumarían socios numerarios, vitalicios, colaboradores y benefactores. La composición social de sus integrantes fue diversa; estaba estructurada por maestros, inspectores de escuelas, abogados, médicos, periodistas y unos pocos trabajadores manuales. También formaban parte de ella, ingenieros, empleados de oficina, artistas y algunas esposas y familiares de asociados que no tenían vínculo laboral [4].

¿En qué dirección estratégica diseñó su programa de trabajo? Desde su fundación asumieron un lema que enmarcaría toda su labor: «Martianismo es acción en beneficio de la colectividad». En ese sentido su trayectoria programática se encaminó hacia las siguientes direcciones:

- Apoyo al funcionamiento del Seminario Martiano de la Universidad de La Habana, dirigido por el Dr. Gonzalo de Quesada.
- Entrega de canastillas martianas a familias desamparadas cuyos hijos nacieran en los primeros minutos de cada 28 de enero.
- Promover y realizar actividades martianas.
- Divulgar el ideario del Apóstol a través de la publicación del *Boletín Oficial de la AAASM* (convertido posteriormente en *Patria*) y la transmisión del programa radial Escuchando a Martí.
- Atención a los Grupos Infantiles y Juveniles Martianos, fundados en 1929 en Villa Clara, registrada como una de las más importantes misiones que se propusieron, con el interés de promover su desarrollo en todas las escuelas adscritas al Ministerio de Educación de la República de Cuba.

La Asociación constituyó un genuino apoyo al funcionamiento del Seminario Martiano. Estudiantes matriculados en los cursos se convirtieron en valiosos miembros del conglomerado. Los más capacitados tributaron ideas y conceptos novedosos para la concepción de las actividades.

**Los Grupos Infantiles y Juveniles Martianos asesorados por la Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano**

La AAASM muy pronto comenzó a dar pasos para ofrecer asesoría a las escuelas en función de la creación y atención de los Grupos Infantiles y Juveniles Martianos (GIJM). La Junta Directiva ubicó la tarea en similares niveles de importancia a los ciclos de conferencias del Seminario Martiano. Por tal motivo, dedicaron buena parte del tiempo de las conferencias del curso, con participación de un amplio número de futuros profesores y maestros en ejercicio, a prepararlos para enseñar a Martí en las escuelas.

El doctor Quesada catalogó en el año 1946 a los Grupos Infantiles como «Bella obra puesta en manos del magisterio nacional, sugiriendo que los maestros la acogieran con la devoción y el entusiasmo que le caracterizan, propagando así de modo intenso las enseñanzas del Apóstol. Esperaba que todas las escuelas del país organizaran dichos grupos, a los que brindó el más decidido apoyo» [5].

En poco tiempo se extendió la experiencia a las escuelas de Oriente del país, en especial a Santiago de Cuba y a Las Tunas, propiciando el nombramiento de las doctoras Olimpia Morales Roca y Emiliana Prieto como vocales-delegadas de la AAASM para la atención a los clubes organizados en ambos lugares.

Por los resultados educativos alcanzados y el interés creciente de otros territorios provinciales propusieron el 15 de enero de 1946 al Ministerio de Educación que se orientara oficialmente su

instauración en todas las escuelas de primera enseñanza del país. Posteriormente los niños propusieron crear los GIJM para continuar estudiando a Martí en la segunda enseñanza.

Para la correcta instrumentación de dicha orientación, la Junta Directiva de la AAASM aprobó en su reunión ordinaria de fecha 4 de junio del mismo año un reglamento que establecía los fines, objetivos y principios organizativos de estas agrupaciones de niños, cuyo propósito fundacional sería perfeccionar los estudios martianos en cada escuela.

La Asociación de Antiguos Alumnos del Seminario Martiano, en atención al esfuerzo desplegado por los maestros y profesores vinculados a estas enseñanzas, les otorgaba luego de dos años de buen expediente en esta labor la condición de socios colaboradores. De la misma forma reconocían a quienes lograban renovar los grupos una vez que transitaban a otros niveles de enseñanza los integrantes; también ponderaban el hecho de mantener un sólido quehacer cultural, participación en concursos convocados, atención a los necesitados, suscripción a la revista *Patria*, órgano del conglomerado, parámetros considerados al evaluar el trabajo de estas agrupaciones.

El reconocimiento a los clubes infantiles más destacados no excluyó a los constituidos en los más distantes parajes de Cuba, pues existió un flujo informativo activo. Contaban con mecanismos de control. Integrantes de la Junta Directiva de la AAASM recorrían el territorio nacional para evaluar el cumplimiento de lo reglamentado y la implementación de las disposiciones que emitía la Junta, conscientes de que sin orden y disciplina no se alcanzaría la alta finalidad de los GIJM.

Se apreció en esos recorridos los propósitos de la Junta Directiva que debían cumplir los territorios, donde primaba la persuasión en el diálogo que se establecía; sin embargo, se destinaba espacio al análisis de insuficiencias que existieron en una obra que también mostró imperfecciones. Una de ellas consistió en el número de grupos que no se nutrían de las informaciones y orientaciones que fluían a través de *Patria* por no estar suscritos, algo que los asesores de los Grupos consideraban inconcebible ya que frenaba el conocimiento ágil de las tareas a cumplir.

Esa cercana observación y evaluación del trabajo en todo el territorio nacional permitió distinguir a las provincias Santiago de Cuba y Las Tunas en el oriente y a La Habana y Matanzas en el occidente del país, con el trabajo más consolidado en los primeros diez años de labor.

Por los elementos expuestos hasta aquí sobre el trabajo de los Grupos, se considera que constituyó una inmensa obra de la AAASM con los niños y los jóvenes, una labor ejemplar que permitió a los infantes recepcionar y compartir los resultados de sus estudios e indagaciones martianas con libertad y transparencia.

**La Cátedra Martiana de la Universidad de La Habana**

El creciente conocimiento del alcance ideológico, cultural y educativo del ideario de José Martí, unido a los notables éxitos del Seminario Martiano, daba lugar al nacimiento de la Cátedra Martiana de la Universidad de La Habana.

Por orientación del Consejo, conformaron una comisión integrada por los académicos Salvador Massip, Elías Entralgo, Raimundo Lazo, Jorge Mañach y Gonzalo de Quesada. Los comisionados establecerían las normas que regularían el funcionamiento de la nueva disciplina, la fecha de celebración, el lugar y la publicación de las convocatorias. La experiencia de estos encuentros, con algún que otro cambio en los nombres de los participantes, mantuvo vigencia durante los siete cursos realizados hasta 1956. Constituyendo un eslabón importante en la organización del trabajo previo a los inicios de los ciclos de conferencias, el Dr. Clemente Inclán participó sistemáticamente en las reuniones. Por lo regular las sesiones anuales se iniciaban el 27 o el día 28 de enero, y eran un espacio para compartir disímiles aspectos del rico y gigantesco espíritu martiano, convirtiéndose en un momento para que destacados especialistas martianos presentaran aspectos novedosos.

Entre las decisiones tomadas por los organizadores estuvo la entrada libre para los interesados en escuchar las conferencias, aunque no matricularan. El programa de los cursos comprendió un encuentro semanal, en algunos años comenzó a las 5 y 30 pm y en otros a las 6 pm. Eran impartidas diez lecciones o conferencias, otras dos semanas estaban destinadas a aclaración de dudas. Solo los alumnos matriculados contaban con derecho a diplomas de asistencia y aprovechamiento. Por años, Inclán mantuvo una evaluación constante de los acontecimientos que se suscitaban. La principal vía de retroalimentación que utilizó fue su propia presencia, siempre activa, en los actos inaugurales y de clausura; entregaba diplomas a los graduados e intervenía magistralmente. Atrajo al Aula Magna y a otros recintos universitarios a personalidades con vínculos familiares con el Apóstol y otros próceres, personal diplomático acreditado en Cuba, representantes de organizaciones internacionales radicadas en el país y a destacados estudiosos de la vida y la obra del Maestro, ellos resultaban un atractivo adicional y regalaban elocuentes y educativas intervenciones en los momentos que les correspondió intervenir.

Los cursos continuaron alcanzando gran visibilidad. Eran reflejadas sus incidencias en la revista *Vida Universitaria*, en medios de la prensa nacional y en alguna medida en la revista *Patria.* Las noticias más expresadas sobre el trabajo de la Cátedra Martiana guardaban relación con los actos inaugurales, los homenajes que dispensaban los matriculados a Martí por su nacimiento, las intervenciones de personalidades en algunas conferencias, los actos de clausura y el reconocimiento a los alumnos más destacados.

Los cursos de la Cátedra Martiana se impartieron consecutivamente hasta el año 1956, momento en el que por la compleja situación reinante las autoridades universitarias se vieron obligadas a emitir un acuerdo del Consejo Universitario para el cierre de las actividades docentes en el centro de altos estudios.
La instauración de los cursos de la Cátedra constituyó uno de los hitos que marcó la ruptura con los primeros nueve años de trabajo de estudios martianos en el campus universitario, vinculó a destacados martianos a la impartición de los cursos, unió a alumnos, profesores, trabajadores y amas de casas, a escuchar las conferencias que se impartían en esos cursos libres [6].

**Inauguración del museo Fragua Martiana**

Con el objetivo de poder contar con una sede para la secretaría del Seminario Martiano, para la Asociación de Antiguos Alumnos y poder mostrar los sagrados manuscritos del Apóstol, se inauguró el 28 de enero de 1952 en el sitio exacto donde se encontraban las antiguas canteras de San Lázaro, montículos en los que cumpliera el joven José Julián Martí Pérez su condena de trabajos forzados. La Fragua Martiana no solo será una escuela práctica, orientada en los conceptos educativos de Martí, sino también, como Martí daba clases en la sociedad La Liga, en Nueva York, un centro propicio de instrucción para adultos sin recursos, ansiosos de superación. Años antes había anunciado Quesada: «Si se realiza la Fragua Martiana como la concebimos, los papeles de Martí, sobre todo el «Manifiesto de Montecristi», que él legara a mi padre, su discípulo predilecto y que conservo celosamente, figurará allí, en esa Fragua Martiana que entonces podrá ser de verdad, templo de peregrinación para todos los cubanos» [7]. En el año 1952 los cursos son trasladados para la pinacoteca recién inaugurada.

Habían transcurrido siete años y seis meses desde que se fundó la AAASM y así se cumplió un gran anhelo de los antiguos alumnos, quienes en ese lapso utilizaron para algunas reuniones locales sociales donde planificaban actividades y evaluaban el quehacer. Los recintos estaban radicados en las moradas de miembros de la dirección, en muchos casos en la del que presidió ese año la Junta Directiva. La vivienda de su asesor Gonzalo de Quesada fue utilizada para esas funciones y hubo encuentros en la propia bicentenaria universidad, en la que Quesada permanecía buena parte del horario laboral cumpliendo con sus tareas en la Facultad de Filosofía y Letras, como profesor y asesor martiano de la Asociación.

En la Fragua Martiana se comenzaron a impartir los cursos del Seminario Martiano desde su inauguración, con periodicidad anual eran convocados en la Universidad de La Habana, los estudiantes de la casa de altos estudios matriculaban en la sede de la Comisión de Extensión Universitaria, radicada en el edificio del rectorado y los actos inaugurales y de clausura se efectuaban en el Aula Magna de la Universidad de La Habana. Por mucho tiempo, destacados especialistas consideraron que se había producido una ruptura en la continuidad del quehacer de los cursos del Seminario Martiano al fundarse la Fragua, la investigación corroboró que siempre se mantuvieron insertados en la estrategia educativa martiana de la

Universidad de La Habana y la mayoría de los matriculados eran de la primera universidad fundada en el país.

Con el cierre de la Universidad de La Habana por acuerdo del Consejo Universitario en el año 1956, se interrumpió la continuidad de los cursos del Seminario Martiano y de la Cátedra Martiana.
Si en la Universidad de La Habana se había trabajado desde inicio del siglo XX con la figura de José Julián Martí Pérez en diversas facetas de su pensamiento, el hecho fue significativamente medular a partir del triunfo de la Revolución. Demostrándose que en cualquier forma en que sea puesto, en la historia, en la pedagogía, en la política, el Héroe Nacional contribuye a conocer bien pasado y presente, y proyección, de la cultura cubana. Su preclaridad de pensamiento y su conducta son potenciadoras del paradigma de ser humano al que se aspira, un *Homagno* generoso como del que habló.
Entre 1959 y 1962 se produce el reinicio de los cursos del Seminario Martiano, manifestándose un notable crecimiento del interés por matricular en los ciclos de conferencias impartidos por el profesor Gonzalo de Quesada y Miranda, lo que provocó que dejaran de ser cursos libres y se estableciera la obligatoriedad de las matrículas.

En el año 1962 se produce el traspaso oficial de la Fragua Martiana a la Universidad de La Habana.
Fueron años en los que la Universidad, como en tantos otros aspectos clave del acontecer de la Isla, mostró una responsabilidad histórica enorme con los estudios martianos y la custodia, actualización y promoción de su obra, porque la Universidad desempeñó un papel de notabilidad excepcional en la construcción social del símbolo martiano, por lo que es preciso mantener visible el empeño de destacados profesores que se situaron a la vanguardia de los estudios martianos. Estudiar al Apóstol simboliza el empeño para avanzar por el bien mayor del hombre a escala universal y ser digno heredero y cumplidor del espíritu del universal cubano [8].  .

**CONCLUSIONES**

La conjugación de un conjunto de factores históricos, políticos, sociales y culturales, que de manera directa o indirecta se proyectaron a partir de su caída en combate, posibilitaron transformar el amor de los cubanos al Apóstol de la independencia nacional en un culto patriótico, que ha continuado fortaleciéndose hasta la actualidad, a pesar de los intentos de quienes olvidaron sus postulados o utilizaron su ejemplo como pedestal para satisfacer ambiciones personales en una república devenida neocolonia.

Los esfuerzos para que José Martí Pérez fuera más conocido y apreciado tuvieron en el doctor Gonzalo de Quesada y Miranda a un martiano que supo laborar en la producción literaria, enseñanza, programas sociales e instituciones patrióticas. En su lucha por publicar el volumen XVI de las obras de Martí, en el año 1933, demostró su voluntad de imponerse a las adversidades cuando encontró muchas trabas para conseguir un impresor. En 1947 dijo en uno de los prólogos de las obras (t. LXX): «Hoy las casas de publicaciones se pelean por publicar las obras de Martí, pero en aquel momento, 1925 a1933, nadie quería ayudarme en la tarea de terminar la obra comenzada por mi padre».

Al sintetizar, luego de un detallado análisis de las fuentes, los rasgos característicos de cada etapa y establecer sus regulaciones fundamentales, el criterio de la verdad  permitió apreciar que la experiencia educativa extensionista del Seminario Martiano, surgido como curso no oficial de la Facultad de Filosofía y Letras, encargada de asesorarlo, constituyó un estímulo para que se desarrollaran otras experiencias educativas martianas en la Universidad de La Habana y en algunos centros estudiantiles y laborales de la capital.

Entre 1941 a 1962 se matricularon en el curso elemental 1206 estudiantes y aprobaron los cursos 729 educandos. En el propio periodo matricularon el curso superior 555 estudiantes y el 80 por ciento alcanzaron resultados satisfactorios.

En momentos en los que la labor enemiga contra nuestro país arrecia, intentando alejar a las nuevas generaciones de las ideas  revolucionarias  y de sus símbolos, se impone incorporar a la labor diaria las más relevantes prácticas institucionalizadas en el periodo, entre las que estuvieron la preparación del personal docente, propiciando que pudieran contar con las herramientas y una vía científica y adecuada

para adquirir los conocimientos necesarios para ofrecer a sus alumnos los aspectos más relevantes del pensamiento martiano. La vinculación con los sitios históricos más importantes relacionados con la vida y la obra del Maestro, el rescate de los concursos martianos en la primera y segunda enseñanza, la vinculación de los más destacados estudiosos de la obra martiana con las escuelas, fueron pilares en los que descansaron los estudios martianos en la Universidad de La Habana, que pueden instrumentarse y convertirse en modelo ante los retos de la educación de hoy.

La investigación realizada muestra cómo en todas las épocas estudiadas se mantuvo los intentos, esfuerzos y vías para sostener los estudios martianos. No solo en cuanto la riqueza de su vida y su obra sino de la repercusión que en el plano de los valores y la conciencia debían lograr. La Universidad de la Habana, fundada el 5 de enero de 1728, muestra con las evidencias del estudio que fue un pilar en la sostenibilidad de este pensamiento que de forma sistemática influyó en el desarrollo de la sociedad cubana y que continúa siendo el lucero que guía las luchas actuales por mantener la independencia y soberanía nacional.

Otras enseñanzas nos depararon la investigación. A pesar de no discutirse la bidireccionalidad, al menos, del proceso extensionista, de la compleja madeja que forma con los procesos de formación e investigación, suele presentarse aquel como estadío final tanto de uno como de otro. Aquí la práctica extensionista no solo cumple un papel honroso en la formación de profesionales más integrales, sino que impacta decisivamente tanto a la formación como a la generación de nuevo conocimiento útil.

## RECONOCIMIENTOS

Deseo agradecer a mis padres, hermano, esposa, sobrino y a todas las personas que han contribuido a mi superación.

## REFERENCIAS

1-CASTRO, F. (1998). *V Legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular*. La Habana, noviembre 1998.
2-*ACCIÓN* (1941). «Hablaron sobre Martí los doctores Roberto Agramonte y Gonzalo de Quesada». La Habana.
3-*EL PAÍS* (1942). «Resultados del concurso abierto del Seminario Martiano». La Habana, 7 de mayo.

4-MARCHANTE, C. (2024). Una Fragua de Espíritus. La Habana: Oficina de Publicaciones del Consejo de Estado
5-*DIARIO DE LA MARINA* (1946). Funcionamiento de los Grupos Infantiles Martianos, La Habana, febrero.

6-HERNÁNDEZ, D. (2022b). «El Seminario Martiano: Expresión de promoción de la vida y la obra del Apóstol». Revista Masquedós, vol. 7, n.o 8.

7-QUESADA, G. (1953). *Memorias del Seminario Martiano de la Universidad de La Habana 1941-1952. Homenaje al Maestro en el centenario de su nacimiento*. La Habana: Imprenta Universitaria.

8-RODRÍGUEZ, P. (2021). «Entrevista concedida al portal del Ministerio de Cultura», La Habana.

## Sobre el autor

El autor se desempeña como Director de Eventos Culturales de la Universidad de La Habana, posee la categoría docente de Profesor Titular, es miembro de la Asociación de Pedagogos de Cuba, integra proyectos institucionales y sectoriales, imparte recorridos por la Universidad de La Habana y otras asignaturas, integra el claustro del Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# UN ESTUDIO DE LOS ESTUDIANTES QUE CAUSARON BAJA EN TRES CURSOS ACADÉMICOS EN LA CUJAE

**Gilda Vega Cruz[1], Mar Denise Oliva Pereda[2], Esther Ansola Hazday[3], Dairis Enriquez Hernández[4], Anaisa Hernández González[5]**

[1 2 3 4 5] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

[1] gilda@tesla.cujae.edu.cu, [2] mardeniseolivapereda@gmail.com, [3] esther@ind.cujae.edu.cu, [4] anaisa@ceis.cujae.edu.cu

## RESUMEN

En el curso 2023, como parte del proyecto institucional "Estrategia para incrementar la retención en las carreras de ingeniería", en la Universidad Tecnológica de La Habana ´José Antonio Echeverría´", CUJAE, se diseñó un instrumento, tipo encuesta, con el propósito de estudiar las causas del abandono estudiantil, mediante el análisis de las bajas producidas en los cursos académicos 2019-2020, 2021 y 2022. Dicho instrumento fue aplicado a una muestra de estudiantes residentes en La Habana que causaron baja en los cursos antes mencionados, e incluyó diversos indicadores que comprendían las siguientes dimensiones: aspectos generales, causas fundamentales de la baja, elementos de la estancia en la universidad y la situación actual del estudiante. Los mayores porcentajes apuntaron como elementos más influyentes: la asunción de un proyecto de vida diferente, la falta de vocación real por la carrera y los problemas económicos. El presente trabajo tiene como objetivo exponer los resultados obtenidos en la encuesta, incluyendo algunas consideraciones y recomendaciones a la universidad para el trabajo de elevación de la retención.

**PALABRAS CLAVES:** bajas, retención, ingeniería

## ABSTRACT

In the academic year 2023, as part of the institutional project "Strategy to increase retention in engineering careers", at the Technological University of Havana "José Antonio Echeverría", CUJAE, a survey-type instrument was designed with the purpose of studying the causes of student dropout, through the analysis of the dropouts produced in the academic years 2019-2020, 2021 and 2022. This instrument was applied to a sample of students residing in Havana who dropped out in the aforementioned courses, and included various indicators comprising the following dimensions: general aspects, fundamental causes of the dropout, elements of the stay at the university and the student's current situation. The highest percentages pointed out as the most influential elements: the assumption of a different life project, the lack of real vocation for the career and economic problems. The purpose of this paper is to present the results obtained in the survey, including some considerations and recommendations to the university for the work of increasing retention.

**KEYWORDS:** casualties, retention, engineering

## 1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto "Estrategia para incrementar la retención en las carreras de ingeniería" en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, tiene como objetivo, entre otros, identificar los factores de riesgo que motivan el abandono de los estudios en las carreras de ingeniería en Cuba e influyen en la baja retención. [1]

Para ello, una de las tareas previstas es estudiar las causas del abandono estudiantil, mediante el diagnóstico y análisis de las bajas producidas en los cursos académicos 2019-2020, 2021 y 2022, en diversas carreras de ingeniería de las universidades involucradas en el proyecto, obteniendo información sobre las principales razones de los bajos rendimientos académicos.

A partir de la experiencia acumulada a lo largo de más de 10 años de trabajo en el tema de la retención y la publicación de los resultados parciales obtenidos en diferentes eventos [2], [3], [4], [5], [6], [7], en el curso 2023, como parte del proyecto en la Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, se diseñó un instrumento, aplicado a una muestra de los estudiantes residentes en La Habana que causaron baja en los cursos académicos antes mencionados. La población a aplicar la encuesta estaba distribuida por todos los municipios y ya no

asistía a la universidad ni se tenían contacto con ella por otra vía, por lo que la única vía de contactar a la mayoría era visitar su casa. Para unificar las preguntas a aplicar y que las respuestas pudieran contribuir al estudio, se diseñó una encuesta que fue aplicada por estudiantes de la universidad en activo.

El instrumento fue elaborado teniendo en cuenta las siguientes dimensiones e indicadores:

Tabla 1: Dimensiones e indicadores del instrumento.

| Dimensiones | Indicadores |
|---|---|
| Aspectos generales | • Sexo<br>• Edad<br>• Carrera que estudia en el momento de la baja<br>• Cursos académicos que dejó de estudiar<br>• Curso académico de la baja<br>• Año académico en que se encontraba<br>• Si había causado baja en otra carrera |
| Causas fundamentales de la baja | • Voluntaria<br>• Insuficiencia académica<br>• Sanción |
| Estancia en la universidad | • Relaciones con profesores y compañeros<br>• Ambiente de convivencia<br>• Adaptación a la vida universitaria<br>• Ayuda brindada por la institución<br>• Valoración del trabajo de la carrera<br>• Valoración de la gestión de la universidad<br>• Problemas personales que pudieron haber ocurrido durante el último curso en la universidad |
| Aspectos generales de la situación actual | • Decisiones tomadas después de ser baja<br>• Reflexión acerca de la decisión de pedir baja después de haber respondido al cuestionario |

Además, en el cuestionario se hace una pregunta abierta en la cual se le pide al estudiante tres recomendaciones que sugiere a la transformación de la gestión de la universidad. Para la aplicación del instrumento se elaboraron los siguientes materiales:

1. Encuesta diseñada en formato de librito para su impresión.
2. Una plantilla Excel para el procesamiento de los resultados.
3. Una guía para la utilización del Excel con el propósito de lograr uniformidad en la información a recopilar.

Las bajas en esos cursos fueron de 1250 estudiantes de diferentes años. La muestra seleccionada para ser entrevistada, garantizando un 5 % de error, fue de 569 aunque finalmente se accedió a 472 ya que 97 estudiantes se negaron a ser entrevistados.

Las encuestas fueron realizadas en vacaciones por 12 estudiantes seleccionados por la FEU, directamente en las casas de los encuestados. El presente trabajo resume los resultados obtenidos aquellas, a través del análisis detallado de cada indicador, por dimensión, aportando recomendaciones a la institución para propiciar la elevación de la retención estudiantil.

## 2. DESARROLLO

A continuación, se presentan los análisis correspondientes a cada una de las dimensiones, a partir de los resultados obtenidos en los indicadores

**Causas de la Baja**

En general hay 3 aspectos a analizar: las bajas voluntarias (A), las bajas por insuficiencia académica (B) y por sanción.

**Baja voluntaria**

En el caso de las bajas que ocurrieron de forma voluntaria, como se muestra en el gráfico de la Figura 1, se destacan como causas relevantes las que ocurrieron por salida del país en un 48.5 %, aquellos estudiantes que no les gustó la carrera un 12.2 %, por problemas personales un 11.2 %, y un 9.1 % reconoce que no tuvieron apoyo.




Figura 1: Resultados de las causas de baja voluntaria

Resulta interesante, dentro de los resultados, correlacionar los aspectos dados al indicador "No te gustó la carrera" (59) y las de "Falta de Vocación real por la carrera" (51), siendo coincidentes 25 encuestados, como puede observarse en el diagrama de la Figura 2, lo que desprende la necesidad de atender de forma priorizada la preparación de los estudiantes para la selección de la carrera que estudiarán, con un trabajo intencionado en la orientación profesional.




Figura 2: Correlación entre los factores "No te gustó la carrera" y "Falta de vocación real por la carrera"

**Baja por insuficiencia académica**

A partir de este momento los análisis se realizan en función del total de encuestas físicas realizadas (217), descartando los 255 estudiantes que salieron del país.

Observando la Figura 3, se destacan en las respuestas un 11.1 % que respondió que no tenía suficiente preparación para enfrentar la carrera, lo cual puede identificarse como un factor que agudiza el resultado negativo de los indicadores "No te gustó la carrera" y "No tuviste orientación vocacional", incluidos en la baja voluntaria.

Le sigue un 9.7 % que reconoce no haberse adaptado a las formas híbridas de impartición de la docencia y un 6.9 % no haberle dedicado suficiente tiempo porque tenía que trabajar. En este punto sería de gran potencial para la universidad brindar oportunidades de trabajo dentro del *campus*, beneficiando a aquellos estudiantes que necesiten apoyo económico y que, a la vez, no se desvinculen de la vida universitaria.

Destaca que un 5.5% de los encuestados refieren como causa la falta de disponibilidad de tecnología y el 4.1 % ocasionó baja como cadete del MININT.

Resulta importante que el 2.3 % afirmó no tener apoyo de los profesores y, asimismo, un 1.8 % no le dedicó suficiente tiempo al estudio porque atendió a otras actividades como la FEU, la UJC, los deportes y la cultura.

Un 8.75 % arrojó otras razones de menor cuantía, dentro de las cuales se encuentran causas como: la toma de decisiones personales, cambio de su proyecto de vida, baja como cadete de la FAR, atención de su casa, dirección errónea, reingreso a otra carrera y decepción.

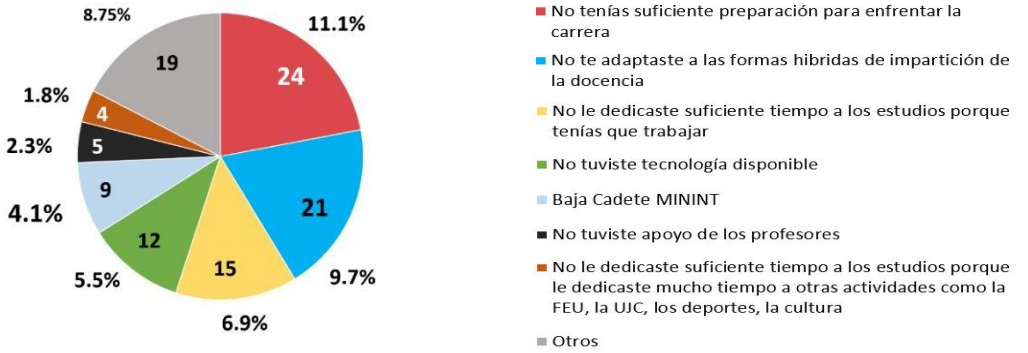



Figura 3: Resultados de las causas de baja por insuficiencia académica

**Estancia en la universidad**

En las próximas secciones los porcentajes serán con respecto al total de respuestas reales en cada pregunta, para obtener resultados más ilustrativos.

Respecto a la estancia en la universidad la valoración es generalmente positiva: más del 64 % reconoce haber tenido buenas relaciones con sus profesores, compañeros de aula y buen ambiente en las actividades colectivas. En cuanto a la convivencia en la beca, el 80 % no procede, porque los encuestados fueron todos de La Habana, por tanto, la mayoría nunca fueron becados.

Llama la atención que el 64 % afirma que el ambiente de convivencia en el aula fue regular, incluso un 3 % lo califica de malo, lo cual no consideramos que sea coherente con los resultados anteriores, por ello, se asocia que pueda ser una interpretación subjetiva de los encuestados, incluyendo factores como la limpieza, luminosidad y condiciones del aula.




Figura 4: Relación con los profesores, con los compañeros, ambiente de convivencia en las actividades colectivas y en el aula

En total, el 50 % califica el ambiente de convivencia en el entorno virtual como Regular y Malo (Figura 5), siendo coherente con que el 9.7 % de los encuestados hayan afirmado como causa principal de su baja, la no adaptación a las formas híbridas de impartición de la docencia.

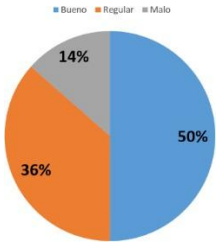



Figura 5: Valoración del ambiente de convivencia en el entorno virtual

Como resultado negativo sobre la estancia de la universidad, el 56 % reconoce haber tenido una adaptación entre Regular y Mala a la vida en la universidad (Figura 6), resaltando que el 82 % afirma no haber recibido algún tipo de ayuda, de la institución, para eliminar o disminuir los problemas de adaptación (Figura 7).

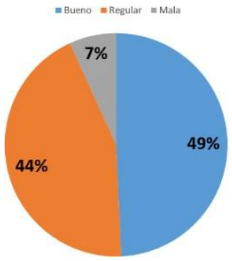



Figura 6: Adaptación a la vida en la universidad




Figura 7: Valoración sobre el apoyo de la institución para eliminar o disminuir los problemas de adaptación

Para ilustrar mejor el impacto de este resultado, se pueden observar en el diagrama de la Figura 8, los números absolutos de encuestas por factor. En total, 104 estudiantes calificaron de MAL y REGULAR la adaptación a la vida en la universidad y 162, no recibieron apoyo de la universidad en su proceso de adaptación, coincidiendo 75 encuestados que afirmaron ambos factores a la vez, siendo un 34.5 % del total de encuestados físicos.




Figura 8: Correlación entre los resultados Regular y Mal del indicador "Adaptación a la vida en la universidad" y el "No apoyo de la universidad en el proceso de adaptación"

**Valoración integral de la carrera comenzada**

Sobre la valoración integral de la carrera comenzada, la mayoría de las respuestas refieren una buena calidad de los profesores, una alta exigencia del sistema de evaluación y una buena atención integral de jefe de año, no siendo igual en cuanto a la atención integral del profesor guía, donde el 53 % califica entre Regular y Mala. (Figura 9)




Figura 9: Valoración de la calidad de los profesores, atención integral del jefe de año, la exigencia del sistema de evaluación y la atención integral del profesor guía

Resalta negativamente la valoración sobre la calidad y existencia de los materiales didácticos en un 71 % como Regular y Mala (Figura 10). Sería interesante considerar la relación de este factor con el hecho de que la no adaptación a las formas híbridas de impartición de la docencia representó la segunda causa principal de baja por insuficiencia académica, puesto que, en el modelo híbrido de educación, es de vital importancia proveer a los estudiantes de los correctos materiales didácticos, necesarios para su autoestudio.

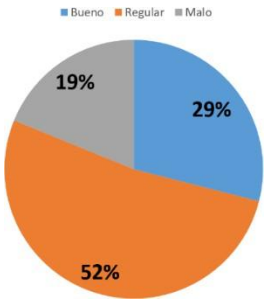



Figura 10: Valoración sobre la calidad y existencia de los materiales didácticos

Por otro lado, el 53 % de los encuestados afirmaron que la atención integral de los profesores fue entre Regular y Mala (Figura 11), igualmente seguido de un 64 % sobre la comunicación profesor - estudiante (Figura 12).

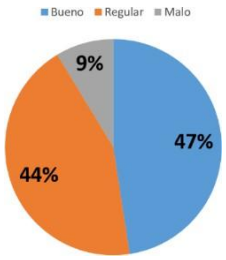



Figura 11: Valoración de la atención integral de los profesores

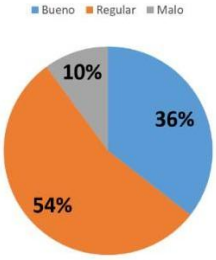



Figura 12: Valoración de la comunicación profesor - estudiante

En materia de cantidades absolutas, se puede observar que de los 109 encuestados que calificaron entre Regular y Mala la atención integral del profesor, y los 134 que lo reconocieron también en cuanto a la comunicación Estudiante - Profesor, coinciden 43 encuestados (Figura 13), representando casi el 20 % del total. Sería vital trazar, en la Universidad, una estrategia destinada a mejorar la atención integral al estudiante, que incluya tanto parámetros académicos como personales y, sea capaz de proveer soluciones personalizadas a nivel institucional.




Figura 13: Correlación entre los resultados Regular y Mal de la "Atención integral del profesor" y la "Comunicación Estudiante - Profesor"

**Valoración de la gestión de la universidad**

Sobre la valoración de la gestión de la universidad, un 46% alega haber tenido una orientación REGULAR sobre el plan de estudio, mientras que un 8 % afirma no haber existido dicha orientación (Figura 14).

El 51 % califica entre REGULAR y MAL las ayudas para la integración del estudiante (Figura 15), siendo coherente con los resultados negativos sobre la ayuda de la institución para eliminar o disminuir los problemas de adaptación a la vida universitaria. Sobre la participación de los estudiantes en las decisiones, los resultados concluyen negativamente, ya que el 52 % la califica de REGULAR , y el 15 % de MAL (Figura 16).

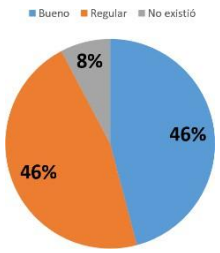



Figura 14: Valoración sobre la orientación del plan de estudio

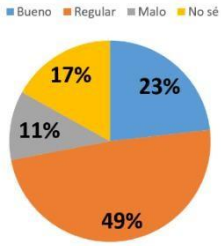



Figura 15: Valoración sobre las ayudas para la integración del estudiante

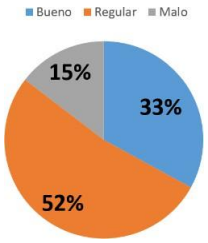



Figura 16: Valoración sobre la participación de los estudiantes en las decisiones

En cuanto a los espacios disponibles para las actividades, el 70 % afirma que existen (primera gráfica de la Figura 17), mientras que el 52 % califica entre REGULAR y MAL las condiciones de seguridad (segunda gráfica de la Figura 17). Con relación al uso del reglamento, el 3 % lo califica de MAL, el 39 % de REGULAR y el 14% desconocía, siendo mayoría con respecto al 43 % que lo califica de BUENO (tercera gráfica de la Figura 17).




Figura 17: Valoración sobre los espacios disponibles para las actividades, las condiciones de seguridad y el uso del reglamento

**Elementos que pudieron ocurrir en el último año en la universidad**

A esta interrogante solo respondieron 123 estudiantes, 82 de los cuales (el 67 %) respondieron haber experimentado sentimientos recurrentes de preocupación (Figura 18), que pudieron estar relacionados con actividades docentes o no. Esto apunta a la necesidad de que en la universidad exista un centro de atención integral a los estudiantes que presenten cualquier tipo de problema que pudiera ser enfrentado multilateralmente.

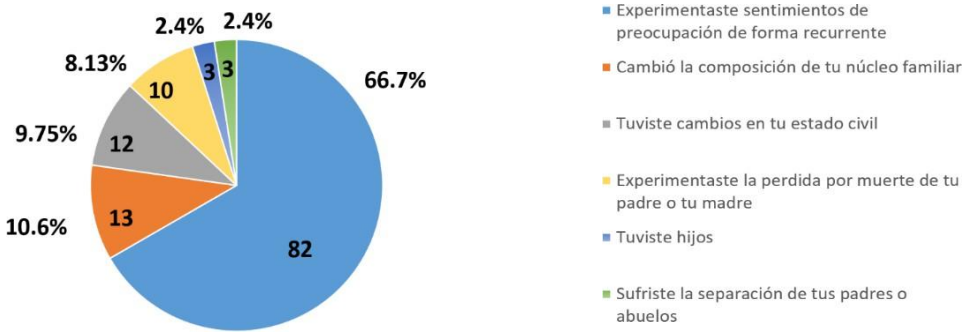



Figura 18: Factores que pudieron ocurrir en el último año

**Sobre la situación actual**

Analizando los resultados sobre la situación actual de los encuestados, el 36 % reingresó en otra carrera y de ellos el 80 % aún continúa estudiando en ella (Figura 19). Esto evidencia una disposición clara de seguir los estudios seleccionando otra carrera de forma más consciente, guardando relación con el porcentaje de estudiantes que identificaron como causa de baja voluntaria el no haberles gustado la carrera y tener una mala orientación vocacional.

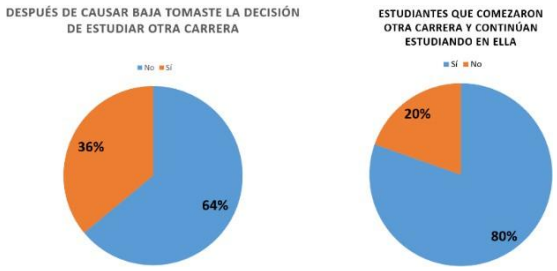



Figura 19: Resultados sobre la decisión de estudiar otra carrera y, en el caso de quienes sí, porcentaje de aquellos que continúan estudiando en ella

Vale destacar que el 58 % decidió no continuar estudiando (primera gráfica de la Figura 20) y el 73 % comenzó a trabajar (segunda gráfica de la Figura 20), de los cuales el 19 % se incorporó al Curso por Encuentro, ya sea en otra carrera o en la misma (tercera gráfica de la Figura 20).




Figura 20: Valoración acerca de la continuidad de estudio y la decisión de comenzar a trabajar

Es interesante observar en el diagrama de la Figura 21, que el 50 % de los encuestados que afirmaron como causa de baja voluntaria haber presentado problemas económicos, comenzó a trabajar. De quienes comenzaron a trabajar, el 19% reingresó en Curso Por Encuentro (CPE), siendo oportuno valorar que la Universidad disponga de vías que faciliten y motiven la continuidad de estudios esta modalidad luego de causar baja (Figura 22).

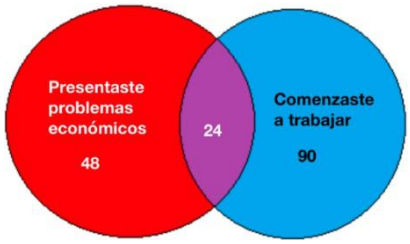



Figura 21: Cantidad de estudiantes que identificaron como causa de baja “Problemas Económicos” y decidieron “Comenzar a Trabajar”




Figura 22: Cantidad de encuestados que “Comenzaron a trabajar” y a la vez reingresaron en CPE

**Factores que más influyeron en la decisión de abandonar los estudios**

En el cuestionario existe una pregunta de reflexión en la cual se convoca al estudiante a repensar la causa fundamental de la baja después del tiempo transcurrido desde su decisión y de responder a todas las preguntas anteriores. En total fueron dadas 254 respuestas. Destacan en esas respuestas, que el 21,2 % afirman haber asumido otro proyecto de vida, el 20 % declara que tenía falta de vocación real por la carrera y un 16.5 % considera que tuvo problemas económicos.

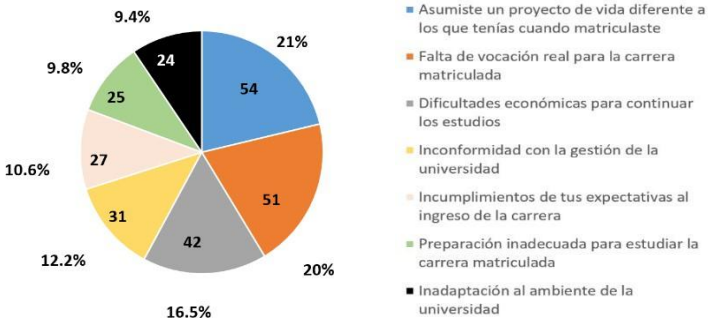



Figura 23: Factores que más influyeron en la decisión de abandonar los estudios

**Algunas consideraciones de las recomendaciones realizadas por los estudiantes**

Encuestas a realizar: **569**
Se realizaron: **472**
Salidas del país: **255**
Encuestas físicas realizadas: **217**
Estudiantes que se negaron a ser entrevistados y que no fueron localizados: **97**
Total de estudiantes que hicieron recomendaciones: **113**
Total de recomendaciones realizadas: **212**

Los % más relevantes estuvieron relacionadas con:

1. El 34 % con la atención integral de los profesores.
2. El 26 % con el plan de estudio.
3. El 32 % con la gestión de la universidad.
4. El 8 % en otros aspectos.

En cuanto a la atención de los profesores los aspectos más señalados fueron en orden de % de aparición:

- ✓ Necesidad de mayor ayuda de los profesores.
- ✓ Tratamiento más amigable de los profesores.
- ✓ Mayor preocupación de los profesores a los problemas personales de los estudiantes.
- ✓ Mayor preparación de los profesores jóvenes que imparten clases prácticas y laboratorios, sobre todo cuando las asignaturas se imparten de manera no tradicional en situaciones emergentes.
- ✓ Mayor comunicación estudiante – profesor.

En cuanto a criterios del plan de estudio los aspectos más señalados fueron en orden de % de aparición:

- ✓ Necesidad de la actualización sistemática del plan de estudio.
- ✓ Mayor vínculo teoría-practica en todas las actividades docentes aprovechando el vínculo universidad-empresa.
- ✓ Mayor aprovechamiento de la universidad en la práctica laboral de manera que se vincule la docencia con lo que se observa en la producción.
- ✓ Asignaturas que requieren de una mayor infraestructura informática y tienen en su diseño pocos laboratorios.
- ✓ Mayor presencia de soluciones prácticas reales en las clases más apegadas a problemas reales-

En cuanto a criterios relacionados con la gestión de la universidad los aspectos más señalados fueron en orden de % de aparición:

- ✓ Tener más en cuenta la opinión de los estudiantes.
- ✓ Intensificar la atención al problema del transporte.
- ✓ Otorgar becas a estudiantes de La Habana con domicilio lejanos al Centro.
- ✓ Aprovechar mejor el vínculo universidad-empresa. Por ejemplo, venta a plazos convenida con las empresas en el vínculo universidad-empresa de equipos de cómputo.
- ✓ Necesidad de entregar bibliografía impresa.
- ✓ Mejorar la atención social de los estudiantes y sobre todo la existencia de niveles de ayuda integral.
- ✓ Mejorar las instalaciones en la universidad, sobre todo en la beca y los servicios a los becados.

En % menores se destacan:

- ✓ La necesidad de que se coordine con la enseñanza media un proyecto que incluya:
- ✓ Orientación vocacional desde la enseñanza media y media superior.
- ✓ Sistema de trabajo que incluya la preparación del estudiante para la enseñanza superior.
- ✓ Análisis de contenidos de las asignaturas básicas que incluya la de ciencias sociales.

- ✓ Establecer un diálogo con el MININT y el MINFAR para el licenciamiento de los cadetes que quieren seguir estudiando y deben pasar 2 años sin estudiar.
- ✓ El traslado de la Facultad de Eléctrica para el campus universitario.
- ✓ Estudiar la problemática del rechazo de los estudiantes a las asignaturas de CS y PPD con vistas a eliminarlo.
- ✓ Mayor impacto de las organizaciones juveniles en la vida universitaria.
- ✓ Necesidad de agilizar las gestiones en la secretaría.
- ✓ Mantener la limpieza en aulas y baños con la participación de los estudiantes.
- ✓ Establecer mecanismos que permitan a los estudiantes con dificultades económicas trabajar por contrato en servicios de la universidad.

**Teniendo en cuenta el resultado del análisis de las respuestas, así como de las recomendaciones hechas por los propios estudiantes se realizan las siguientes propuestas:**

1. Crear vías de atención integral a los estudiantes que apoyen el trabajo de los profesores y colectivos de año en el abordaje de los problemas que presentan los estudiantes y que puedan afectar sus resultados docentes. Aquí puede incluirse un centro que oferte consultorías, programas de mentorías y otros.
2. Facilitar la contratación de los estudiantes con problemas económicos en áreas de servicios de manera que no se desvinculen de la universidad por ese motivo.
3. Garantizar en el Plan de Actividades Metodológicas (PAM) de cada departamento docente la preparación metodológica de las asignaturas en las modalidades presencial, semipresencial e híbrida y que los resultados formen parte de la carpeta metodológica de cada asignatura.
4. Garantizar en el PAM de cada departamento docente la preparación de los alumnos ayudantes, alumnos de alto aprovechamiento que imparten docencia y los profesores jóvenes.
5. Diseñar asignaturas propedéuticas de Matemática Básica, Física Básica y ofertarlas como cursos opcionales a los estudiantes de 1er año con dificultades académicas en esas asignaturas. Estos cursos pueden ser impartidos por alumnos ayudantes.
6. Facilitar la inserción como trabajadores en la universidad a los estudiantes que solicitan la baja del MININT y el MINFAR
7. Crear un vínculo de trabajo MES-MINED con el objetivo de trazar estrategias orientadas a la formación vocacional y otros factores que influyan en el modo de actuar de los estudiantes durante su integración a la universidad.
8. Propiciar a través de la atención personalizada que los estudiantes, causantes de baja en la universidad por diferentes motivos, continúen estudiando en cualquiera de las modalidades de estudio que oferta la educación superior.

## 3. Conclusiones

La aplicación de una encuesta a los estudiantes que causaron baja permitió estudiar a una población de jóvenes que por diversas razones no continuó sus estudios universitarios. Teniendo en cuenta los resultados preliminares obtenidos se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se muestra una tendencia como factor de riesgo al abandono los siguientes factores: la falta de orientación vocacional para la selección de la carrera, problemas de adaptación al entorno universitario y de comunicación profesor – estudiante.
- ✓ No existe un sistema de apoyo y acompañamiento al estudiante, por parte de la institución, durante su período de adaptación a la universidad.
- ✓ A partir de las respuestas y recomendaciones de los estudiantes, fue posible elaborar un conjunto de propuestas para mejorar la gestión de la universidad en la elevación de la retención.
- ✓ Los resultados obtenidos en el presente estudio permitirán continuar la investigación iniciada en el tema en el proyecto Estrategia para incrementar la retención en carreras de ingeniería en Cuba, perteneciente al programa sectorial “Educación Superior y desarrollo sostenible”, aprobado en enero del 2024, en el que participan, además de la CUJAE, las universidades cubanas siguientes: de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, de la Isla de la Juventud “Jesús Montané Oropesa”, de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, de Oriente y de Ciencias Informáticas UCI

## 4. REFERENCIAS

1. CARLOS RODRÍGUEZ, Eugenio; VEGA CRUZ, Gilda. "Diseño de un proyecto de investigación: estrategia para incrementar la retención en la CUJAE". Memorias del X CLABES https://ridda2.utp.ac.pa./14916, 2020

2. VEGA CRUZ, Gilda; FERRAT ZALDO, Angel. "Una experiencia educativa: Un Programa de Mentoría Estudiantil en Ingeniería Automática de la CUJAE". Libro de Actas Quinta Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (V CLABES), Talca, Chile. http://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/view/1157, 2015

3. VEGA CRUZ, Gilda; ALFONSO PÉREZ, Ibette. "Observatorio para la retención universitaria en la CUJAE como resultado del Proyecto ALFA-GUIA". En D. Murillo, D. Saavedra y M. Fernández (Ed.) Memorias de la VIII Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (VIII CLABES) (pp. 927-935), Panamá: Editorial UTP, 2018

4. VEGA CRUZ, Gilda; FERRAT ZALDO, Angel. "Diseño y planificación de un programa de Mentoría". En J. Arriaga (Ed.) Memorias de la II Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (II CLABES) (pp. 1323-329), Madrid: Departamento de Publicaciones de la E. U. I. T. de Telecomunicaciones, 2012

5. VEGA CRUZ, Gilda; FERRAT ZALDO, Angel. "Implantación de un programa de mentoría en la carrera de Ingeniería Automática del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" de Cuba". En J. Arriaga (Ed.) Memorias de la III Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (III CLABES) (pp. 525-533), Madrid: Departamento de Publicaciones de la E. U. I. T. de Telecomunicaciones, 2013

6. VEGA CRUZ, Gilda; FERRAT ZALDO, Angel. "Relación entre la Matemática y la Física como una vía de integración de los estudiantes de ingeniería". En D. Murillo, C. Pavón, X. Sánchez y V. Guevara (Ed.) Memorias de la VI Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (VI CLABES) (pp. 635-643), Quito: EPN Editorial, 2016

7. VEGA CRUZ, Gilda; FERRAT ZALDO, Angel. "Integración de la Física al proyecto integrador de Ingeniería Automática". En D. Murillo, C. Pavón, X. Sánchez y V. Guevara (Ed.) Memorias de la VI Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (VI CLABES) (pp. 624-632), Quito: EPN Editorial, 2016

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL SISTEMA DE TAREAS, COMO CÉLULA DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS SOCIALES

**Autor**: **Manuel de la Rúa Batistapau**.

Doctor en Ciencia. Prof. Titular. ICB. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverria". Cujae .
email mrua@icb.cujae.edu.cu

> "Una de las cosas que tiene que lograr la escuela es enseñar a estudiar, a ser autodidacta, porque la inmensa mayoría de los conocimientos no lo va a adquirir en la escuela"
> (Castro, F 1992) [1]

**RESUMEN**

En el trabajo se presenta y fundamenta una experiencia de estructuración sistémica de las tareas docentes en dos asignaturas de la disciplina marxismo-leninismo (filosofía e historia), a fin de propiciar el autodesarrollo y el autoaprendizaje dirigido, desde las ciencias sociales; así como el desarrollo del pensamiento crítico y de una concepción del mundo coherente con las condiciones presentes y futuras de nuestro país. Se proponen los conceptos de tarea docente (considerada como célula de la actividad docente) y de sistema de tareas, se fundamenta teóricamente la necesidad de la estructuración sistémica de las tareas, se presenta la estructura del sistema y se comparten las exigencias a considerar en la formulación de las tareas. La conclusión fundamental del trabajo es que la aplicación de tareas docentes organizadas en forma de sistema puede favorecer la activación del Proceso Docente Educativo, garantizar conocimientos y habilidades sólidos y duraderos, así como aportar métodos para su adquisición y aplicación, desarrollando la independencia cognoscitiva de los estudiantes.

**PALABRAS CLAVE:** autoaprendizaje, célula, tarea, sistema de tareas, enseñanza de las ciencias sociales.

## THE TASK SYSTEM, AS A CELL FOR TEACHING SOCIAL SCIENCES

**ABSTRACT**

The paper presents and justifies an experience of systemic structuring of teaching tasks in two subjects of the discipline Marxism-Leninism (philosophy and history), in order to promote self-development and guided self-learning, from the social sciences; as well as the development of critical thinking and a conception of the world consistent with the present and future conditions of our country. The concepts of teaching task (considered as the cell of teaching activity) and task system are proposed, the need for systemic structuring of tasks is theoretically based, The structure of the system is presented and the requirements to be considered in the formulation of tasks are shared. The fundamental conclusion of the work is that the application of teaching tasks organized in the form of a system can favor the activation of the Educational Teaching Process, ensure solid and lasting knowledge and skills, as well as providing methods for their acquisition and application, developing the cognitive independence of students.

**KEY WORDS**: self-learning, cell, task, task system, social science teaching.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contemporaneidad, con el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación, la tendencia globalizadora, la creciente depauperación de la naturaleza, la hegemonía cultural y las crisis económicas, políticas y de valores, impactan y demandan radicales transformaciones en el ámbito educativo. Y exigen que la formación no se limite al desarrollo de los conocimientos, habilidades y valores, sino que cada vez con más fuerza se desarrolle la personalidad y en particular el pensamiento crítico y reflexivo que permita la orientación y toma de decisiones autónomas en condiciones complejas; labor en la que las ciencias sociales tienen una gran responsabilidad

La sociedad necesita profesionales que sean capaces de resolver los problemas básicos y frecuentes de la profesión, al tiempo en que actúa en la comunidad y la sociedad en general de manera creativa e innovadora, lo cual demanda de la Universidad la concepción e implementación de procesos formativos que propicien la formación y desarrollo de un modo de actuación coherente con las condiciones de la sociedad que en el futuro queremos construir.

Este modelo de profesional exige de la educación flexibilizar los currículos atendiendo al contexto sociohistórico, transformar nuestras metodologías de enseñanza, disminuir el volumen de información a favor de las esencias en las diferentes ramas del saber y aumentar la complejidad de las tareas favoreciendo el desarrollo de las potencialidades reflexivas, creativas, argumentativas y de autorregulación en los sujetos participantes en el proceso formativo. Para lo cual es imprescindible lograr el vínculo de la escuela con la vida, de la teoría con la práctica socia y profesional

Es por eso que se presenta ante nuestras instituciones universitarias, el reto de lograr una formación profesional a tono con los progresos científicos y tecnológicos que exigen un sujeto activo, comprometido y con un desarrollo integral que debe reflejarse en su actuación en las más diversas esferas de actuación dentro de la vida cotidiana, garantizando su participación efectiva en lo profesional, familiar y social.

Para lo que es necesario transformar la enseñanza de las ciencias sociales y diseñar un proceso de enseñanza-aprendizaje en el que se conciban, metodologías, sistemas de tareas, estrategias y medios que favorezcan el crecimiento de los individuos, se potencien sus capacidades para enfrentar los problemas profesionales y de la vida cotidiana de forma propositiva, constructiva, crítica, reflexiva y con autonomía; de forma tal, que puedan crearse las bases para su constante autoperfeccionamiento y crecimiento personal.

En esta intención, la actividad docente en clases frontales y entre encuentros presenciales y/o “virtuales” debe ser intencionada y organizada de modo sistémico y sistemático. Objetivo en el que se devela a la tarea docente como un elemento estructurador y fundamental de la enseñanza-aprendizaje y del desarrollo del pensamiento y de la personalidad crítica, creativa y autógena de los estudiantes.

Mediante la tarea se le ofrece al estudiante una meta, un objetivo a alcanzar y un enfoque para su cumplimiento que condiciona el dominio de contenidos específicos a la actividad que se pretende transformar, y se concretan las intenciones previstas en los diferentes niveles del currículo. En particular del programa de estudio de las asignaturas.

El estudio del papel de la tarea en el proceso de enseñanza- aprendizaje, y la búsqueda de una propuesta sistémica de trabajo común para las asignaturas de ciencias sociales y humanistas es el objetivo de nuestra experimentación, de la cual se presentan en apretada síntesis los resultados en esta ponencia.

## 2. DESARROLLO

El término tarea es utilizado en los más diversos contextos, pero en el campo educacional se utiliza para expresar los fines de la actividad pedagógica y referirse al cumplimiento de los objetivos de la actividad de enseñanza- aprendizaje. Se han desarrollado numerosos estudios acerca de la tarea, desde diferentes concepciones filosóficas, psicológicas y pedagógicas , pero los cambios vertiginosos que se han producido en los últimos años ( integración de las tecnologías al PEA, ajustes curriculares constantes, desarticulación de los diferentes niveles del sistema nacional de educación, reconfiguración del imaginario social y otros) y su impacto en la actividad docente-educativa permiten afirmar que no es ocioso seguir reflexionando en esta dirección

En particular en el proceso de enseñanza-aprendizaje que se realiza desde la disciplina que integra todo el ciclo de formación de las ciencias sociales y humanísticas, que tiene como objetivo general la formación de la concepción del mundo de los ingenieros que necesita nuestro país, se realiza un sistema de influencias dirigidas e intencionadas que se coordinan desde los componentes estructurales y funcionales del proceso que aparecen en diferentes planos de generalidad desde los planes de estudio de cada carrera en los que se establece la visión integral de todo el proceso, hasta su unidad menor, la tarea docente, que se da en las clases y en otras formas de actividad docente y extra clases, aprovechando las ventajas de las diferentes modalidades de estudio y las potencialidades de la utilización de las tecnologías de todo tipo.

Esta intención se ha centrado la atención de los autores que pretenden contribuir al desarrollo intelectual de los estudiantes, una de las más importantes exigencias que la sociedad plantea a la universidad y al Sistema Nacional de Educación, en general. Si además se reconoce que “El proceso de enseñanza-aprendizaje tiene en su centro al alumno y parte… del contexto donde se desenvuelven los albores del nuevo milenio, nadie duda de la necesidad de dirigir científicamente toda organización que requiera de un funcionamiento eficaz y eficiente.” [2]. Entonces, es posible revelar en toda su importancia a la tera docente dentro del sistema de influencias de nuestras asignaturas.

Las tareas, en el marco del proceso de enseñanza – aprendizaje de las ciencias sociales se refieren desde diferentes denominaciones, en correspondencia con los enfoques pedagógicos de partida y de si los énfasis de la actividad se colocan en el profesor, o en el alumno durante su diseño, ejecución y control. Como fundamentamos la organización y desarrollo de nuestra actividad pedagógica desde el enfoque histórico-Cultura, la teoría de la actividad y las concepciones de al educación popular latinoamericana, enfrentamos la clase como una actividad docente y la **tarea** la entendemos; como **la actividad individual y/o colectiva, de duración finita, que se desarrolla en una situación concreta de enseñanza- aprendizaje en la que, atendiendo a un objetivo y en determinadas condiciones se condiciona el proceso de apropiación de los contenidos socialmente significativos al proceso de formación.**

Desde nuestra concepción el profesor asume la dirección consciente y creadora del proceso, planificando y organizando la actividad docente, condicionando y orientando el trabajo de los alumnos y evaluando el resultado del proceso y del aprendizaje. En su función de coordinación, trabaja con grupos de estudiantes brindándoles elementos para el análisis, que provienen de los referentes teóricos – metodológicos sistematizados en la parte de la ciencia y de la cultura que se transfiere como contenido y con el propósito de facilitarles logren vencer los obstáculos que la tarea docente representa al tiempo que promueve el desarrollo de la personalidad y los valores que se requiere a futuro

Y es mediante las tareas que se ubica a los estudiantes en situaciones que representan un reto para su forma de pensar, sentir y actuar, es decir, para su desarrollo en medio de las contradicciones entre objetivo- contenido y método y entre lo que se piensa, los que se dice y lo que se hace. En la a tarea es donde se concreta al máximo la relación entre todos los componentes personales y no personales de la didáctica, ser el elemento básico en los niveles de sistematicidad del objetivo desde la carrera, año, disciplina, asignatura, tema, clase, tarea.

Es por eso que concordamos con Machado y Montes de Oca en el sentido de que: “Es entonces en la tarea donde se concretan las acciones y operaciones a realizar en la clase y fuera de ella, es decir los cursistas aprenden ejecutando las acciones que el docente concibe como concreción de su actividad en la clase, las

cuales se presentan en forma de tarea", [3] ya que coloca en la tarea el peso del aprendizaje vivencial de los alumnos en un proceso, condicionado o creado por la actividad y orientación del docente.

No se trata de "programar" la conducta de los profesores y alumnos como un robot, sino de inducir y capacitar a los sujetos involucrados en el proceso docente a orientarse en la naturaleza y condiciones de las tareas y problemas básicos y frecuentes de la profesión y, sobre esta base, proyectar su actuación para la apropiación de los contenidos y la asunción de los modos de actuación profesionales. Se trata de desarrollar en los alumnos conocimientos, hábitos, habilidades y valores que sustenten el pensamiento crítico y una conducta proactiva y consciente

Para esto es fundamental la clara orientación de las tareas, que condicionen, la toma de decisiones responsables con respecto a la misma, así como un margen de flexibilidad en el que los estudiantes se vean obligados a desarrollar su iniciativa, a gestionar la información, a consulten bibliografías diversas en formatos y en contenidos y enfoques que les permitan construir sus posiciones fundamentadas con compromiso y responsabilidad

Un considerable número de autores que han tratado la temática, en sus pronunciamientos en cuanto a este particular, relacionan a las tareas docentes con la actuación del alumno en la apropiación de los conocimientos, debido a la posibilidad que existe de que la solución de tareas llegue a convertirse en una necesidad para el estudiante y despierte en el mismo interés hacia el estudio y la búsqueda de conocimientos

Nosotros también le concedemos un papel determinante a las tareas docentes en la orientación y realización de la actuación cognoscitiva. La búsqueda y asimilación de conocimientos constituye el objeto hacia el que las tareas docentes orientan la actuación de los estudiantes, considerando que es de esta manera en que se puede llegar a satisfacer la necesidad cognoscitiva que se origina ante la situación presentada por el profesor como tarea. Es decir, que las tareas docentes propician la movilización de las capacidades del intelecto y conducen a la interacción de los estudiantes con el objeto de estudio, a la materialización de la actuación discente.

Las tareas docentes juegan un papel esencial en el proceso de aprendizaje dirigido de las ciencias sociales, de hecho Carlos Álvarez de Zayas afirma que "…la tarea docente constituye la célula fundamental del proceso de enseñanza–aprendizaje" [4] Posición que aceptamos por considerar que en la tarea se encuentran todos los elementos componentes del proceso de enseñanza- aprendizaje, a saber, los sujetos (profesor, alumnos, grupo) y los componentes no personales (objetivo, contenidos, método, medio, forma y evaluación) y además que es imposible descomponerla en subsistemas de orden menor, sin que se pierda su esencia.

También para C. Álvarez "la tarea docente, …es aquel proceso que se realiza en ciertas circunstancias pedagógicas, con el fin de alcanzar un objetivo de carácter elemental, de resolver el problema planteado por el profesor". [5]. Pero a pesar de coincidir con éste autor, en cuanto a considerar a la tarea docente como la célula del Proceso Docente Educativo, a partir de haber identificado en ella a los componentes del proceso, tenemos diferencias de criterios ya que no la vemos a ella misma como un proceso sino como el elemento que mueve al alumno a realizar un proceso, a llevar a cabo una actuación para encontrar una solución, lo que implica el empleo de conocimientos y habilidades previos y la consiguiente búsqueda y formación de nuevos conocimientos, habilidades y valores.

En nuestra experiencia la tarea, como el nivel básico en la concreción del objetivo, debe diseñarse como un sistema que privilegie el trabajo independiente de los estudiantes en la aplicación de los métodos de las ciencias, lo que debe favorecer el proceso de profesionalización de la enseñanza de las ciencias sociales. Es comúnmente aceptado que la ejecución de una tarea docente no garantiza el dominio por el estudiante de una nueva habilidad o de un valor, pero el sistema de tareas docentes sí.

Visto así se puede afirmar que las influencias docentes deben estructurarse como un sistema, por lo que su concreción debe darse mediante un sistema de tareas. Para lograr la dirección eficaz del desarrollo de

la independencia cognoscitiva y del autodesarrollo, no podemos trabajar con tareas aisladas y desconectadas entre sí. Para lo cual es necesario que además de revelar en cada tarea la relación del problema que se plantea con el objetivo a cumplir; las tareas se estructuren como un sistema coherente, armónico y fundamentado en su integridad

Este sistema de tareas debe contribuir a que los estudiantes asuman progresivamente un modo de actuación profesional, desarrollen una concepción del mundo coherente con el contexto cubano actual y futuro, donde evidencien el compromiso, el pensamiento crítico, la independencia y la creatividad; así como los procedimientos y estrategias de trabajo que les permitan apropiarse de los contenidos de nuestras asignaturas en toda su complejidad y logren la unidad afectivo-cognitiva necesaria para superar el momento reproductivo de las actitudes socialmente significativas.

Para nuestro objetivo fundamental, la formación de la concepción del mundo, es vital el logro del establecimiento de profundas relaciones interdisciplinarias entre las asignaturas de la disciplina Marxismo leninismo e historia. Es por eso que compartimos la opinión de Pons N y Gonzales Y [6] cuando expresan que: “La interdisciplinariedad constituye una plataforma teórico-metodológica-cultural necesario para cualquier contexto, en específico la formación profesional. Por ello, la aplicación de un sistema de tareas docentes con enfoque interdisciplinar que se materializa en el proceso de enseñanza aprendizaje de las asignaturas, contribuye a la formación integral …” profesional, en su caso farmacéutico.

Tan es así que el sistema de tareas debe contribuir al desarrollo personal y profesional de los y las estudiantes, por lo que su concepción, diseño, desarrollo y evaluación debe implicar un trabajo interdisciplinar en las diferentes estructuras y niveles del trabajo metodológico con vistas a lograr los objetivos de la carrera.

Para continuar avanzando hacia la presentación del sistema de tareas estructurado para la enseñanza de las asignaturas de la disciplina de Marxismo- leninismo en carreras de formación de ingenieros, es útil declarar que entendemos como **Sistema de Tareas; al conjunto estructurado y jerárquicamente organizado de actividades de duración finita destinadas a satisfacer el propósito determinado por los objetivos generales de la asignatura o disciplina.**

El sistema de tareas aplicado durante los dos semestres del presente curso y en las asignaturas del primer año de la carrera de Biomédica (Filosofía e historia de Cuba), está estructurado con: tareas de participación sin calificación, Tareas individuales y generales, Tareas colectivas, Tareas electivas, y Trabajo Final de la asignatura. Con tres niveles de jerarquía. Nivel 1 Participación individual sin calificación Nivel 2 Participación individual con calificación, Nivel 3 tareas colectivas e integradoras. Estas tareas se cumplen en modalidad presencia, semi presencial y a distancia y en diferentes entornos virtuales de relación docente; y en cada uno de los temas se articulan y relacionan en el cumplimiento de los objetivos tareas de todas las clasificaciones y niveles, a fin de lograr la sinergia entre ellas que contribuya al dominio de los contenidos en la conformación de la concepción del mundo marxista leninista para la interpretación de la realidad cotidiana y las contradicciones de la construcción del socialismo en Cuba.

En la asignatura de filosofía se incorporaron al sistema 15 actividades (De ellas 3 de participación sin calificación, 6 individuales generales, 1 electivas, 3 colectivas, 1 de construcción colectiva y 1 colectiva integradora). Mientras que su estructuración para la asignatura de Historia de Cuba se incorporaron 16 actividades (de ellas 4 de participación sin calificación, 5 individuales generales, 3 electivas, 2 colectivas y 2 colectiva e integradora)

En la tabla a continuación se puede apreciar las relaciones y la variedad en la concesión de las tareas del sistema de tareas de cada asignatura

Tabla No 1 Tipología de tareas por asignaturas y niveles

| Tareas | Filosofía | Historia de Cuba | Nivel |
|---|---|---|---|
| Participación | Debate Virtual<br>Retos de fin de semana | Retos de fin de semana<br>Selecciona y argumenta la frase<br>Ejemplos de Amistad y su papel en l Historia | Participación individual sin calificación |
| Individuales generales | Respuestas a preguntas<br>Conceptualización de términos<br>Tribuna abierta | Presenta libro, objeto o foto de la época estudiada<br>5ta Generación en la historia<br>Cuadro comparativo<br>Significación del concepto Revolución | Participación individual con calificación |
| Colectivas | Ideas esenciales<br>La rifa de términos<br>Conciencia. Moral y religión<br>Conformando el glosario | La tendedera sobre la obra de Martí<br>Pensamiento revolucionario cubano | tareas colectivas e integradoras |
| Electivas | Escoja un texto | Visita a museos<br>Visionado de Documentales<br>Respuesta a preguntas | Participación individual con calificación |
| Trabajo final | Aprendiendo de los otros | Discusión confrontación<br>Aprendiendo de los otros | Tareas colectivas e integradoras |

Teniendo en cuenta que varios autores (Munive A y Hechavarría R 2019 [7], Companioni 2021[8], Castillo Padrón Y y Baute Álvarez M. 2021 [9] Ojeda González J [10] y otros) han profundizado en la determinación de las exigencias para la elaboración de las tareas docentes, queremos compartir las exigencias para las tareas, que proponemos dentro del sistema de tareas propuesto en el interés de lograr un aprendizaje que no sea sólo reproductivo y se garantice un estímulo a la participación y compromiso de los alumnos con el cumplimiento de los objetivos de las asignaturas.

- Deben programarse de manera dosificada, de forma que permita la ejecución de las acciones necesarias para el momento de desarrollo del programa y de los estudiantes.
- Plantear con claridad y precisión los objetivos de las tareas a ejecutar, pero dejando un espacio para la elección personal de las fuentes y los métodos para la solución de las tareas.
- Presentar tareas asequibles a los estudiantes, a pesar de que requiera esfuerzo mental para poder darle cumplimiento.
- Desarrollar progresivamente la independencia cognoscitiva, así como hábitos organizativos para el trabajo y de autoevaluación durante el mismo, estimulando la creatividad y el desarrollo de capacidades integradoras.
- El cumplimiento del trabajo orientado, debe ser controlado y evaluado sistemáticamente por el profesor, brindándole la ayuda necesaria cuando surjan dificultades y realizando los ajustes necesarios en los momentos oportunos.
- Consideración de las características individuales de los sujetos para los cuales se diseñan las tareas.
- Consideración de los recursos materiales (tecnológicos y no tecnológicos) que
- se exige para el cumplimiento de las tareas.
- Propiciar el desarrollo de la capacidad para transformar el método de trabajo en correspondencia con el objeto de la tarea y su carácter, y buscar nuevos procedimientos para su solución.
- Las tareas deben estimular el interés profesional y el compromiso individual y colectivo
- Exigir retos y vencimiento de obstáculos para la toma de decisiones eficientes, éticas y creativas
- Propiciar la autorregulación y la tendencia a la autoperfeccionamiento

Con estas exigencias y estructuradas como un sistema, las tareas permiten hacer más eficiente el sistema de influencias de todo tipo que realizan los profesores, los estudiantes y los grupos durante el proceso de

apropiación de los fundamentos, procedimientos y métodos para el análisis de la compleja realidad social que tienen que enfrentar los profesionales cubanos para salvaguardar las conquistas de la Revolución

## 3. CONCLUSIONES

- La aplicación de tareas docentes organizadas en forma de sistema puede favorecer la activación del Proceso Docente Educativo, garantizar conocimientos y habilidades sólidos y duraderos, así como aportar métodos para su adquisición y aplicación desarrollando la independencia cognoscitiva de los estudiantes.
- El sistema de tareas propuesto posibilita la vinculación estrecha y adecuada de las asignaturas de la disciplina, así como la actuación social práctica de los futuros ingenieros
- El sistema de tareas implementado durante dos períodos docentes en la práctica pedagógica de las asignaturas de ciencias sociales y humanísticas, alcanza validez al permitir el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes y lograr mayor nivel de independencia cognoscitiva, tomando como base el impacto positivo que se constata entre los estudiantes

## 4. REFERENCIAS

[1] CASTRO, F. (1992) "Discurso pronunciado en la clausura del encuentro "20 años después" [En periódico Granma No.110 Año 28 / Suplemento Especial (martes, 02-06-92), p. 8].
[2] GUERRA TORRES L.A., FAJARDO VÁZQUEZ M., TAMAYO ESPINOSA Y. "Sistema de tareas para favorecer el aprendizaje de la Geografía en 10mo grado." 2019 REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local. Vol. 3 No. 1 enero marzo 2019. RNPS: 2448. redel@udg.co.cu
[3] MACHADO RAMÍREZ Y MONTES DE OCA RECIO.(2021) http://www.campus-oei.org/revista/investigación/742Machado258. PDF . (pág. 7)
[4] ÁLVAREZ DE Z., C. 1992. "La escuela en la vida". Ed. Pueblo y Educación. La Habana. p. 29.
[5] ÁLVAREZ DE Z., C. 1992. "La escuela en la vida". Ed. Pueblo y Educación. La Habana. p. 31
[6]PONS N Y GONZALES Y (2023) "Sistema de tareas docentes interdisciplinario para formar habilidades comunicativas dialógicas en la educación farmacéutica" Atenas, No 61, e10659,1-14, (pág. 11)
[7]. MUNIVE A, HECHAVARRÍA R. (2017) "Integración desde la tarea docente." EFDeportes.com, Revista Digital. [internet] Año19[citado 2017 oct 17]; (199). Disponible en: http://www.efdeportes.com/efd199/integracion-desde-la-tareadocente.htm
[8] COMPANIONI, I. (2021). "Atención educativa integral a educandos con discapacidad intelectual en condiciones de inclusión". Conferencia del I Simposio Internacional virtual de Educación Especial. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez.
[9] CASTILLO PADRÓN Y y BAUTE ÁLVAREZ M. (2021) "Sistema de tareas docentes integradoras: contribucion a la formacion etica profesional de los estudiantes contadores" Conrado vol.17 no.80 Cienfuegos mayo.-jun. 2021 Epub 02-Jun-2021
[10] OJEDA GONZÁLEZ J. Y OTROS "Validación de un sistema de tareas docentes para la formación de la habilidad profesional tratar integralmente el dolor en el modo de actuación del médico general" Medisur vol.19 no.1 Cienfuegos ene.-feb. 2021 Epub 02-Feb-2021

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO SOBRE TRABAJO DE RETENCIÓN UNIVERSITARIA EN LAS UNIVERSIDADES CUBANAS EN LA ÚLTIMA DÉCADA

**Manuel de la Rúa Batistapau 1. María del Carmen Perales Tejeda 2**

1 Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverria, CUJAE, 2 Instituto Técnico Militar "José Martí"
Email mrua@icb.cujae.edu.cu
Email. beto1409hr@gmail.com

**RESUMEN**

En este trabajo se presenta los resultados de un estudio comparado realizado, desde el Programa Sectorial de "Estrategias de retención universitaria en carreras de ingenierías". En el mismo se conceptualiza y enfatiza en los estudios de retención universitaria porque condiciona que no solo se analice el fenómeno sin que se comprometan acciones y no quede en la descripción y medición de sus consecuencias, como frecuentemente ocurre con estudios de otros términos relacionados. Desde esta posición, se exploran los antecedentes, experiencias, vías, métodos empleados en los estudios realizados en el decenio en las universidades cubanas. El objetivo es, presentar los resultados de un estudio comparado de las experiencias de estas seis universidades involucradas e identificar las tendencias del comportamiento de los estudios, los factores vinculados a la retención y las vías y acciones relacionadas con el fenómeno de la retención en carreras de ingenierías en Cuba en el periodo comprendido entre 2013 y 2023. Y se concluye que la distribución temporal de los estudios, la conceptualización de la variable retención y su operacionalización a parir de los factores e indicadores identificados y la relación de acciones para la retención universitaria en las universidades cubanas, resultan un acercamiento útil y posible de generalizar.

**PALABRAS CLAVE:** Estudio comparado, estrategias, retención, experiencias

## STUDY ON UNIVERSITY RETENTION WORK IN CUBAN UNIVERSITIES IN THE LAST DECADE

ABSTRACT: In this Work presents the results of a comparative study carried out, from the Sector Program "University retention strategies in engineering careers" It conceptualizes and emphasizes university retention studies. because it conditions that not only the phenomenon is analyzed without committing to and not remain in the description and measurement of its consequences,actions as is often the case with studies of other related terms. From this position, the antecedents, experiences, paths, methods used in the studies carried out in the decade in Cuban universities are explored. The objective is to present the results of a comparative study of the experiences of these six universities involved. and identify trends in study behavior, factors linked to retention, and pathways and actions related to the phenomenon of retention in engineering careers in Cuba in the period between 2013 and 2023. And it is concluded that the temporal distribution of the studies, the conceptualization of the retention variable and its operationalization operationalization based on the identified factors and indicators and the relationship of actions for university retention in Cuban universities, They are a useful and generalizable approach.

**KEYWORDS:** Comparative study, strategies, retention, experiences

> …" los índices de retención de alumnos en educación superior, con especial atención al primer año, son uno de los indicadores más valorados a nivel internacional para evaluar la capacidad y la eficacia de las instituciones terciarias para retener a los jóvenes en el sistema educativo…"[1].
>
> **Casanova D. en Memorias Claves VIII**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la permanencia y la retención escolar en el nivel universitario han cobrado gran interés a nivel mundial, sobre todo los que se dedican a identificar los distintos factores que inciden en dicho proceso; sin embargo, la determinación de estrategias de retención, su planificación y puesta en práctica no son tan frecuentes y constituyen aún, todo un desafío.

Según el estudio realizado por Marcela Rodríguez Urrego, en su estudio sobre las tendencias en la investigación sobre deserción universitaria en Colombia, en el decenio 2006-2016, el énfasis se ha desplazado de los estudios eminentemente cuantitativos a "la identificación de acciones para su prevención sostenible y particularmente en los últimos años entre el 2011 y el 2016…se evidencia la emergencia de la preocupación por estrategias de retención" [2]. Es así que, aunque las estrategias de retención son un proceso necesario en todos los niveles educacionales, estas cobran mayor relevancia en el nivel universitario, ya que, en las instituciones de Educación Superior, deben resaltar dentro de sus planes de estudios los valores éticos y morales de la sociedad, procurando despertar un espíritu ciudadano, activo y participativo en los estudiantes que ingresan a la universidad.

En Cuba, estas intencionalidades tienen relevancia en las políticas educativas, a partir de que se defiende un modelo de universidad en el que se integre lo científico, lo tecnológico, lo humanista y la innovación desde los primeros momentos de ingreso a las instituciones universitarias; en función del desarrollo de una cultura general integral, que permita la formación de ciudadanos capaces de transformar la sociedad como hombres de pensamiento y acción.

A pesar de que el sistema de enseñanza universitario tiene estos objetivos, ello no asegura que la mayoría de los estudiantes que ingresan a la Educación Superior se gradúen, pues se produce un número considerable de bajas por las más disímiles razones, sobre todo en los primeros años.

Cuando un estudiante causa baja de una carrera, se produce una afectación, no solo individual, sino también institucional y de la propia sociedad dentro de la cual actúa. Esta situación además, pone en tela de juicio la capacidad de las instituciones para el cumplimiento de su objeto social con eficacia y eficiencia y por tanto es objeto de atención para lograr los mayores índices de retención posibles.

Es por eso que, en las últimas décadas, las universidades cubanas se aprecia un mayor énfasis en esta intención que coloca la responsabilidad de las diferentes manifestaciones de estos procesos en manos de la institución y no individualmente en manos de los estudiantes que desertan, abandonan y/o fracasan en la intención de culminar sus estudios profesionales.

En el estudio de las causales de las bajas de los estudiantes universitarios existen múltiples condicionantes, que tienen que ver con aspectos sociales y condiciones particulares del estudiante (situación familiar, contexto socio-económico, capacidad intelectual, intereses y motivaciones, entre otros. Por eso se reconoce la existencia de un conjunto extremadamente grande y variado de variables e indicadores, que intervienen en la explicación de los fenómenos que afectan la retención y la permanencia universitaria; entre ellos se encuentran también, aquellas referidas a la gestión de los procesos universitarios (modelos del profesional, planes de estudio, contenidos, métodos pedagógicos, sistemas de formación, y otros.)

Las primeras, dependen fundamentalmente de las individualidades de los estudiantes, aunque pueden controlarse mediante los sistemas de selección e ingreso, aún a riesgo de limitar el acceso en contra de los intereses de masificación e igualdad de oportunidades que defendemos en nuestras políticas educativas. Pero las referidas al propio proceso de formación, tienen un impacto más generalizado y perfectible en tanto que la retención la definimos como un sistema dirigido y consciente de influencias institucionales sobre las individualidades y los grupos, para para mantener matriculado y que egresen del proceso de formación profesional el máximo de estudiantes posibles.

El hecho de que un estudiante cause baja de su carrera debe ser objeto de preocupación permanente y debe ser estudiado integralmente. Es por eso que existen diversos acercamientos al fenómeno que cobra tintes polisémicos ante la diversidad de interpretaciones y miradas. A saber, fracaso, abandono, deserción, permanencia y retención, son términos que más allá de las precisiones semánticas y científicas estudian el mismo fenómeno desde posturas e intereses distintos.

En nuestro caso, desde el Programa Sectorial de "Estrategias de retención universitaria en carreras de ingeniería" hemos decidido estudiarlo desde la retención, por dos razones básicas. La primera por el contenido social y la responsabilidad institucional que expresa esta mirada y la segunda, porque condiciona que, luego del análisis del fenómeno se comprometan acciones para lograrla y no quede simplemente en la descripción y medición de sus consecuencias, como más frecuentemente ocurre con estudios de los otros términos.

En consonancia con esta posición, es que se exploran los antecedentes, experiencias, vías, métodos y acciones en interés de la retención que se desarrollan en las universidades cubanas y se crearon grupos de investigación en 6 universidades (Universidad de Oriente, Universidad de Camagüey, Universidad de la isla de la Juventud, Universidad de Matanzas y Universidad de las Ciencias informáticas) coordinadas desde la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae).

El objetivo de este trabajo es, por tanto, presentar los resultados de un estudio comparado de las experiencias de estas 6 universidades involucradas e identificar las tendencias del comportamiento de los estudios, los factores vinculados a la retención y las vías y acciones relacionadas con el fenómeno de la retención en carreras de ingeniería en Cuba en el decenio 2013 y 2023**.**

## 2. RESULTADOS:

Dado que se pretende identificar las tendencias del comportamiento de los estudios, los factores vinculados a la retención y las vías y acciones relacionadas con el fenómeno de la retención en carreras de ingeniería en Cuba se presentan los resultados del estudio comparado de las seis universidades muestra y se infiere que sus resultados pueden ser generalizables al resto de las universidades cubanas.

En este primer acercamiento al resultado del proyecto nos enfocamos sobre los 4 aspectos principales a comparar entre las 5 universidades cubanas tomadas como objeto de estudio en el decenio 2013-2023 y estos se definieron como: antecedentes, tendencias en los estudios sobre el tema, factores tenidos en cuenta para el estudio de la retención y las vías y acciones identificadas en los estudios realizados en el decenio. [3].

En relación a los estudios que sirven de antecedentes al análisis actual se identifican un grupo de estudios que se representan en la figura No 1 en una relación espacio temporal que permite encontrar similitudes y concordancias en los estudios y el papel preponderante en los mismos de la participación en los proyectos

ALFA-GUIA donde participaron 16 universidades y en las Conferencias Latinoamericanas sobre el Abandono en la Educación Superior (CLABES), realizadas anualmente durante el período analizado. Esta situación permite explicar que la mayoría de los estudios estén centrados en la deserción y el abandono, expresiones del fenómeno de la retención; comunes a todos los países latinoamericanos, pero que enfatizan en el tratamiento y la responsabilidad individual de los estudiantes.

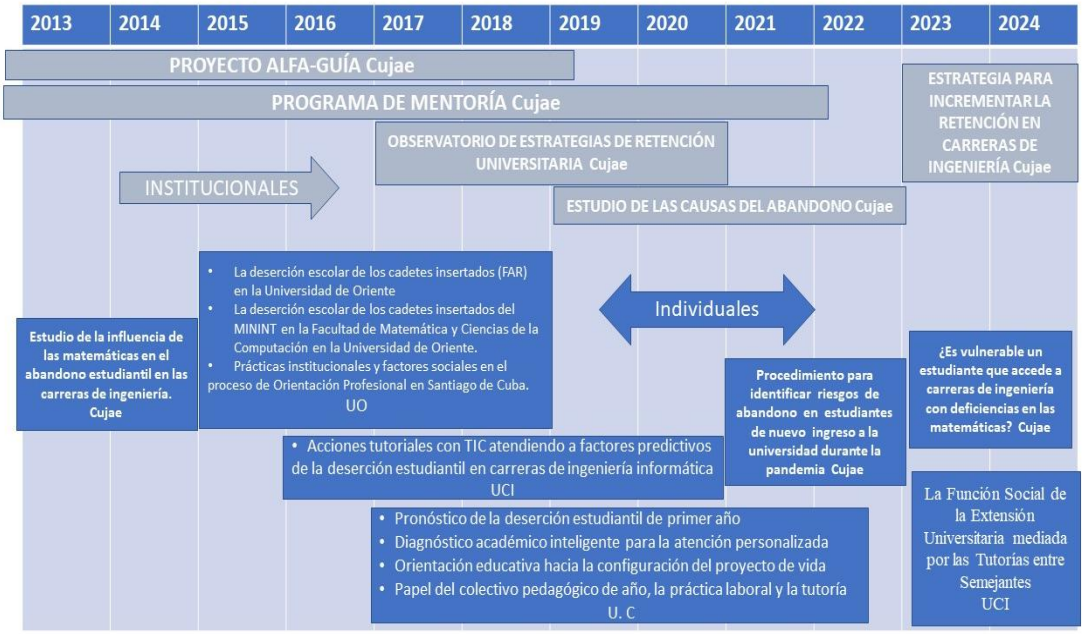



**Figura No1** Distribución temporal de los estudios institucionales/personales relacionados con la retención universitaria

Como se puede inferir de esta distribución temporal, no es hasta el 2016, aproximadamente, que comienzan a reconocerse estudios más dirigidos a reforzar la responsabilidad institucional ante el fenómeno y aparecen estudios de Orientación Profesional, Orientación Educativa, Papel de los colectivos función social de la extensión y en específico, los estudios directamente intencionados a la retención (en forma de Observatorio de Retención y Proyectos de investigación institucional y sectorial, por ejemplo). Aunque en el caso de la Cujae se logró desde el inicio del decenio un Programa de Mentoría dirigido y auspiciado como un interés institucional para mitigar la deserción y el abandono en función del aumento de la retención universitaria

Se puede aseverar que, los estudios de los estudios sobre el abandono, el fracaso escolar y la deserción han sido los que mayor impacto y nivel de aplicación y divulgación han logrado en el decenio, al tiempo que se identifica la tendencia al estudio cada vez más específico y riguroso del fenómeno de la retención universitaria como resultado socialmente deseado y atendido

En relación con las tendencias en los estudios sobre el tema en las 5 universidades participantes se corrobora lo que se puede inferir de la distribución temporal de los estudios, en el sentido de que abandono y deserción han sido los fenómenos estudiados en mayor profundidad. Teniendo en cuenta que

en las carreras de Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) son donde se logra menores niveles de retención, sobre todo en los dos primeros años de las carreras donde se desarrolla el ciclo básico de formación

En el periodo 2013-2023, en las universidades de nuestro estudio comparado, se identifican tres tendencias fundamentales en el desarrollo de los estudios referidos a la relación abandono/ deserción / retención que no representan etapas y que por tanto tienen manifestaciones y resultados en paralelo con las otras tendencias e incluso con entrecruzamientos a partir de los criterios de clasificación utilizados. Estas tendencias pueden formularse de la siguiente manera:

- Realización de estudios pre-institucionales sobre el impacto de los fenómenos del abandono y la deserción escolar con reflejo en eventos internacionales sobre el tema (del tipo CLABES)

Esta tendencia es la de mayor representatividad y antigüedad en el período estudiado, ya que está presente desde el 2013 y se mantiene hasta la actualidad. Está constituida por los estudios realizados bajo la intención internacionalizada de buscar soluciones al abandono y a la deserción realizados por profesores individuales, o pequeños grupos de trabajo con relativo reconocimiento y apoyo institucional, pero con motivaciones y preocupaciones de expresión más puntual con relación a la amplitud de los estudios y las muestras. Sin dudas estos trabajos han sentado las bases para la profundización en la participación y responsabilidad institucional ante las búsquedas de soluciones más integradoras a los retos de la retención universitaria

- Realización de estudios de identificación de causas, factores de riesgo e indicadores para la predicción y atención, con énfasis en el logro de mayor permanencia y retención universitaria.

Esta tendencia comienza a hacerse presente con mayor fuerza a partir del 2016 en que comienzan a estudiarse las prácticas institucionales, el papel de los colectivos, órganos especializados y factores más relevantes que influyen en los procesos relacionados con la retención y se identifican indicadores para predecir el fracaso/ éxito, el abandono /permanencia y la deserción/retención. Esta tendencia enfatiza en la relación de responsabilidad individual e institucional en estos fenómenos y en el interés de predecir para atender. Los resultados de los estudios de esta tendencia han identificado una amplia gama de elementos a tener en cuenta y procedimientos, metodologías y aplicaciones que incorporan la minería de datos y las redes neuronales al análisis y predicción de las manifestaciones de estos fenómenos

- Realización de estudios específicos e institucionales sobre la retención en de carreras de ingeniería y en particular sobre el impacto de las asignaturas del ciclo básico en la misma.

Esta tendencia se hace presente claramente a partir del 2017 donde comienzan a aparecer grupos y órganos (como el observatorio de retención y el instituto de ciencias básicas) en instituciones docentes que trabajan la retención en carreras de ingeniería. Años en que se desarrollan varias investigaciones conducentes a grado científico que por tanto cuentan con el apoyo explícito de las instituciones formadoras y que por tanto representa el interés institucional por enfatizar en la responsabilidad institucional por aumentar la permanencia y la retención universitaria. Losa resultados de estos estudios intentan elaborar estrategias, procedimientos y acciones para las condiciones particulares de funcionamiento de las relaciones entre las asignaturas del ciclo básico de las careras y en particular de las instituciones y las carreras de formación de ingenieros; con la institucionalización y el apoyo de las universidades y del MES

En general se puede afirmar que los estudios han estructurado sus énfasis en la línea abandono, fracaso escolar, deserción, repitencia, permanencia, retención y que, en la actualidad desde el MES, nuestras instituciones y nuestros investigadores están colocando los mayores esfuerzos en la atención y búsqueda

de soluciones de retención universitaria, sin olvidar que es sólo en énfasis y que se debe seguir estudiando particularmente cada uno de los fenómenos que impactan en la retención,

En relación a la determinación de los factores y/o indicadores relacionados con los fenómenos estudiados, a partir de la atención contrastación y comparación de los estudios en las universidades objeto de estudio y de la conceptualización de retención asumida y declarada en la pagina 3 de este trabajo se aplicó el método inductivo y se identificaron regularidades y patrones en los estudios realizados en el decenio- Lo que ha hecho posible adelantar una operacionalización en 4 dimensiones y 37 indicadores que presentamos a continuación en la tabla 1.

Tabla No 1 Operacionalización de la variable retención universitaria

| Dimensiones | Indicadores |
|---|---|
| **Ingreso** | 1. Provincia de procedencia<br>2. Carrera en que ingresó<br>3. índice de ingreso a la universidad<br>4. Resultados de los Exámenes de Ingreso de Matemática y Español<br>5. Actitud personal que asumen los estudiantes hacia su carrera y su motivación<br>6. Opción en la que optó por la carrera que estudia<br>7. Centro de Procedencia<br>8. Vía de ingreso<br>9. Razones del ingreso |
| **Características personológicas** | 1. Sexo<br>2. Color de la piel<br>3. Datos militares<br>4. Tiempo desvinculado del estudio<br>5. Preparación académica precedente<br>6. Manejo de conflictos personales por estudiante (estudio, la familia y el trabajo)<br>7. Estado Civil<br>8. Dependencia económica<br>9. Nivel de escolaridad de los padres<br>10. Sector ocupacional de los padres<br>11. Desempeño docente en la carrera |
| **Socio-económica** | 1. Ambiente social y familiar<br>2. Condiciones del entorno/estado de la vivienda<br>3. Convivencia del estudiante<br>4. Apoyo familiar<br>5. Tecnología con las que cuenta<br>6. Realidad socioeconómica del estudiante<br>7. Condiciones para enfrentar la carrera<br>8. Capital cultural<br>9. Relaciones sociales (entre actores sociales individuales y colectivos)<br>10. Posibilidad económica de sustentar el tiempo de los estudios |
| **Funcionamiento institucional** | 1. Preparación, retroalimentación, sensibilización y compromiso del claustro con la retención<br>2. Interacción de calidad con estudiante para el acompañamiento académico<br>3. Apoyo e influencia del grupo<br>4. Características del ambiente formativo<br>5. Relación profesores- alumnos<br>6. Eficiencia académica |

| | |
|---|---|
| | 7. Funcionamiento de los órganos colectivos de dirección docente |

Las primeras tres dimensiones provienen e impactan directamente de los estudios de abandono, deserción y fracaso y son muy útiles para el diagnóstico, la predicción y planificación de las acciones de mitigación de estos fenómenos. Pero como ya declaramos, no basta con diagnosticar la situación y nuestro objetivo es contribuir a la toma de decisiones, pues concordamos con la conclusión de Dulfay Astrid González cuando reconoce que… "la institución educativa tiene la responsabilidad política de hacer algo por igualar lo que se presentaría, de hecho, como desigual, la evaluación". [4]. En nuestro caso, con el diagnóstico; que difiere de ésta por no partir de normotipos establecidos, sino de la exploración de la situación particular y multifactorial de una realidad determinada.

Los indicadores de estas tres dimensiones , están estrechamente relacionados como causales que inciden en la retención y los factores que lo provocan están regularmente relacionados con los fenómenos sociales que se han generado por la situación económica que atraviesa el país y las motivaciones externas de mejora y superación, así mismo la necesidad de obtener una remuneración que le facilite a los estudiantes asumir los gastos necesarios e imprescindibles en los hogares, donde muchos de nuestros estudiantes son padres y madres de familia o responsables de algún familiar identificado como vulnerable

Mientras que la cuarta dimensión se ocupa de los indicadore directamente relacionados con el concepto asumido de la variable de retención universitaria que asumimos. Pero la relación entre los fenómenos relacionados es tan estrecha que es imposible determinar las acciones de retención ignorando las manifestaciones de los fenómenos mencionados

El estudio comparado realizado nos permite identificar un conjunto de vías y acciones que han sido resultado de los estudios realizados en las universidades cubanas en el decenio 2013 – 2023 y que representan una generalización de posible aplicación en el contexto de las universidades cubanas entre las que se destacan:

- Identificar, seleccionar y gestionar información sobre los problemas de la retención universitaria, de modo que permita el diagnóstico permanente del fenómeno en las universidades.

- Aprovechar las actividades extracurriculares para desarrollar integración y sentido de pertenencia a las carreras

- Realizar acciones de "contención" luego de los cortes evaluativos periódicos, con los estudiantes con problemas, en cada una de las modalidades de curso.

- Convocatoria permanente desde el Instituto de Ciencias Básicas y la Federación Estudiantil Universitaria, de acciones de tutorías y mentoría por pares, en horario nocturno en la Beca y de la atención y consulta de profesores a estudiantes con problemas en física y matemática en el primer año de la carrera

- Incentivar el énfasis del trabajo metodológico, en el dominio de los reglamentos y herramientas docentes y de comunicación por parte de los profesores.

- Establecer estrategias de seguimiento, evaluación y alerta temprana, a través de la información recolectada sobre el fenómeno

- Fortalecer el Movimiento de Alumnos Ayudantes, otorgándoles mayor protagonismo docente y de atención y asesoramiento a otros estudiantes.

- Crear y fortalecer espacios de consultoría (legal, psicológica y/o pedagógica) a fin de minimizar y solucionar tempranamente los conflictos.

- Elevar el trabajo de orientación vocacional.

- Realizar más actividades y eventos de carácter motivacional a lo largo de la carrera

- Vincular al estudiante desde el inicio de la carrera a entidades, procesos y profesionales

- Aumentar y mejorar los medios y condiciones de estudio y vida universitaria

- Trabajar por lograr una comunicación estable y armónica entre los propios estudiantes de un año y sus profesores

- Actualización constante de los diagnósticos integrales de los estudiantes y utilización con fines de monitoreo y atención personalizada

- Creación de áreas u órganos de Bienestar Universitario

- Organizar las Tutorías entre Semejantes y las mentorías, no sólo en la actividad docente sino también en la extensionista

- Capacitar a los docentes para la realización de la Orientación Profesional y la orientación educativa en función de lograr la permanencia y retención universitaria

- Organizar seminarios científico-metodológicos para exponer las experiencias e innovaciones en el proceso formativo

- Realizar sistemáticamente estudios de satisfacción de los estudiantes con el proceso de formación

- Establecer vías para comunicar los monitoreos o diagnósticos permanentes al colectivo de carrera, al colectivo de año, al grupo estudiantil y a los estudiantes individualmente

- Definición de estrategias educativas para el perfeccionamiento de la gestión del proceso formativo en el primer año de las carreras.

- Proponer rediseños de los programas y actividades de las asignaturas del ciclo básico de formación, incrementando las actividades prácticas y la interdisciplinariedad

Por supuesto que estas acciones no agotan las posibilidades y la creatividad lograda en el estudio, sino que pretende resaltar las acciones más comunes y representativas

## 3. DISCUSIÓN.

En el campo teórico de este objeto de estudio se mantiene el estudio y discusión de un grupo de fenómenos, íntimamente relacionados, que impactan en la eficiencia de los procesos formativos y de la retención universitaria. A saber: rendimiento académico, abandono, deserción, rezago, reprobación, repitencia, éxito y fracaso académico y otros; sobre los que existe una gran variedad de interpretaciones y falta de claridad conceptual. En esas condiciones se hace complejo, además abordar el tema desde el

interés institucional por la manifestación en acciones para la retención y el estudio de los factores que permiten predecir las acciones de mayor éxito y eficacia en el logro de la misma.

Concordando con Ordaz y García [5] en que la mayoría de los estudios reportan la influencia determinante de factores sociodemográficos y personales previos al ingreso, sobre los que la institución tiene poco o ninguna influencia de mejora, resaltamos como fundamentos otro grupo de investigaciones que profundizan en factores de tipo académico e institucional como la complejidad y desarrollo de los planes de estudios, el mejoramiento del ambiente institucional, la orientación profesional, el manejo de técnicas de estudio, la práctica laboral, el funcionamiento de las becas y la satisfacción de expectativas. (Guzmán, 2012; Núñez, y otros 2014, Márquez, 2015; Espinosa, 2016; Sandoval 2017, Ordaz y García, 2018)

En este sentido al igual que Guzmán, [6] nos planteamos que, enfocar en el rendimiento académico nos permitiría encontrar factores que afectan de forma positiva o negativa la retención y que de esta manera se podría contar con elementos para prevenir y evitar el abandono estudiantil; por lo que elaboramos una encuesta para profundizar en los resultados docentes de nuestros alumnos de primer año, como parte de un estudio que relacionara ingreso, proceso y abandono.

Del mismo modo defendemos, como Sandoval [7], centrar el estudio de los factores del abandono estudiantil universitario, desde un enfoque cualitativo, que permitiera obtener información relevante y significativa, para la toma de decisiones y tratar de obtener evidencias del impacto en la retención que pudiera tener la relación rendimiento académico (resultados docentes) y el abandono

Por último, es de destacar el interés de propiciar la organización de la labor educativa para mejorar la retención estudiantil universitaria que está expresado en el patrón de calidad de carreras universitarias [8] donde, en su página 10, reconoce como uno de los elementos a considerar para acreditar las carreras universitarias en su variable Estudiantes; que: “Los estudiantes ingresan a la carrera por diversas vías, logran estabilidad y permanencia como resultado de la labor educativa”

En resumen, a partir de los resultados del estudio realizado, se puede destacar la importancia de los factores rendimiento académico, relación con los profesores y otros agentes educativos y dedicación al estudio; como los de mayor influencia en el fenómeno de la retención universitaria. Por tanto, las estrategias de retención deben contribuir a minimizar su incidencia negativa, para lo cual resulta esencial potenciar el trabajo de mentoría y logar establecer mecanismos de coordinación entre servicios y departamentos de las facultades, a fin de dotar de mayor calidad, tanto al sistema de información y orientación al estudiante como a la propia docencia universitaria y el clima escolar, proporcionando un mejor soporte a los estudiantes.

## 4. CONCLUSIONES

- A partir de los resultados del estudio comparado ha sido posible identificar las tendencias del comportamiento de los estudios, los factores vinculados a la retención y las vías y acciones relacionadas con el fenómeno de la retención en carreras de ingeniería en Cuba en el decenio 2013 y 2023 y estas resultan una sólida base para la continuidad de las investigaciones que al respecto se realizan en la actualidad
- La distribución temporal de los estudios, la conceptualización de la variable retención y su operacionalización a parir de los factores e indicadores identificados y la relación de acciones para la retención universitaria en las universidades cubanas resultan un acercamiento útil y posible de generalizar

## 5. REFERENCIAS

1 CASANOVA D Y OTROS. Motivos de abandono de los estudiantes de la universidad católica de la santísima concepción (en Memorias de la Octava Conferencia Panamericana sobre el Abandono en la Educación Superior. ClABES VIII. Panamá.) Noviembre 2018. Pág. 160-170.
2 RODRÍGUEZ, M. La investigación sobre deserción universitaria en Colombia 2006-2016. Tendencias y resultados. Pedagogía y Saberes. 2019.51. (49-66). Pág. 55
3 Documentos recopilados en la primer video conferencia de trabajo del Programa Sectorial Estrategia para incrementar la retención en carreras de ingeniería en Cuba. Cujae abril. 2024. Cuba

4 GONZÁLEZ D. Evaluación masiva y espectacularización mediática del resultado:de cómo mentir con estadísticas y fabricar el fracaso escolar. Pedagogía y Saberes, Universidad Pedagógica Nacional 41.2014. (63-74). Pág. 73
5 ORDAZ M. Y GARCÍA R. El estudio del rendimiento académico en nivel universitario. Aproximaciones al estado del conocimiento. Memorias VIII CLABES. Panamá 2018.Pag 311-#19
6 GUZMÁN, M. Modelos predictivos y explicativos del rendimiento académico universitario: caso de una institución privada en México. (Tesis Doctoral). 2012. España. Universidad Complutense de Madrid
7 SANDOVAL, U. Estudio cualitativo sobre abandono escolar en educación superior en el área de humanidades y de las artes de la UNAM. Tesis de Maestría. 2017 México
8 SEA-CU. Ministerio de Educación Superior. Resolución No 9-2019 Patrón de calidad de carreras universitarias2019.Cuba

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA PRÁCTICA DE LABORATORIO "PÉNDULO SIMPLE". UNA VARIANTE PARA FAVORECER EL DESARROLLO DE LA INDEPENDENCIA COGNOSCITIVA DESDE LA FÍSICA UNIVERSITARIA

H. Astiguieta [1], J. J. Llovera [2]

[1] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" hildeniaf@icb.cujae.edu.cu

[2] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza un análisis de la importancia de concebir el proceso de formación de un estudiante de ingeniería desde una perspectiva donde se fomente el desarrollo de su independencia cognoscitiva desde los primeros años de la carrera. Se realiza un análisis de las potencialidades que tiene la disciplina Física y en particular la clase práctica de laboratorio de Física para contribuir al desarrollo de esta capacidad en los estudiantes y se exponen los resultados obtenidos en la aplicación de una variante donde se concibe el desarrollo de una clase práctica de laboratorio de Física desde un enfoque diferente.

**PALABRAS CLAVE:** Independencia cognoscitiva, formación del ingeniero, clase práctica de laboratorio de Física

## THE "SIMPLE PENDULUM" LABORATORY PRACTICE. A VARIANT TO PROMOTE THE DEVELOPMENT OF COGNITIVE INDEPENDENCE FROM UNIVERSITY PHYSICS

**ABSTRACT**

In this work, an analysis is carried out of the importance of conceiving the training process of an engineering student from a perspective where the development of their cognitive independence is encouraged from the first years of the degree. An analysis is carried out of the potential of the Physics discipline and in particular the practical Physics laboratory class to contribute to the development of this capacity in students and the results obtained in the application of a variant where the development of a practical Physics laboratory class from a different approach

**KEY WORDS:** Cognitive independence, engineer training, practical physics laboratory class

## INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva social, las diferentes carreras de ingeniería surgen para dar respuesta a necesidades sociales, pues si se piensa en cualquier artefacto que hace facilita la vida moderna en cualquier ámbito, indefectiblemente en su concepción, diseño y construcción, está la mano de un ingeniero. A este hecho se suma que la ciencia y la tecnología introducen cambios y avances aceleradamente, de modo que lo que hoy es un descubrimiento revolucionario, mañana pasa a ser obsoleto y sustituido por uno, más avanzado, marcando de esta forma el desarrollo científico tecnológico de un país y a nivel global.

Lo anteriormente planteado conduce a que la enseñanza en las carreras de ingeniería debe proyectarse, con adecuadas bases teóricas y prácticas, basadas en modelos educativos centrados en el aprendizaje que aporten los fundamentos epistemológicos, metodológicos y prácticos que necesita un profesional de la ingeniería en la actualidad, y que le permita cumplir de manera ética con sus responsabilidades sociales.

Resumiendo algunas cualidades analizadas por Palma (2012) que deben caracterizar el desempeño de los profesionales de las ingenierías en las empresas donde laboran, entre estas se exige que actúen con creatividad, autonomía, flexibilidad ante un entorno cambiante, capacidad de liderazgo, polivalencia, alto potencial de desarrollo, buena comunicación, trabajo y dirección de equipos, negociación y toma de

decisiones, lo cual implica un alto desarrollo de la independencia cognoscitiva en los estudiantes de estas especialidades.

¿En qué principios debe basarse el proceso de enseñanza aprendizaje de la disciplina Física para desarrollar la independencia cognoscitiva en estudiantes de ingeniería a través de su formación básica desde esta disciplina y cómo lograrlo?

El objetivo de este trabajo es analizar los resultados obtenidos en la aplicación de una variante en la concepción de la clase práctica de laboratorio de Física, teniendo en cuenta las posibilidades didácticas de este tipo de actividad docente y sus potencialidades para contribuir a desarrollar independencia cognoscitiva en estudiantes de ingeniería.

**DESARROLLO**

Según el informe final del Simposio "Ingeniería para las Américas" del año 2005 "La concepción del ingeniero del siglo XXI representa un cambio de paradigma. El ingeniero de estos tiempos debe ser partícipe de su propia creación; no debe buscar trabajo, sino crearlo; debe poseer una formación integral, de clase mundial, con una perspectiva y visión amplias de las realidades nacionales y mundiales; líder, de espíritu emprendedor, capaz de trabajar en equipo y sobre todo comprometido con su entorno social, con principios éticos y con una noción clara del bien común"(SESI, 2005)

En Cuba, hoy más que nunca, se necesitan ingenieros que puedan participar activamente en la vida social y económica del país, con sus profundos cambios derivados de nuestro proceso de desarrollo económico y social, demostrando una sólida preparación científica y cultural, asumiendo posiciones patrióticas, ideológicas y éticas acordes con los principios revolucionarios que rigen nuestra sociedad que le permiten interactuar de acuerdo con el desarrollo de la ciencia y la tecnología, con racionalidad económica, con un adecuado uso de los recursos materiales y humanos, que minimice el consumo de los recursos naturales, el deterioro del medioambiente y preserve los principios éticos de la sociedad.

Acorde con lo anteriormente expresado, tanto en nuestro país como a escala internacional, se han hecho estudios sobre las tendencias en la formación de ingenieros, que han sido recogidos en múltiples documentos, entre ellos destacan (Arana, et. al, 1999); (Cañedo, 2004); (Gómez, et al., 2005), (Savio de Matos, et al., 2014) y de manera general coinciden en aquellos rasgos esenciales que deben caracterizar al profesional de la ingeniería:

- Poseer un conocimiento profundo de las ciencias básicas, específicas y del ejercicio de la profesión, capaz e independiente y con una sólida formación teórica y científica general.
- Ser un profesional que esté en estrecha vinculación con la industria, que adquiera durante su preparación en la universidad, las habilidades profesionales básicas que le permitan resolver los problemas más generales y frecuentes de su entorno social.
- Ser un profesional más integral, versátil y flexible cuya virtud fundamental sea su capacidad de autopreparación y adaptación a los cambios, lo que obliga a prestar especial atención a aspectos como: desarrollo de su capacidad de comunicación, de manejo, procesamiento y utilización de la información científico-técnica, con dominio de la computación, conocimiento de lenguas extranjeras, formación económica, ecológica y humanista en general.
- Poseer una formación cultural capaz de desarrollar las relaciones humanas que le permita integrarse funcionalmente en equipos multidisciplinarios, para lo cual requiere de conocimientos profesionales, sociales, ambientales, información actualizada, valores y sentimientos, ética profesional y autoestima.
- Contar con un pensamiento lógico, heurístico, científico, sistémico, capaz de modelar sus ideas, flexible para asimilar los cambios rápidamente.

Para conseguir formar un ingeniero con tales requerimientos, el proceso docente educativo de las distintas asignaturas que integran el currículum de estudio debe gestionarse a través de orientaciones, acompañamientos y evaluaciones que satisfagan los imperativos de un proceso eminentemente productivo y que contribuya al desarrollo de la independencia cognoscitiva elemento explícito en las bases

conceptuales para el diseño de los planes de estudio "E" que actualmente rigen la formación de ingenieros en distintas especialidades en las universidades cubanas.

**¿Qué es la independencia cognoscitiva?**

Varias han sido las definiciones aportadas por diferentes psicólogos y pedagogos al respecto:

La independencia cognoscitiva es la capacidad para comprender, formular y encontrar las vías adecuadas de solución de una tarea y poder valorar los resultados; para lo cual debe saber localizar, seleccionar, recuperar y procesar la información precisa sobre la cual fundamentar dicho proceso de resolución (Minujín & Mirabent, 1989).

Al respecto Majmutov (1983), señala que la capacidad de independencia cognoscitiva está dada por *"la habilidad del alumno de alcanzar de forma independiente nuevos conocimientos de diferentes fuentes y la de adquirir nuevas habilidades y hábitos, tanto mediante la memorización, como a través de la investigación independiente y de los descubrimientos; la habilidad de emplear los conocimientos, habilidades y hábitos adquiridos para la autosuperación ulterior y la habilidad de emplear dichos conocimientos y hábitos en su actividad práctica para resolver cualquier tipo de problema planteado por la vida*

Para los autores, el concepto al cual se adscriben es el dado por el Dr. Carlos Álvarez de Zayas en su libro "La escuela en la vida": …"La independencia cognoscitiva se manifiesta en la capacidad de ver y de representarse el problema, la tarea cognoscitiva de carácter teórica o práctica; en la determinación del plan, de los métodos para su solución, utilizando los procedimientos más seguros y efectivos; en el proceso mental activo, en la búsqueda creadora de soluciones adecuadas; y en la comprobación de las soluciones adoptadas" (Álvarez de Zayas, 1999)

La disciplina Física es fundamental en la formación del futuro ingeniero, ya que lo provee de una visión objetiva del mundo y de unas bases científicas y metodológicas para la comprensión de los fenómenos que encontrará a su paso en el ejercicio de su profesión, y de las capacidades técnicas que deberá poner en práctica en el desarrollo de su actividad.

El programa actual de la disciplina Física General para las carreras de ingeniería de la Universidad Tecnológica de la Habana establece como objetivo integrador de la disciplina: "Contribuir a la formación integral del ingeniero, a través del estudio del objeto de la Física (los movimientos fundamentales de la materia y su estructura), su lógica y sus métodos, con un enfoque intra, multi, inter y transdisciplinar a partir de una cosmovisión global coherente, que permita pertrechar al ingeniero en formación de las herramientas teórico-metodológicas y axiológicas para enfrentar la solución de los diversos problemas con los que deberá enfrentarse en el ejercicio de su profesión, con una conciencia patriótica, político–ideológica, jurídica, económica así como del impacto social y ambiental que pueden ocasionar los productos del desarrollo científico-tecnológico en su interacción con el objeto de la profesión".

Por otra parte, esta disciplina tiene una importante componente experimental que ocupa aproximadamente el 14% del presupuesto de tiempo total asignado a la misma y tiene como metas fundamentales "ilustrar el contenido recibido (o por recibir) en las clases teóricas, enseñar técnicas experimentales y promover actitudes científicas" (Hernández y Hernández, 2018) y (Pérez, et. al., 2018).

Las actividades experimentales en la formación básica de científicos e ingenieros han sido siempre una actividad reconocida en todas las universidades del mundo. Según Pesa, (2014) cuyo trabajo se ha dirigido hacia la formación de competencias necesarias en la formación de estudiantes de ingeniería, entre los aportes más relevantes del trabajo en el laboratorio para la formación del ingeniero se tiene que:

- Pueden ser un ámbito de desarrollo de capacidades para, plantear y resolver problemas.
- Ponen en evidencia la influencia mutua entre la ciencia y la tecnología.

- El trabajo experimental tiene un estrecho vínculo con las actividades del modelado de situaciones.
- Es un espacio de aprendizaje para la argumentación científica.
- Es un escenario ideal para el trabajo en equipos.

Por lo que esta disciplina tiene un alto potencial para contribuir al desarrollo de la independencia cognoscitiva del futuro ingeniero.

**El diagnóstico del problema en las prácticas de laboratorio de Física**

Tomando los elementos anteriormente planteados y al hacer un análisis del desarrollo del proceso de dirección del aprendizaje de la Física en la Universidad Tecnológica de la Habana, se observa un limitado aprovechamiento de las potencialidades didáctico-metodológicas que promuevan estimular la independencia cognoscitiva de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las clase práctica de laboratorio. Lo cual se evidencia en el actuar de los actores del proceso y se constata durante las acciones de control al proceso docente pues la dirección y desarrollo las prácticas de laboratorio que se indican son tradicionales y carecen de la relación con la profesión predominando, según la clasificación de Crespo,2001) las de tipo cerrado-inductivo en las cuales se le dice al estudiante lo que debe hacer paso a paso y los resultados que se esperan a través de los instructivos de laboratorio, esta actividad se hace en un tiempo fijo, limitado a veces por las condiciones del laboratorio y no tiene oportunidad de pensar e intentar nuevas estrategias.

A lo anterior se suma el hecho de que en muchos casos el alumno no ha recibido el contenido del fenómeno que va a estudiar en el laboratorio, cuestión que puede suceder debido a la planificación y organización de este tipo de actividad, la dificultad radica en que la forma en que se desarrolla esta actividad es igual a la forma en que se realiza cuando ha recibido la base teórica del fenómeno.

Esta concepción de las prácticas de laboratorio lejos de estimular la actividad independiente, provoca en los estudiantes apatía, demostrando poca autonomía y escasa disposición a la generación de saberes, a la hora de realizar las tareas propias de este tipo de actividad que impliquen la potenciación de sus recursos intelectuales y por ende su independencia cognoscitiva lo que se evidencia en su modo de actuación en la actividad así como en el resultado de la misma pues no pocas veces copian los informes de laboratorio sin hacer un verdadero análisis de la situación propuesta.

También se observa un limitado trabajo metodológico, en los colectivos de asignatura, en función de incentivar el desarrollo de la independencia cognoscitiva En encuesta aplicada a una apreciable cantidad de profesores del departamento de Física se pudo constatar que es pobre el conocimiento sobre la independencia cognoscitiva y sobre las herramientas a tener en cuenta para propiciar su desarrollo por parte de los estudiantes.

El análisis de estas dificultades apunta a una contradicción en la estructuración y dirección del proceso de enseñanza aprendizaje (PEA) de la disciplina Física tradicionalmente concebido y uno que propicie el desarrollo de la independencia cognoscitiva en el PEA de la Física en los estudiantes de ingeniería.

Es el momento de preguntarse: ¿Qué insuficiencias subsisten en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física para estudiantes de ingeniería que limitan en ellos el desarrollo de la independencia cognoscitiva?¿Cómo contribuir al desarrollo de la independencia cognoscitiva de los estudiantes de ingeniería, a través del proceso de enseñanza aprendizaje de la disciplina de Física, en correspondencia con su modelo de actuación del profesional?¿Qué alternativas metodológicas se pueden asumir para el desarrollo de la independencia cognoscitiva en estos estudiantes?

Según (Minujín y Mirabet, 1989)lograr independencia cognoscitiva implica:

- Cambios de la complejidad de las tareas para el trabajo independiente. (Presentación de tareas docentes que desarrollen la independencia- cognoscitivas).

- Enseñanza de los procedimientos y de los modos y niveles del pensamiento. (Desarrollo de la actividad cognoscitiva).

- Creación de situaciones que estimulan la actividad cognoscitiva independiente.

Ortiz & Meriño (2004), sostienen que para contribuir al desarrollo de la independencia cognoscitiva en los estudiantes de la enseñanza superior hay que considerar los siguientes elementos en el proceso de enseñanza-aprendizaje:

- Propuesta de un problema que provoque el interés y motivación del estudiante y direccione su actividad cognoscitiva en la búsqueda de los conocimientos necesarios para darle solución.

- Diagnóstico de la existencia en el estudiante de conocimientos previos que constituyan una plataforma teórico-práctica sobre la cual analizar e interpretar el problema planteado; de lo contrario el discente puede generar sentimientos de frustración al no contar con el nivel de partida necesario para emprender la búsqueda de alternativas de solución.

- Predominio del carácter productivo de la actividad a desarrollar.

- El problema planteado debe generar un esfuerzo intelectual de forma tal que la solución del problema genere un nivel de conocimiento superior. Así se estará propiciando un salto cualitativamente superior entre el nivel de conocimiento actual y el deseado.

- Diversidad de vías de solución que favorezcan y estimulen la toma de decisiones.

- Autorregulación del estudiante durante el proceso de solución.

- La autocrítica de los resultados obtenidos y de la vía de solución utilizada favorece el análisis y la reflexión sobre la labor realizada, a la vez que sirve de elemento educativo en la formación del estudiante.

- Control de la labor del estudiante por parte del docente. El trabajo desarrollado por los educandos debe ser controlado señalando las fortalezas y falencias. Para que la resolución del problema planteado cumpla con su función educativa no debe faltar el control.

En la literatura revisada también se pudo comprobar que hay muchas formas de potencial el desarrollo de la independencia cognoscitiva, tomando como ejemplo lo planteado por Margarita Silvestre y José Zilberstein, entre otros, que destacan un grupo de tareas encaminadas al desarrollo de habilidades generales de carácter docente pero que a su vez favorecen el desarrollo intelectual y exigen la creación con una mayor independencia cognoscitiva. Estas son:

- Concebir un plan para analizar o exponer un material.

- Operar con definiciones.

- Preparar un informe o ponencia ante el resto de los compañeros.

- Valorar un hecho o una información.

- Plantear y/o solucionar un problema.

- Plantear una hipótesis.

- Argumentar o fundamentar criterios o planteamientos.

- Comparar puntos de vistas, fenómenos o procesos y arribar a conclusiones propias.
- Proponer experimentos. (Zilberstein, 2002)

A lo que podríamos agregarle el empleo de las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento para llevarlas a cabo.

**La propuesta en un ejemplo**

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente los autores han propuesto modificar la concepción existente en las prácticas de laboratorio ya que estas, en su forma actual, no favorecen el desarrollo de la independencia cognoscitiva en los estudiantes de ingeniería en sus primeros años de la carrera.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo modificar la concepción metodológica de una práctica de laboratorio de Física para promover el desarrollo de independencia cognoscitiva en los estudiantes:

Se empleó para ello la práctica de laboratorio de Péndulo Simple correspondiente a la Física I, teniendo en cuenta el diagnóstico de la actividad experimental en el laboratorio en el nivel precedente (preuniversitario), obtenido mediante una entrevista grupal, el cual resultó ser bajo o nulo en la mayoría de los casos.

En vez de orientar el instructivo tradicional previo a la sesión de laboratorio, el cual cuenta con la siguiente estructura: Título del experimento, objetivos, fundamento físico, descripción con imágenes del montaje experimental, actividades a realizar, tabla de resultados a completar, método de procesamiento de la data y del cálculo de las Incertidumbres y bibliografía, se procedió a indicar el siguiente problema en la primera clase práctica de Oscilaciones:

*Determine la longitud que debe tener un péndulo simple cuyo periodo sea de T (s), tomando g = 9.81 m/s$^2$. Compruebe los resultados obtenidos en la plataforma de simulación PhET, con la aplicación correspondiente.*

En la segunda clase práctica y previa a la clase práctica de laboratorio se orientó la siguiente actividad independiente:

*Diseñe y realice un experimento utilizando un péndulo simple que le permita determinar la aceleración de caída libre en el laboratorio de Física para ello tenga en cuenta: consideraciones para asumir que un péndulo simple describe un MAS, y las fuentes de incertidumbre que puedan existir para ese montaje experimental.*

Este ejercicio, fue utilizado posteriormente en la clase práctica de laboratorio de péndulo siendo utilizado el resultado de los estudiantes para la realización de la misma

Para comprobar la efectividad de esta concepción del laboratorio se tomaron dos grupos pertenecientes a la facultad de ingeniería Automática de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría": uno que realizó el laboratorio siguiendo el instructivo tradicional y el otro grupo que lo realizó mediante los problemas propuestos.

Transcurrido un semestre de realizada la práctica por ambos grupos se procedió a comprobar la solidez en el aprendizaje de los contenidos asociados al tema mediante un cuestionario de preguntas aplicado a una muestra de 19 estudiantes de cada grupo (86% y 83 % de las matrículas totales respectivas) seleccionados al azar, y que permitieran explorar indicadores de independencia cognoscitiva mediante la práctica de laboratorio a saber:

1. Identificar las zonas de búsquedas de los contenidos para resolver el problema experimental planteado.

2. Identificar posibles vías de solución del problema.

3. Modelar una situación experimental acorde con el problema objeto de estudio.

4. Diseñar el método de medición más adecuado según los medios disponibles.

5. Constatar si los resultados obtenidos se corresponden con el modelo considerando las incertidumbres evaluadas y explicar las causas de las diferencias.

Se exploró también la esfera cognitivo – afectiva, indagando sobre los niveles de satisfacción en la ejecución de la actividad.

Los resultados del cuestionario se muestran en las gráficas de las figuras 1 y 2.

De las gráficas se puede apreciar que en el grupo experimental, la cantidad de estudiantes que manifestaron niveles medio y alto en todos los indicadores sobrepasa el 50% de los sujetos involucrados en el estudio; no así en el grupo de control, lo cual se ajusta a los resultados esperados teniendo en cuenta la significatividad que presupone el aprendizaje alcanzado con independencia cognoscitiva.

En el indicador relativo a la esfera afectivo-cognitiva se constató que los 19 estudiantes del grupo de control manifestaron criterios positivos sobre la actividad, destacando como lo mas impactante el diseño y montaje del experimento por ellos mismos. En el caso del grupo de control solo dos estudiantes emitieron criterios al respecto, uno de ellos negativo, evaluando la práctica de aburrida.

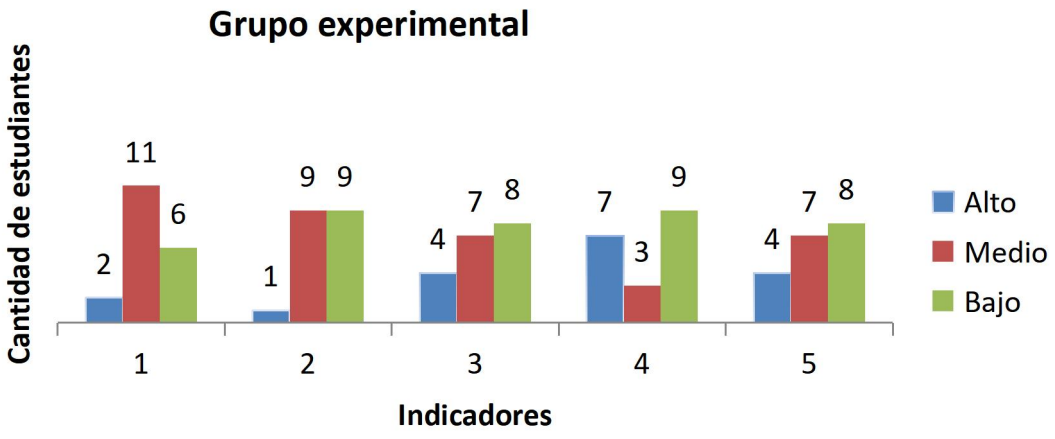



Figura 1: Comportamiento de los indicadores de independencia cognoscitiva en el grupo experimental

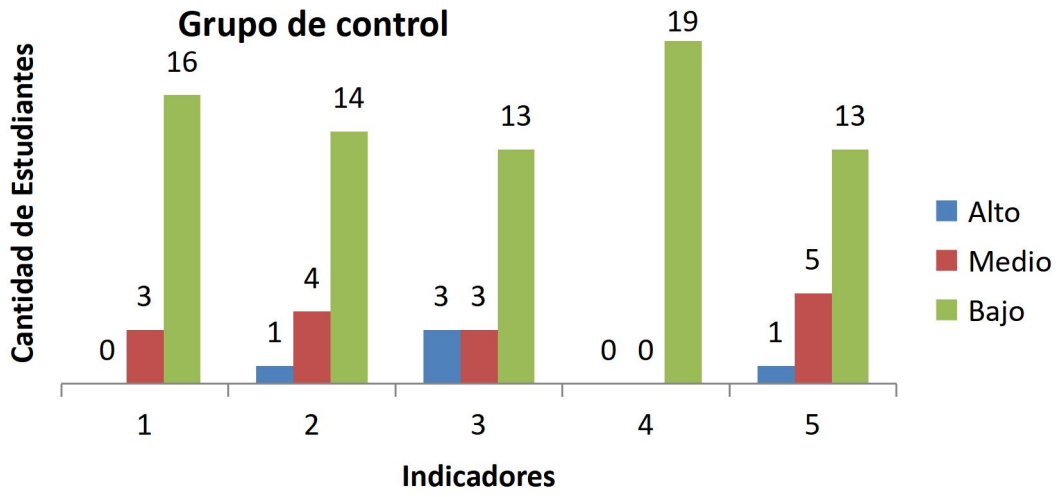



Figura 2: Comportamiento de los indicadores de independencia cognoscitiva en el grupo de control

## CONCLUSIONES:

La independencia cognoscitiva debe conceptualizarse como una capacidad con la que debe contar el ingeniero y como tal se debe atender en su proceso de formación. Se han resumido los principios en que se basa el logro de la independencia cognoscitiva y se han contextualizado en el PEA de la Física General como disciplina básica evidenciándose que la misma tiene potencialidades que no han sido didácticamente explotadas para contribuir al desarrollo de la independencia cognoscitiva en los estudiantes de ingeniería en nuestra Universidad Tecnológica siendo las prácticas de laboratorio un tipo de clase idóneo para lograr este objetivo estructurando la tarea docente a modo de problema de investigación, para ello se diseñó y aplicó una concepción didáctica diferente a la tradicional por instructivos preelaborados para la autopreparación en las prácticas de laboratorio, a fin de fomentar la independencia cognoscitiva de los estudiantes de ingeniería, concluyéndose que si se crean condiciones para ello se pueden aumentar los niveles de significación del aprendizaje y perduran por más tiempo los saberes adquiridos en este tipo de clase.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los profesores del Departamento de Física de la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” a la Dra. Profesora Titular Gilda María Vega Cruz y a la Auxiliar Tecnico Docente Mar Denise Oliva Pereda por su contribución a la realización de esta investigación

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ DE ZAYAS, C. M. (1999). La escuela en la vida. Editorial Pueblo y Educación, La Habana.

ARANA, M., Calderón, A., & Valdés, N. (1999). La cultura tecnológica en el ingeniero y el cambio de paradigma. En: Tecnología y Sociedad. La Habana: Editorial Félix Varela

CASTELLANO SIMONS, D. (2001). Aprender y Enseñar en la Escuela, Ciudad de La Habana, Editorial Pueblo y Educación. José Varona.(Impresión Ligera en 96 páginas). Ciudad de La Habana.

CHIRINO, M. V. (2005). El trabajo independiente desde una concepción desarrolladora del proceso de enseñanza-aprendizaje, La Habana, pp., 16-27.

CRESPO MADERA, E. J., & Álvarez Vizoso, T. (2001). Clasificación de las Prácticas de Laboratorio de Física. *Pedagogía Universitaria, 6*(2), 42+. https://link.gale.com/apps/doc/A146838929/IFME?u=anon~24e9167e&sid=googleScholar&xid=7dbf60e9

CRUZ BARANDA, S. S. (2015). El desarrollo de la independencia cognoscitiva en la formación de estudiantes de arquitectura. *Arquitectura y Urbanismo, 36*(2), 140-145. Recuperado en 23 de junio de 2023, dehttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000200010&lng=es&tlng=es.

DANILOV, M. A., &Skatkin, M. N. (1981) Didáctica de la escuela media. Ed. Libros para la Educación, La Habana.

DE LA TEJERA, D. (1980). Algunas cuestiones sobre el desarrollo de la independencia cognoscitiva de los alumnos a través de las clases de Historia.*Revista Educación*. Año X. No 37. La Habana. (abril – junio).

FÁBREGA, J. R. (2007). Sistema de acciones instructivas para contribuir al desarrollo de la independencia cognoscitiva de los estudiantes del Área Básica de la carrera de Medicina a través de la asignatura Informática Médica II (Tesis en opción al grado científico de Máster en Ciencias de la Educación Médica) Sancti Spiritus Cuba.

FREIRE, E. E., & Espinoza Herrera Martínez, L. (2020). Independencia cognoscitiva y trabajo independiente. *Revista Científica, Cultura, Comunicación y Desarrollo, 5*(2), 35-43.

MARTA A. Pesas. Et al. (2014) Las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros: propuesta para el aprendizaje de los fenómenos de conducción eléctrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,31*, (3), p. 642-665

MARTÍNEZ LLANTADA, M. (1998). Calidad educacional, actividad pedagógica y creatividad. La Habana: Editorial AcademiaMES. Documento base para la elaboración de los planes de estudio "E". 2016

MINUJÍN, Z. A., & Mirabent, P. G. (1989). *Cómo estudiar las experiencias pedagógicas avanzadas*. La Habana: Pueblo y Educación.

PALMA, C. (2012). Nuevos retos para el ingeniero en el siglo XXI. *Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería*, Universidad Don Bosco. Junio – Noviembre, *2* (4). pp. 61-65.

PÉREZ AMORES, I. y Mateo Pérez, O. (2018): "Una concepción metodológica en relación al desarrollo de la independencia cognoscitiva desde el trabajo independiente", Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo.

PIDKASISTY, P. (1986). La actividad cognoscitiva independiente en los alumnos en la enseñanza pedagógica. Ciudad de La Habana, Editorial Pueblo y Educación.

ORTIZ, E. A., & Meriño, S. M. (2004). El trabajo independiente en el proceso de Enseñanza Aprendizaje Universitario. Problemas Contemporáneos de la Didáctica de la Educación Superior. *Revista Electrónica de la Dirección de Formación de profesionales, 9*(5).

SAVIO, C., de Matos, A. M. y Quadrado, J. C. (2014) Tendencias en la formación de ingenieros en Iberoamérica. Sesión académica: Formación de ingenieros, innovación y desarrollo tecnológico en Iberoamérica. México. 2014

SESI (2005) Tendencias en la formación de ingenieros en Iberoamérica.Simposio Ingeniería para las Américas. Informe final. (2005).Lima, 29 de noviembre- 2 de diciembre.

ZILBERSTEIN, J. (2002). Hacia una didáctica desarrolladoraLa Habana: Ed. Pueblo y Educación.

**Sobre los autores**

Hildenia . Astiguieta. MSc. Profesora del Departamento de Física de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE

Juan José Llovera González. Dr. C. Juan José Llovera González. Metodólogo de la Dirección de Investigaciones y Postgrado del Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ¿ES VULNERABLE UN ESTUDIANTE QUE ACCEDE A CARRERAS DE INGENIERÍA CON DEFICIENCIAS EN LAS MATEMÁTICAS?

**Anaisa Hernández González[1], Esther Rosalina Ansola Hazday[2],**

[1, y 2] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE)
[1]e-mail: anaisa@ceis.cujae.edu.cu
[2]e-mail: ehazday1959@gmail.com

**RESUMEN**

La pregunta que da título a este trabajo puede ser respondida por la mayoría de los lectores categóricamente de forma afirmativa; sin embargo, sigue siendo relevante evidenciar por qué es importante que la sociedad en su conjunto preste atención a la enseñanza de las matemáticas en las enseñanzas que preceden a la universidad. Las variantes de educación a distancia o con una menor presencialidad implementadas como consecuencias de la pandemia de la COVID-19, afectaron la adquisición de conocimientos y, por consiguiente, existen lagunas de conocimientos básicos que inciden en la promoción de los estudiantes. En este trabajo se estudia la cohorte 2023 de las carreras de Ingeniería Informática y Química de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), y se hace constar la relación que existe entre el nivel de conocimientos con el que acceden estos estudiantes y la promoción una vez culminado el 1er año. En ambas carreras, los estudiantes mayoritariamente que promovieron al año siguiente, habían accedido con el examen de ingreso de Matemática aprobado y con motivación por la carrera. Del análisis se derivan otros factores que pueden estar incidiendo en estos resultados.

**PALABRAS CLAVES:** Promoción, Matemática, Ingeniería Informática, Ingeniería Química.

## IS A STUDENT WHO ACCESSES ENGINEERING COURSES WITH DEFICIENCIES IN MATHEMATICS VULNERABLE?

**ABSTRACT**

The question that gives title to this work can be answered by most readers categorically in the affirmative; however, it is still relevant to show why it is important for society as a whole to pay attention to the teaching of mathematics in the education preceding university. The variants of distance education or with less face-to-face education implemented as a consequence of the COVID-19 pandemic affected the acquisition of knowledge and, consequently, there are gaps in basic knowledge that affect the promotion of students. This work studies the 2023 cohort of the Computer Engineering and Chemical Engineering degrees at the Technological University of Havana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), and notes the relationship between the level of knowledge with which these students enter and the promotion once the first year is completed. In both degrees, the majority of students who were promoted the following year had entered with the Mathematics entrance exam passed and with motivation for the degree. Other factors that may be influencing these results are derived from the analysis.

**KEY WORDS:** Promotion, Mathematics, Computer Engineering, Chemical Engineering.

## 1. INTRODUCCIÓN

La relevancia de la Matemática para los estudios de nivel superior es reconocido a nivel internacional, sobre todo en las carreras de ingeniería donde el análisis, la lógica y la modelación son imprescindibles. En muchos países es común el alto por ciento de abandono estudiantil en los primeros años de las carreras de ingeniería, siendo las Matemáticas un factor de alta influencia en este problema. Esta situación se

repite en muchas universidades, por lo que se dedican numerosos estudios a analizar las causas que la provocan y a tomar acciones que la disminuyan [1].

La preocupación por la deserción y el abandono estudiantil no es nueva y ha sido puesta de manifiesto en múltiples ocasiones, incidiendo especialmente en el riesgo que supone para el despegue económico de los países y la integración de las capas sociales más desfavorecidas, así como para el avance en la lucha contra la desigualdad entre mujeres y hombres, dando lugar a diferentes estudios de ámbito local, nacional o regional.

En Cuba los indicadores de calidad que se emplean para analizar la deserción son establecidos por el Ministerio de Educación Superior y se refieren a la retención y la eficiencia [2]. Como el caso que nos ocupa es la retención, asumimos la definición que en él se incluye, enunciándose como, "… la proporción de estudiantes que continúan en el sistema educativo ya sea porque promueven al año siguiente o repiten un año académico…" [2, p109 ]. En este trabajo solo se toman en cuenta los que promueven o no.

La actitud hacia el aprendizaje es el factor que se refiere a la disposición del estudiante para lograr el aprendizaje que exige una asignatura [3]. En el caso de las matemáticas, se identifica a la idoneidad del profesor, la metodología de aprendizaje, la motivación del estudiante para aprender y a utilidad de la asignatura.

En [4] se hace referencia a que el docente de ingeniería invierte hasta dos semanas al inicio de cada período en recordar la matemática que necesitará con el fin de disminuir el porciento de deserción o suspensos por este concepto.

Estudios realizados en [5], evidencian la ambigüedad en la actitud hacia las matemáticas por parte de los estudiantes pues estos reconocen la importancia de la misma para las profesiones que estudian y su vida en el futuro y se sienten satisfechos cuando logran resolver problemas; sin embargo, en la mayoría de los casos no es una materia que estudian por elección, no les gusta hablar de ella ni emplearla ni se sienten motivados a estudiarla; aunque en el caso de las carreras de Ingeniería, estos elementos negativos son menos marcados que en otras carreras.

La revisión sistemática a la literatura sobre la enseñanza de las matemáticas en las ingenierías en los entornos colombiano y norteamericano [6], encontró que los trabajos se orientan a estudiar las dificultades de los estudiantes en este proceso, evidenciándose situaciones diferentes en cuanto a la problemática y la atención que se brinda en la búsqueda de atender las situaciones que se presentan.

Este trabajo se propuso dar respuesta a la interrogante "*¿Es vulnerable un estudiante que accede a carreras de ingeniería con deficiencias en las matemáticas?"* a partir de la aplicación de métodos para hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de los datos recopilados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En [7] se demuestra la relación que existe entre las creencias de los estudiantes y el rendimiento académico. Las creencias evaluadas en cuatro dimensiones sobre las matemáticas, el aprendizaje y la resolución de problemas matemáticas, sobre sí mismos y una dimensión afectiva y conductual relativa al compromiso del alumno con el aprendizaje matemático individual. En cuanto al rendimiento, se examinaron áreas de contenidos de la enseñanza precedente que son prerrequisitos para las carreras de ingeniería (aritmética, álgebra, geometría y trigonometría). Además, la importancia del compromiso afectivo y conductual de cada estudiante con su aprendizaje matemático para alcanzar resultados académicos positivos.

En el estudio descrito en [8], que buscaba una primera aproximación a factores que pueden estar asociados a la categorización de un estudiante como vulnerable, se identificaron como variable que puede

incidir en la deserción universitaria a las notas en los exámenes de ingreso con igual incidencia (Matemática. Español e Historia); siendo otros factores y categorías como más críticos. A saber, la provincia, el índice de ingreso a la universidad, la disponibilidad de tecnología, las razones para entrar en la carrera, las condiciones del entorno/estado de la vivienda y con quién estudia el estudiante.

Un antecedente importante de este trabajo, fue presentado en RELME 2020 [1], con el estudio de las cohortes 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, en las que el 61% de las bajas por insuficiencia académica de 1er año tenían al menos una asignatura de la disciplina de Matemáticas suspensa (Álgebra lineal, Matemática 1 y Matemática 2). En el trabajo se profundizó en la cohorte 2016-2017 de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Mecánica, aplicando encuesta a los estudiantes que causaron baja, quienes evaluaron de insuficiente las técnicas de estudio aplicadas por ellos para responder a las exigencias académicos (71&), el nivel de concentración (77%) y el total del tiempo dedicado a estudiar (75%). También hicieron referencia a una incorrecta distribución entre clases prácticas y teóricas y problemas de comunicación alumno-profesor. Este estudio analizó una importante arista del problema, pero no correlacionó las condiciones en el momento de ingresar a la universidad sino con lo ocurrido durante y solo toma en consideración las bajas.

Por otra parte, el análisis descriptivo, correlacional y predictivo presentado en [2], en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas de la Universidad de Ciencias Informáticas, se identificaron como factores que inciden en la deserción estudiantil la provincia de procedencia del estudiante, la opción en la que solicitó la carrera, la nota del examen de ingreso de Matemática y el rendimiento académico en las Matemáticas y la Programación.

En [9] se enfatiza en la necesidad de profundizar en el conocimiento del estudiante para generar acciones que mejoren e impacten en el rendimiento académico.

Esta investigación forma parte de un proyecto que se desarrolla desde hace varios en años en la universidad que investiga la deserción universitaria identificando sus causas para definir estrategias para atenuar su impacto. Cada carrera y cada cohorte es diferente pues las particularidades de las primeras y el contexto en que se desarrolla, hacen que este análisis se tenga que realizar de forma individual. En la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, se estudian 12 carreras de Ingeniería, Arquitectura y cinco programas de educación de ciclo corto. Este trabajo se centra en las carreras de Ingeniería Informática e Ingeniería Química para la cohorte 2023. Como se aprecia en la Figura 1, en el currículo de ambas carreras las matemáticas juegan un rol protagónico en ese año.

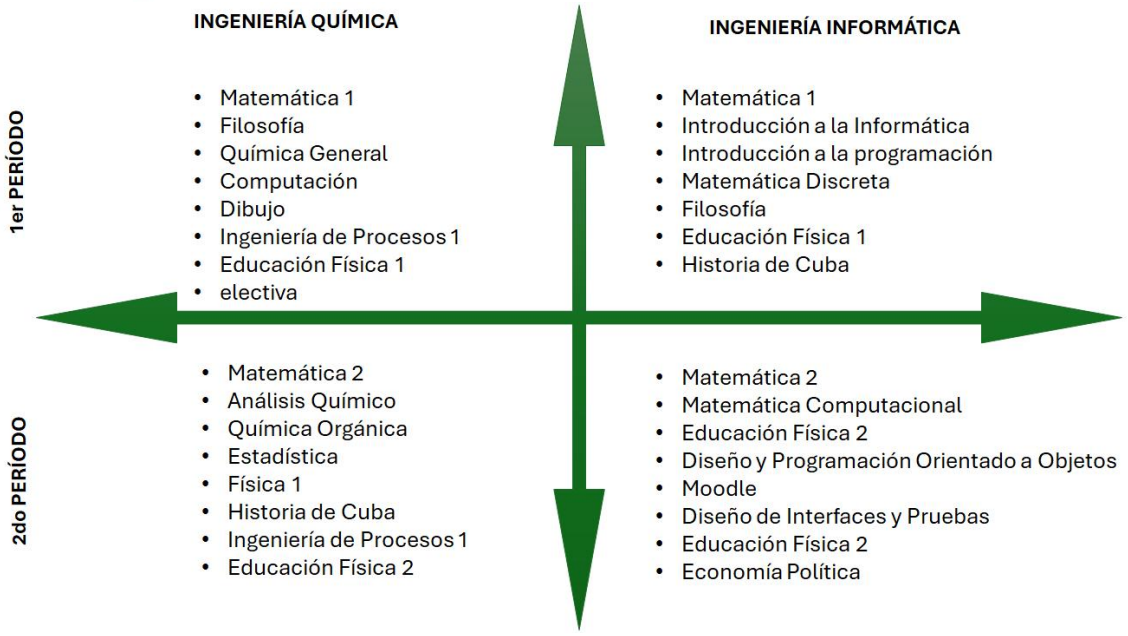



**Figura 1:** Mapa de asignaturas del 1er año de las carreras de Ingeniería Informática e Ingeniería Química
Fuente: Elaboración propia a partir del diseño de los planes de estudio [10-11].

Para obtener conocimiento que permitiera la caracterización del estudiante, se aplicó una encuesta a modo de instrumento de recopilación de datos. El formulario digital fue respondido por 131 estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática y 139 de la carrera de Ingeniería Química, de una matrícula total en 1er año de 149 y 143, respectivamente. En la encuesta se hicieron preguntas asociadas con: datos generales, la participación en concursos en la enseñanza precedente, datos socioeconómicos, hábitos, práctica deportiva y/o en alguna manifestación artística, preferencias literarias, sobre la elección de la carrera, conocimientos de la carrera, qué espera del futuro, cómo ha diseñado su tiempo de estudio y formas de estudio que planifica emplear durante la carrera.

Tomando en cuenta estos resultados y asociándolos con los resultados alcanzados al culminar 1er año de la carrera (en específico en las notas de Matemática 1 y 2 y si promovió o no), se realiza un estudio mixto (cualitativo y cuantitativo) (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). De los 131 y 139 estudiantes encuestados de estas carreras, se pudo dar seguimiento a 114 y 131. El tamaño de la muestra para un 95% de confianza y 5% de error muestral es de 109 y 105, por lo que se estudia una cantidad representativa de la población, lo que valida las conclusiones a las que se arriban.

Según [12], la población es finita por cuanto es finito y conocido el número de estudiantes que matricularon en la estas carreras y, en la muestra seleccionada, están representados todos los estudiantes de este año y los no tomados en consideración se descartaron por no poseer toda la información.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Promoción académica**

El 55% de los estudiantes de Informática y el 73% de química, promovieron al año siguiente. En ambos casos, más del 95% y 85%, respectivamente, habían accedido a la carrera con más de 80 puntos en el examen de ingreso de matemáticas y el 80% y 60%, respectivamente, habían solicitado en 1ra opción la carrera. Estas cifras varían cuando solo se analiza a los estudiantes que no lograron promover (Figura 2).

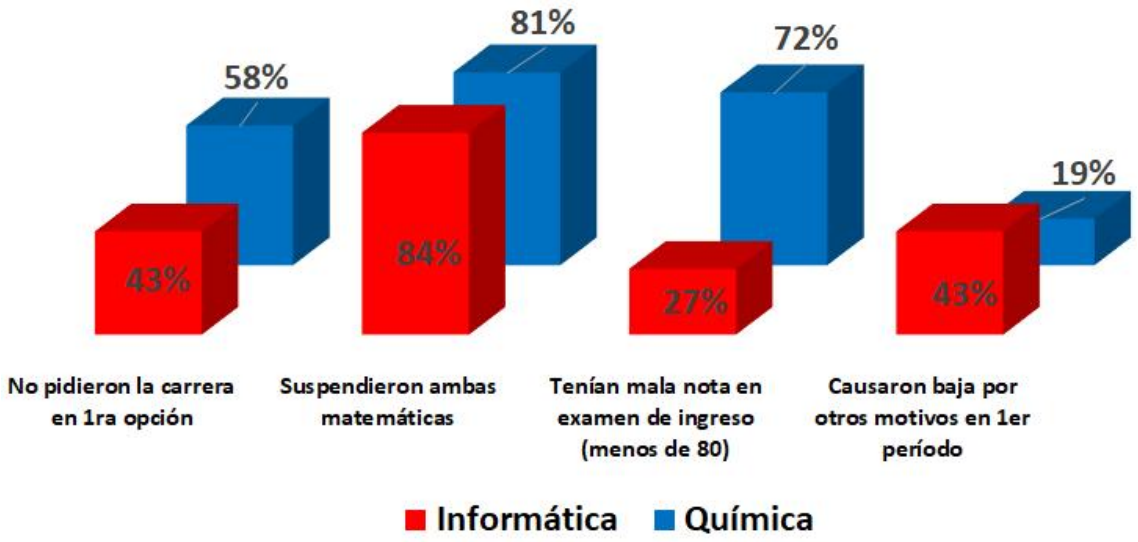



**Figura 2** Datos de los estudiantes no promovidos. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de la promoción de 1er año de la cohorte 2023 de las carreras de Ingeniería Informática e Ingeniería Química.

Como se aprecia en estos resultados, en la carrera de Informática un 43% de los que no promovieron causaron baja por diferentes motivos durante o al finalizar el 1er período, lo que provoca en 1ra instancia tan malos resultados de promoción (el 19% del total de la muestra), situación que no fue tan crítica en Química (5% del total de la muestra).

En la carrera de Química resulta evidente que las notas de los exámenes de ingreso de matemática y la opción en la que solicitaron la carrera, son factores que guardan relación con la promoción. Sin embargo, en Informática, un análisis más profundo evidenció que las asignaturas de la especialidad que reciben los estudiantes (Introducción a la programación y Diseño y programación orientada a objetos) sí incidieron muy negativamente en la promoción.

**Relación entre la promoción académica y la caracterización**

Los estudiantes tenían múltiples motivaciones positivas para estudiar la carrera (porque les gusta, para tener una carrera universitaria, para prepararse para el futuro) y no se apreció que el medio social en que se desenvuelven, el apoyo familiar y la disponibilidad de tecnologías y otras condiciones para estudiar influyeran en los resultados a académicos. Sin embargo, otros hábitos en la forma en que estudiaban en la enseñanza precedente sí guardan relación con los resultados alcanzados (Figura 3).

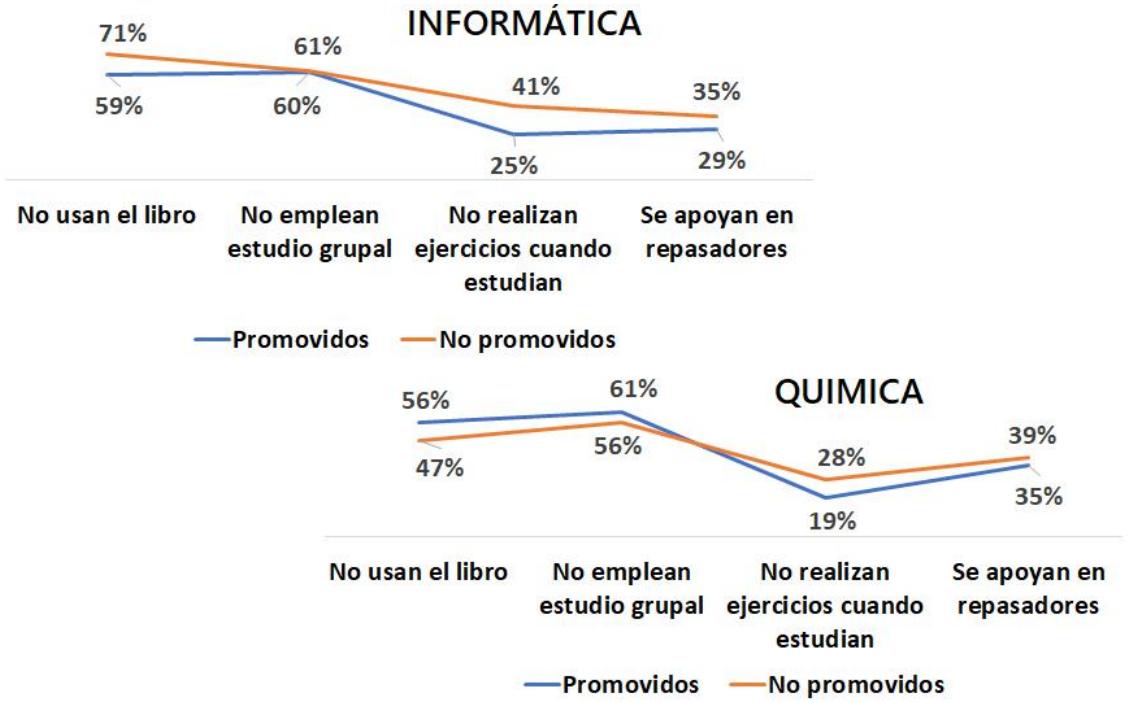



**Figura 3** Datos sobre cuánto han aplicado algunas formas de estudio en la enseñanza precedente. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de las encuestas de caracterización de 1er año de la cohorte 2023 de las carreras de Ingeniería Informática e Ingeniería Química.

Los estudiantes de Informática que no promueven evidencian que no emplean de forma adecuada determinadas formas de estudio que en la carrera se les exige, como el empleo de libros y la realización de ejercicios. En el caso de los químicos, las diferencias son más pequeñas, pero igualmente se aprecia su influencia. Resulta interesante comprobar como el empleo de repasadores (persona que se contrata para reforzar los conocimientos impartidos en la escuela, fenómeno que se ha incrementado en los últimos años en el país) en la enseñanza precedente para alcanzar buenos resultados en los exámenes de ingreso, no resulta un mecanismo relacionado con el éxito en la carrera.

## 4. CONCLUSIONES

Cada carrera universitaria tiene sus particularidades e igualmente ocurre con los estudiantes que acceden a ella, por lo que cualquier estrategia debe tomar en cuenta sus especificidades. Pero indiscutiblemente, son las matemáticas materias que influyen positiva o negativamente en el progreso de los estudiantes y en el entendimiento de otras materias a las que le sirven de precedente. En ambas carreras, los estudiantes mayoritariamente que promovieron al año siguiente, habían accedido con el examen de ingreso de Matemática aprobado y con motivación por la carrera.

Es imperativo incentivar una mejor preparación de los estudiantes en las enseñanzas precedentes y realizar acciones en la universidad para motivar su estudio pues los estudiantes que no promovieron . no obtuvieron buenos resultados en las Matemáticas en los estudios que le antecedieron. Igualmente potenciar el empleo de otras formas de estudio que los preparen mejor para un proceso de aprendizaje donde el rol protagónico es del estudiante.

La incorporación de la innovación educativa en la enseñanza de las matemáticas para la ingeniería es una opción que puede contribuir a mejorar estos resultados, no solo por el impacto de estas materias en la retención, sino también por la importancia en la formación de habilidades para la resolución de problemas.

Esto implica la integración de metodologías, enfoques pedagógicos y tecnologías digitales [13].

De las investigaciones realizadas por otros autores, resulta interesante incorporar en el futuro en el estudio las creencias de los estudiantes con respecto a su aprendizaje matemático pues los relativamente buenos resultados de los exámenes de ingreso pueden crear una sensación de suficiencia que choca con la realidad de sus resultados en 1er año.

Los conocimientos de las matemáticas, la predisposición hacía ella, las formas de estudio, entre otros, puede hacer de un estudiante vulnerable y candidato a no promover. Identificarlos para realizar acciones personalizadas puede contribuir a disminuir la ocurrencia de este hecho.

El trabajo realizado hasta el momento deberá tener continuidad analizando qué ocurrió durante este curso que pudo influir favorable o desfavorablemente en el éxito o fracaso, no solo profundizando en aquellos que causaron baja sino también en aquellos que promovieron.

**REFERENCIAS**

1. ANSOLA HAZDAY, E., & CARLOS RODRÍGUEZ, E. “Abandono estudiantil en carreras de ingeniería: influencia de las matemáticas”. Acta Latioamericana de Matemática Educativa, 2020, vol. 33, núm. 1, pp. 346-355.
2. LÁZARO ÁLVAREZ, N., CALLEJAS, Z., & GRIOL, D. “Factores que inciden en la deserción universitaria en carreras de perfil Ingeniería Informatica”. *Revista Fuentes,* 2020, vol. *22*, núm. 1, pp. 105-106.
3. VILLAR SÁNCHEZ, P., ARENCIBIA CARVAJAL, S., ROBOTHAM, H., & GONZÁLEZ, F. “Factores que inciden en la actitud hacia el aprendizaje de las matemáticas en 1er año de ingeniería”. *Revista Complutense de Educación,* 2022, vol. *33*, núm. 2, pp. 337-249. doi:https://dx.doi.org/10.5209/rced.74356.
4. TORRES CORRALES, D. D., & MONTIEL ESPINOSA, G. “La desarticulación matemática en ingeniería. Una alternativa para su estudio y atención, desde la matemática educativa”. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades,* 2020, vol. 29, núm. 58-1, pp. 24-55. doi:https://dx.doi.org/10.20983/noesis.2020.3.2
5. PEDROSA JESÚS, C. *Actitudes hacia las matemáticas en estudiantes universitarios.* Tesis doctoral, Facultad de Ciencias en Educación. Universidad de Córdova, 2020.
6. MEJÍA AGUIAR, G., ARÉVALO VIVEROS, L., LIZCANO DALLOS, A., & MENDOZA HIGUERA, E. “Trayectorias de la enseñanza de las matemáticas en ingeniería: entornos colombiano y norteamericano”. *Revista Entramado,* 2023, vol. 19, núm. 1, pp. 1-18. doi:htpps://doi.org/10.18041/1900/3803entramado.1.8571.
7. MELLO ROMÁN, J., & GÓMEZ CHACÓN, I. “Creencias y rendimiento académico en matemáticas enn el ingreso a carreras de ingeniería”. *Revista Aula Abierta,* 2022, vol. 51, núm. 4, pp. 407-415. doi:https://doi.org/10.17811/rifie.5i.4.2022.407-415.
8. HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, A., MARTÍNEZ GIRÓN, R., ANSOLA HAZDAY, E., & GARCÍA AYALA, J. “Estudiantes en condiciones de vulnerabillidad en la CUJAE: una aproximación a su conceptualización”. *Revista Referencia Pedagógica,* 2023, vol. 11, núm. 1, pp. 120-137.
9. DÍAZ DÁVILA, L., BRITOS, J., & HIRSCHFELD, G. (). La pandemia. Acciones para facilitar el aprendizaje desarrollador durante el ingreso a carreras de ingeniería. *XV Congreso Nacional de Tecnologías Educativa y Educación en Tecnología (TE&ET 2020)*, 2020 , pp. 56-65. Neuquén.

10. COLECTIVO DE CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA (2017). *Plan de Estudios E de la carrera de Ingeniería Informática.* Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), La Habana.
11. COLECTIVO DE CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA (2017). *Plan de Estudios E de la carrera de Ingeniería Química.* Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
12. ARIAS, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Editorial: Episteme, 144 PP. ISBN 980-07-8529-9.
13. MEDINA MATUTE, V. H., SOLORZANO VILLEGAS, L. E., MEDINA JIMÉNEZ, C. A., & VERA PISCO, D. G. "Innovación educativa para la enseñanza de la matemática en ingeniería". *Revista de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR,* 2024, vol. *7*, núm. 13, pp. 2-12. doi:https://doi.org/10.46296/rc.v7i13edespfeb.0210

**Sobre los autores**

**Anaisa Hernández González**, Ingeniería en Sistemas Automatizados de Dirección, Máster en Informática Aplicada a la Ingeniería y la Arquitectura, Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Informática en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.
**Esther Rosalina Ansola Hazday**, Ingeniera Industrial, Máster en Recursos Humanos y Profesora Auxiliar del Centro de Estudios de Matemáticas para las Ciencias Técnicas en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.

# ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL EN LA INGENIERÍA CIVIL

**Nilda Iglesias Domecq**

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", cujae. Calle 114 No. 11901. e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao 15. La Habana, Cuba. CP 19390.
nilditadomecq@gmail.com

**RESUMEN**

El trabajo tiene como objetivo la presentación de una estrategia didáctica para orientar a profesores y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil (IC) una forma de conducir la dinámica interdisciplinar del Cálculo Diferencial e Integral (CDI). La misma se elaboró utilizando el Método Sistémico Estructural Funcional y está estructurada en tres fases. Su ejecución se sustenta en una matriz de articulación del contenido nodal, elaborada por la autora, la relaciona los contenidos del CDI con los de las asignaturas ingenieriles de la carrera. La pertinencia y viabilidad de la estrategia se corroboró mediante el desarrollo de una ejemplificación de su aplicación a una situación problémica profesional, la realización de dos talleres de socialización con especialistas de los Departamentos de Matemática Aplicada e IC de la Universidad de Oriente (UO); así como, mediante su aplicación en los años 1ro y 2do de IC y la correspondiente realización de un cuasi-experimento pedagógico, pudiéndose concluir que es viable y pertinente, además de que posee un adecuado nivel de abstracción del objeto de investigación transformado y una profunda coherencia lógica.

**PALABRAS CLAVE:** estrategia didáctica, Cálculo Diferencial e Integral, dinámica, interdisciplinar, Ingeniería Civil.

# TEACHING STRATEGY FOR DIFFERENTIAL AND INTEGRAL CALCULUS IN CIVIL ENGINEERING

**ABSTRACT**

The objective of this work is to present a didactic strategy to guide teachers and students in the career of Civil Engineering (CI), a way of conducting the interdisciplinary dynamics of Differential and Integral Calculus (CDI). It was elaborated using the Functional Structural Systemic Method and is structured in three phases. Its execution is based on a matrix of articulation of the nodal content, elaborated by the author themselves, which relates the contents of the CDI with those of the engineering subjects of the career. The relevance and viability of the strategy was corroborated through the development of an exemplification of its application to a professional problem, the holding of two socialization workshops with specialists from the Departments of Applied Mathematics and IC of the Universidad de Oriente (UO); as well as, through its application in years 1 and 2 of IC and the corresponding realization of a pedagogical quasi-experiment, being able to conclude that it is viable and pertinent, besides that it has an adequate level of abstraction of the transformed research object and a deep logical coherence.

**KEYWORDS:** didactic strategy, Differential and Integral Calculus, dynamic, interdisciplinary, Civil Engineering.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Civil es una rama de la ingeniería que aplica los conocimientos de Física, Matemática, Química, Mecánica, Hidráulica, Topografía y Geología para la elaboración de estructuras, principalmente edificios, obras hidráulicas (canales, represas y diques) y de transporte (puentes, carreteras, ferrocarriles y aeropuertos) en general de gran tamaño, haciendo uso de materiales que cumplen con los objetivos constructivos, tales como concreto, acero, suelo, etc. [1].

Para lograr tales estructuras se requiere de profesionales con amplios conocimientos y posibilidades de aplicación de las ciencias básicas y de las ciencias ingenieriles; aptos para proponer soluciones racionales y creativas, enfocadas a la construcción de estructuras de todo tipo. En consecuencia, la carrera de IC asume el encargo social de preparar a un técnico con capacidad para diseñar, calcular, proyectar, planificar, gestionar y administrar los proyectos de implementación de dichas soluciones; así como, para desarrollar actividades relacionadas con la conservación de estructuras construidas o la producción de construcciones a pie de obra; lo mismo en el campo de las edificaciones, que en el de las vías terrestres y de comunicación [2].

De aquí que, uno de los modos de actuación de este ingeniero sea el cálculo proyectivo-estructural de obras civiles, que se define como su competencia para distribuir y proporcionar las partes de las estructuras (edificaciones y viales) de manera que tengan suficiente resistencia, su montaje sea práctico y a la vez sean económicas [3]. Justamente es el modo de actuar que requiere mayor aplicación de métodos matemáticos que faciliten dicho cálculo, los que brindan una base objetiva, sólida, para la toma de decisiones ingenieriles.

Consecuentemente, para que este ingeniero civil se desempeñe eficientemente en su campo de acción, requiere de una amplia formación matemática, disciplina que contribuye al desarrollo de su pensamiento lógico y algorítmico, aportándole los fundamentos básicos de un especialista en ciencias técnicas, dado que este ingeniero realiza las representaciones técnicas y científicas en términos de los objetos y relaciones matemáticas, con los cuales refleja los rasgos cuantitativos y cualitativos de los fenómenos que estudia.

Y es tan relevante la Matemática para la IC, que a ello se han referido didactas e investigadores. Tal es el caso de la española [4], quien considera la necesidad de enseñar a los estudiantes la aplicabilidad de la Geometría Analítica a las obras civiles, con la finalidad de conseguir estructuras funcionales que resulten adecuadas desde el punto de vista de los materiales. La propia autora señala que debe demostrarse cómo esta rama de la Matemática resulta muy aplicable en la construcción de puentes colgantes, donde se utilizan modelos con parábolas, así como a la edificación de carreteras y autopistas, donde se emplean conceptos sobre trozos de rectas. También en la Mecánica del Suelo y Geotécnica son de gran utilidad los contenidos algebraicos, cuyas ecuaciones lineales facilitan la determinación de la porosidad del suelo, aportando conceptos tales como vectores, matrices, sistemas de ecuaciones lineales y espacios vectoriales con sus transformaciones lineales, aplicables al diseño estructural de edificios y al cálculo de la transferencia de calor y la resistencia de materiales, entre otros.

Así mismo, el ingeniero M. Contreras, de la Universidad Autónoma de Santiago de Chile [5], plantea que el ingeniero civil trabaja tomando decisiones, que pueden ser técnicas o de otro tipo, por lo que debe acostumbrarse a razonar en forma ordenada, y esto sólo lo logra cuando sabe Matemática. Este debe aplicar ciencias como Resistencia de Materiales que derivan de la Física, con base en la Matemática. A decir de este autor, la Matemática es objetiva, clara y universal, como se espera que sean las actuaciones de un ingeniero civil, por eso él debe nutrir su mentalidad con esta ciencia.

Por otro lado, el investigador español [6], asegura que la Matemática en manos de un ingeniero civil es la herramienta que hace posible construir modelos numéricos o cualitativos, cuyo análisis le permitirá tomar decisiones, realizar diseños y controlar procesos de forma eficaz y fiable. Así la modelación, la simulación y el análisis de datos resultan herramientas esenciales en esta ciencia ingenieril.

Por otra parte, en [7] se identifica el uso de las técnicas matemáticas como un medio poderoso para desarrollar el pensamiento de los ingenieros civiles, sobre todo si son utilizadas para describir, modelar y resolver situaciones técnicas. Por ello, sugiere que la Matemática es la herramienta más poderosa para este ingeniero y su dominio, desde el principio de la carrera, le permitirá un rápido progreso en temas específicos de su formación profesional.

Otros muchos autores, en la literatura revisada, enfatizan la importancia y aplicabilidad de la Matemática a la solución de los problemas que debe resolver la IC. Sin embargo, aún se confrontan serias dificultades en la aplicación de esta ciencia a la solución de dichos problemas, motivo por el cual en la presente investigación se llevó a cabo un estudio diagnóstico en la carrera de IC de la Universidad de Oriente (UO), para investigar qué importancia dan los estudiantes al aprendizaje y aplicación de la Matemática y las principales dificultades que al respecto se manifiestan [8]. El estudio arrojó una serie de insuficiencias que tienen su base en una insuficiente apropiación de los contenidos matemáticos, en relación con su aplicación a la resolución de problemas, lo que limita el futuro desempeño profesional de los estudiantes de IC.

A partir de estos resultados, se elaboró y validó una matriz de articulación del contenido nodal, cuyos nodos están conformados por contenidos que relacionan el CDI y con las asignaturas ingenieriles de la carrera [9]. La citada matriz sirve de sustento a la estrategia didáctica que se propone.

## 2. DESARROLLO

La estrategia didáctica que se propone se sustenta teóricamente en el modelo de la dinámica interdisciplinar del Cálculo Diferencial e Integral centrada en lo proyectivo-estructural de la Ingeniería Civil, el cual fue fundamentado como parte de una tesis doctoral [9], [10], [11].

La misma tiene como **objetivo** la orientación intencional a los profesores y estudiantes de la carrera de IC para la organización y desarrollo de la dinámica interdisciplinar del proceso de enseñanza-aprendizaje del CDI, en aras de formar una competencia para la aplicación del mismo a la resolución de problemas proyectivo-estructurales. Su **estructura** cuenta de tres fases, denominadas valorativo-ingenieril, abstractivo-conceptual y de concreción proyectivo-estructural. Cada una de estas posee un objetivo específico, un conjunto de acciones a desarrollar por profesores y estudiantes, así como con criterios evaluativos y patrones de logro para ambos actores del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En Iglesias (2018) se precisan las condiciones para la aplicación de la estrategia didáctica, así como los requisitos de la misma, la preparación que debe hacerse de las asignaturas y el diagnóstico que debe preceder a su aplicación, proponiendo los medios a emplear para llevar a cabo dicho diagnóstico.

**Fase valorativo-ingenieril**

Esta primera fase de la estrategia didáctica, tiene como **objetivo** orientar a profesores y estudiantes sobre la forma de concretar, en la dinámica interdisciplinar del CDI, las relaciones que se establecen entre la transposición contextualizada del contenido nodal, la comprensión significativa de la funcionalidad del CDI desde este contenido nodal y la sistematización del contenido del CDI y su funcionalidad ingenieril.

**Acciones a realizar por el profesor**

Estructurar y contextualizar el contenido del CDI de forma tal que sea convertido en objeto de enseñanza, para que responda a las especificidades de la profesión del ingeniero civil. A tales efectos será importante partir del contenido integrador del nodo de articulación preestablecido e ir realizando transformaciones didácticas que lo simplifiquen y complejicen, de acuerdo a la accesibilidad requerida por la estructura mental del estudiante y en correspondencia con el contexto de las construcciones civiles. Al poner en práctica la estructuración y contextualización hechas, será importante acompañar el aprendizaje del estudiante, para dar oportunas respuestas a sus inquietudes y plantearles nuevas preguntas que les permitan descubrir contradicciones en sus respuestas o generar otras interrogantes.

Realizar actividades docentes que propicien el desarrollo de habilidades para la identificación, análisis y comprensión de la base matemática que poseen los procedimientos ingenieriles involucrados en el contenido nodal, a la vez que destacar el importante rol que juega el CDI en la solución de situaciones profesionales relativas a dicho contenido nodal. Para ello resulta esencial el empleo del método de ejemplificación, que permite suministrar información sobre la naturaleza matemática de los procedimientos ingenieriles, para potenciar la percepción de la funcionalidad del CDI para la IC.

Aprovechar el trabajo en grupos para la discusión sobre aplicaciones del contenido del CDI a la elaboración de proyectos estructurales, que vayan ascendiendo en el nivel de complejidad, enfatizando en las relaciones que se establecen entre el contenido matemático y el profesional, de manera que se vayan creando patrones de análisis y conformación de juicios valorativos sobre la importancia del CDI para la IC. Para ello será importante propiciar que el estudiante relacione esencialmente, y no de forma arbitraria, el conocimiento nuevo con los conocimientos que ya posee. Puede hacerse el análisis del contenido de funciones para la modelación de procesos hidráulicos elementales, la obtención del estado tensional en un punto, la graficación de fuerzas interiores, el diseño de puentes y de elementos estructurales como vigas, columnas y bases de columnas, etc. Además, se podrán emplear las derivadas para la determinación de momentos flectores, configuración racional del acero, cálculo de flechas, desplazamientos verticales y ángulos de giro y las integrales para la determinación de volúmenes de tierra, cálculo del gasto en alcantarillas con entradas sumergidas y análisis cualitativos de armaduras.

Facilitar la motivación para el estudio consciente de las situaciones que se le presentan sobre aplicaciones del contenido del CDI a la solución de importantes problemas ingenieriles. Para ello, además del trabajo en grupos y la ejemplificación de soluciones a problemas ingenieriles mediante el CDI, se orientará la revisión de la bibliografía previamente escogida y el debate sobre las citadas aplicaciones, los que serán importantes medios para profundizar en la funcionalidad bajo análisis. También podrán emplearse, multimedia, tutoriales y libros electrónicos.

Propiciar las condiciones para que los estudiantes planteen, por sí solos, situaciones que relacionen el contenido del CDI con problemáticas ingenieriles, como consecuencia de los vacíos que se deben ir llenando al relacionar los conceptos significativamente.

Realizar evaluaciones que permitan medir el aprendizaje de los contenidos del CDI y las habilidades de análisis e interpretación de su funcionalidad desde el contenido nodal. Así, además de las tradicionales evaluaciones del CDI, se pueden emplear ejemplos de aplicaciones hechas de un

determinado método ingenieril, para que el estudiante analice los objetos y procedimientos matemáticos implicados en dicho método, e interprete la importancia del CDI, como soporte teórico-práctico del mismo.

*Criterio evaluativo para los profesores:* eficacia de la transposición didáctica realizada en la dinámica interdisciplinar del CDI centrada en lo proyectivo-estructural de la IC, para que los estudiantes logren una adecuada sistematización del contenido del CDI y de su funcionalidad ingenieril.

Tabla 1: Patrones de logro para los profesores.

| No | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Empleo de transposiciones didácticas apropiadas para favorecer la comprensión significativa de la funcionalidad del CDI desde el contenido nodal. | | | | |
| 2. | Desarrollo de actividades docentes que favorezcan la sistematización del CDI y su funcionalidad ingenieril. | | | | |
| 3. | Diseño y aplicación de un sistema de evaluación que contribuya a potenciar la sistematización del CDI y su funcionalidad ingenieril. | | | | |

**Acciones a realizar por el estudiante**

Analizar las situaciones problémicas de la IC que les presenta el profesor, resueltas mediante la aplicación del contenido del CDI.

Formar juicios valorativos sobre la importancia del contenido del CDI para la IC, a partir de la identificación de funcionalidades proyectivo-estructurales presentadas por el profesor.

Interpretar los resultados propuestos a problemas ingenieriles resueltos mediante el CDI, en el contexto en que se enuncian.

Realizar revisiones bibliográficas que le permitan profundizar en la aplicabilidad del CDI a la resolución de problemas topográficos, hidráulicos, de la modelación mecánica de las estructuras, la resistencia de materiales, las terminaciones e instalaciones y conservación de edificios, entre otros.

Apropiarse de procedimientos de carácter lógico-interpretativo como la observación, el análisis, la síntesis, la inducción, deducción, analogía, modelación, cuantificación, aproximación, generalización, concreción y comparación, para valorar las funciones proyectivo-estructurales del contenido del CDI.

Realizar una síntesis de las funcionalidades ingenieriles que reconoce en el contenido del CDI.

*Criterio evaluativo para los estudiantes:* nivel de comprensión significativa de la funcionalidad ingenieril del CDI desde el contenido nodal, evidenciado en los resultados de la sistematización de dicho contenido y de su funcionalidad.

Tabla 2: Patrones de logro para los estudiantes.

| No. | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Identificación de las funcionalidades proyectivo-estructurales del contenido del CDI. | | | | |
| 2. | Apropiación de procedimientos de carácter lógico-interpretativo para valorar la funcionalidad ingenieril del contenido del CDI. | | | | |
| 3. | Sistematización del contenido del CDI y su funcionalidad ingenieril, comprobada en el resultado de las evaluaciones que se realizan. | | | | |

**Fase abstractivo-conceptual**

Esta fase de la estrategia, tiene como **objetivo** orientar a profesores y estudiantes sobre la forma de llevar a la dinámica, las relaciones que se establecen entre la problematización ingenieril del contenido del CDI, su apropiación integradora y su sistematización y generalización proyectivo-estructurales.

**Acciones a realizar por el profesor**

Problematizar el contenido del CDI y sus relaciones nodales. Para ello será necesario preparar problemáticas concretas del contexto de las construcciones civiles (a partir de los nodos de articulación establecidos) cuya solución requiera de nuevos conocimientos sobre el CDI, de manera que se facilite la motivación de los estudiantes por el aprendizaje de dichos conocimientos y se logre la comprensión de la funcionalidad del mismo. La intensión será modificar los modelos mentales que

traen por medio de un proceso personal inducido de equilibrio-desequilibrio-reequilibrio. Los contenidos nodales deben organizarse coherentemente alrededor de objetos de conocimiento del CDI que potencien y faciliten variabilidad y riquezas de preguntas y problemas.

Involucrar al estudiante en el análisis y discusión de diversas situaciones proyectivo-estructurales que demanden de representaciones abstractas como las que propician los diferentes objetos del CDI. Presentar al estudiante situaciones ingenieriles, elaboradas a propósito de crear conflictos cognitivos que generen interés por ampliar sus conocimientos y desarrollar habilidades intelectuales que les permitan avanzar en el aprendizaje del CDI desde su relación con la profesión ingenieril.

Diseñar actividades docentes que permitan potenciar la apropiación que hará el estudiante del contenido, pasando por los niveles de familiarización y reproductivo, para llegar al productivo, en el que los objetivos están encaminados a resolver problemas utilizando modelos de acción asimilados. Aprovechar las clases prácticas para el primer tipo de actividades y luego en seminarios y talleres, previamente orientados, trabajar la parte productiva, potenciando la formación de habilidades.

Emplear métodos activos como la exposición problémica, la búsqueda parcial, la conversación heurística y el método investigativo para desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje del CDI, desde la problematización concebida. De esta forma se logra que los estudiantes no sean entes pasivos de su aprendizaje, sino que actúen, piensen y elaboren explicaciones plausibles, a la vez que asimilen el contenido del CDI y comprueben en la práctica su funcionalidad ingenieril.

Confrontar puntos de vista contrarios para contribuir a la selección de métodos eficientes para el abordaje y resolución de las situaciones problémicas que se les proponen. Emplear el trabajo en grupos pequeños, en los que los estudiantes puedan discutir sus ideas y percibir la forma en que los otros realizan los análisis, lo que les permitirá apropiarse de patrones y modificar positivamente algunos de los métodos preestablecidos por ellos, además de fomentar hábitos de socialización de sus opiniones.

*Criterio evaluativo para los profesores:* eficacia de la problematización ingenieril realizada en la dinámica interdisciplinar del CDI centrada en lo proyectivo-estructural de la Ingeniería Civil, para que los estudiantes logren una adecuada generalización proyectivo-estructural del contenido del CDI.

Tabla 3: Patrones de logro para los profesores.

| No. | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Empleo de una problematización ingenieril apropiada para favorecer la apropiación integradora del CDI desde su funcionalidad ingenieril. | | | | |
| 2. | Desarrollo de actividades docentes que favorezcan la generalización proyectivo-estructural del CDI, desde su problematización. | | | | |
| 3. | Diseño y aplicación de un sistema de evaluación que contribuya a potenciar la sistematización y la generalización proyectivo- estructural del CDI. | | | | |

**Acciones a realizar por el estudiante**

Analizar las situaciones desconocidas que se les presentan como resultado de la problematización realizada por el profesor, para encontrarles un orden lógico, elaborar explicaciones plausibles y generar hipótesis de trabajo.

Apropiarse de un amplio conocimiento sobre el contenido del CDI y sus ventajas para dar tratamiento a la naturaleza proyectivo-estructural del objeto de estudio de la Ingeniería Civil.

Aprender a buscar analogías entre situaciones problémicas de la IC que hayan sido modeladas mediante las herramientas del CDI y aprovechar el trabajo en grupos para debatir nuevas situaciones.

Percibir las complejidades del proceso de modelación de situaciones proyectivo-estructurales en el marco de la IC y asimilar los significados ingenieriles que adquieren los objetos (funciones, límites, derivadas, integrales, etc.), características (linealidad, concavidad, convexidad, etc.) y relaciones (tangencia, distancia, perpendicularidad, equivalencia, isomorfismos, proporcionalidad, etc.) inherentes al CDI para el éxito en dicha modelación.

Profundizar en el papel que juega el contenido del CDI para modelar situaciones de la IC, empleando funciones para representar resultados de levantamientos mediante curvas de nivel, trazado de poligonales, procesos hidráulicos elementales, algunos elementos estructurales como vigas, columnas

y bases de columnas, etc.; el límite para el cálculo de fuerzas externas en las secciones de cargas de las edificaciones; las derivadas para momentos flectores, configuración racional del acero, la ecuación de la generatriz de un arco, los desplazamientos verticales y ángulos de giros, la flexión compresión y tracción, entre otras aplicaciones posibles.

*Criterio evaluativo para los estudiantes:* nivel de apropiación integradora del contenido del CDI desde su funcionalidad ingenieril, evidenciado en los resultados de su sistematización y generalización proyectivo-estructural.

Tabla 4: Patrones de logro para los estudiantes.

| No | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Apropiación del contenido del CDI desde su funcionalidad ingenieril, evidenciado en las explicaciones que hacen de soluciones dadas por profesionales de la IC a problemas constructivos, empleando métodos matemáticos de cálculo. | | | | |
| 2. | Sistematización del contenido del CDI y su funcionalidad ingenieril, evidenciado en las valoraciones críticas que hacen de soluciones dadas por profesionales de la IC a problemas constructivos, empleando métodos matemáticos de cálculo. | | | | |
| 3. | Generalización proyectivo-estructural del contenido del CDI, comprobada en el resultado de las evaluaciones que se realizan. | | | | |

**Fase de concreción proyectivo-estructural**

La tercera fase de la estrategia didáctica tiene como **objetivo** orientar a profesores de las asignaturas ingenieriles y a los estudiantes sobre la forma de concretar, en la dinámica interdisciplinar que se modela, las relaciones que se establecen entre la reconstrucción de los contenidos del CDI desde el contexto de las construcciones civiles, la aplicación del CDI a la resolución proyectivo-estructural de problemas profesionales y la generalización proyectivo-estructural del contenido del CDI.

**Acciones a realizar por el profesor**

Lograr un compromiso, por parte del estudiante, hacia la reconstrucción y aplicación del contenido del CDI desde las asignaturas ingenieriles. Esto se puede lograr proponiendo la solución de numerosas situaciones problémicas, en las que el estudiante deba identificar y emplear adecuadamente objetos y relaciones del CDI para representar los objetos y relaciones ingenieriles, aportando adecuadas soluciones proyectivo-estructurales. El reto es superar a la actividad docente tradicional, en la que se presentan los contenidos ingenieriles sin hacer alusión al sustento matemático que poseen, para luego aplicar sus métodos sin destacar que están compuestos por objetos, características y relaciones del CDI.

Desarrollar actividades docentes en las que se explicite la presencia del contenido del CDI en el sustento teórico de los métodos ingenieriles. Retomar el contenido del CDI considerado en los nodos de articulación, y lograr que el estudiante no se conforme con aplicar mecánicamente los métodos ingenieriles, sino que tenga la oportunidad de recrear el sustento matemático de los mismos, para que comprenda la importancia del CDI para la resolución de problemas profesionales.

Emplear métodos de enseñanza que faciliten la activación en el estudiante de su capacidad de observación e interpretación del contexto de las construcciones civiles, de manera que puedan percibir las potencialidades de concreción proyectivo-estructural del contenido del CDI para propiciar solución a situaciones ingenieriles. Aquí son apropiados los métodos problémicos y de elaboración conjunta.

Tener en cuenta las particularidades individuales de los estudiantes, preparando actividades especiales para satisfacer los requerimientos de aquellos de alto y de bajo aprovechamiento, previendo mecanismos de retroalimentación sobre la apropiación de los contenidos, para conducir el proceso sin caer en situaciones que puedan desmotivar a unos, o atrasar a otros.

Crear un ambiente de trabajo matemático en el aula, donde se utilicen ampliamente estrategias para la resolución de los problemas, contextualizados al contenido profesional establecido en el nodo de articulación, propiciando la reflexión y la argumentación, de manera que el estudiante pueda adquirir nuevas habilidades. Las situaciones problémicas que se empleen deberán contribuir a fomentar la movilización de habilidades básicas, tanto del pensamiento matemático, como ingenieril.

*Criterio evaluativo para los profesores:* eficacia de la reconstrucción del contenido del CDI desde el contexto de las construcciones civiles en la carrera de Ingeniería Civil, para que los estudiantes logren una adecuada generalización proyectivo-estructural de dicho contenido.

Tabla 5: Patrones de logro para los profesores.

| No | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Realización de una reconstrucción apropiada del contenido del CDI desde el contexto de las construcciones civiles, para favorecer su aplicación a la resolución proyectivo-estructural de problemas profesionales. | | | | |
| 2. | Desarrollo de actividades docentes que favorezcan la generalización proyectivo-estructural de los contenidos CDI, desde su reconstrucción. | | | | |
| 3. | Diseño y aplicación de un sistema de evaluación que contribuya a potenciar la sistematización y la generalización proyectivo-estructural del CDI. | | | | |

**Acciones a realizar por el estudiante**

Adquirir sentimiento de progreso y control, a partir del desarrollo de actividades de aprendizaje que potencien la efectividad al aplicar los contenidos nodales y estratégicos.

Implicarse en el contexto de las construcciones civiles a partir de situaciones prácticas, asumiendo las actividades a desarrollar desde una perspectiva realista que propicie tomar consciencia sobre la diversidad interactiva que brindan los objetos, características y relaciones del CDI, para descubrir datos y claves que faciliten el tránsito hacia un nivel matemático más esencial.

Apreciar el vínculo entre los contenidos matemáticos que aporta el CDI y la riqueza aportada por el contexto de las construcciones civiles, lo que posibilitará la formación de habilidades para el planteamiento y posterior resolución de problemas proyectivo-estructurales de la Ingeniería Civil.

Activar y contextualizar sus conocimientos y experiencias, de acuerdo con la variabilidad de situaciones de aplicación del CDI en las que se vea inmerso, desde un reconocimiento de los parámetros que rigen y condicionan los contextos ingenieriles y determinan sus procesos formativos.

Generar conocimientos productivos, asociados al contenido del CDI, a partir del establecimiento de nuevos vínculos con el contexto de las construcciones civiles y de la resolución de problemas profesionales, posibilitando la recuperación de información relevante desde su base de conocimientos y experiencias y la apropiación de la naturaleza proyectivo-estructural de dicho contenido.

Reconstruir los contenidos del CDI en el contexto de las construcciones civiles, para abrir esta realidad proyectivo-estructural, identificarla y descubrir en varios de sus aspectos.

Aplicar los contenidos del CDI a la resolución de problemas profesionales para construir, crear y, sobre todo, comprobar la realidad proyectivo-estructural en su esencia, para luego transformarla en correspondencia con las demandas existentes.

Actuar de manera integral para identificar, interpretar, argumentar y resolver problemas del contexto de la IC, desde el modo de actuar proyectivo-estructural adquirido, corroborando la pertinencia, viabilidad y coherencia de las soluciones que propone; demostrando idoneidad y compromiso ético, al articular el saber matemático con el saber hacer ingenieril y saber ser, para lograr un desempeño eficiente y eficaz en el diseño y construcción de infraestructuras, principalmente de edificios, obras hidráulicas (canales, represas y diques) y de transporte (puentes, carreteras, ferrocarriles y aeropuertos), a la vez que transformar y enriquecer sus conocimientos sobre el CDI y su sistema de valores profesionales.

*Criterio evaluativo para los estudiantes:* nivel de aplicación del contenido del CDI a la resolución proyectivo-estructural de problemas profesionales, evidenciado en los resultados de su generalización.

Tabla 6: Patrones de logro para los estudiantes.

| No | PATRONES DE LOGRO | CALIFICACIÓN | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Reconstrucción de los contenidos del CDI desde el contexto de las construcciones civiles, evidenciado en el reconocimiento que hacen de este contenido | | | | |

matemático en el sustento de los métodos ingenieriles que emplean para dar solución a los problemas constructivos.

2. Aplicación del contenido del CDI a la resolución proyectivo-estructural de problemas profesionales, evidenciado en las aplicaciones que hacen de este contenido a la solución de problemas constructivos de la ingeniería civil.
3. Generalización proyectivo-estructural del contenido del CDI, comprobada en el resultado de las evaluaciones que se realizan.

## 3. CONCLUSIONES

La estrategia didáctica que se propone está estructurada en tres fases: valorativo-ingenieril, abstractivo-conceptual y de concreción proyectivo-estructural, cada una de las cuales tienen un objetivo, acciones a realizar por los profesores y por los estudiantes, criterios evaluativos y patrones de logro para profesores y para estudiantes. La misma constituye una forma de organizar y desarrollar la dinámica interdisciplinar del CDI, a partir de la matriz de articulación del contenido nodal, y centrada en lo proyectivo-estructural de la Ingeniería Civil.

Su introducción en la práctica docente de la carrera de Ingeniería Civil contribuye a formar en los estudiantes una competencia para la aplicación del CDI a la resolución de problemas proyectivo-estructurales. Esto fue corroborado mediante su aplicación en los dos primeros años de dicha carrera en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

## RECONOCIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Decana de la Facultad de Ingeniería Civil de la UO, Dra. Zenaida Frometa y a su colectivo de profesores por ayudarme a validar esta investigación. A los Doctores Isabel Alonso y Alexander Gorina por sus valiosos aportes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. MES. “Plan de estudio D para la carrera de Ingeniería Civil”. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba, 2007.
2. MES. “Plan de estudio E para la carrera de Ingeniería Civil”. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba, 2017.
3. RAMÍREZ, M. “Objetivo del proyectista estructural. Arquitectura 21”, 2012. Disponible en Web: http://www.arquitectura21.com/2012/03/objetivo-del-proyectista-estructural.html
4. DE LA ROSA, Pilar. “La importancia de las matemáticas en Ingeniería Civil”. 2013 Disponible en Web: https://prezi.com/qh7kgcern3wh/la-importancia-de-la-matematicas- en-ing-civil/#prezi-comments
5. GONZÁLEZ, J. N. “Importancia de las Matemáticas en la Ingeniería Civil”. 2016. Disponible en Web: https://prezi.com/m/zqz6wb_fco/importancia-de-las-matematicas-en-la-ingenieria-civil
6. VÁZQUEZ, J. L. “Matemáticas, Ciencia y Tecnología: Una relación profunda y duradera”. Departamento de Matemáticas. Universidad Autónoma de Madrid. 2001. Disponible en Web: https://www.mat.ucm.es/~rrdelrio/documentos/jlvazquez.pdf
7. SALAZAR, F. D. “La formación interdisciplinaria del futuro profesor de Biología en la actividad científico-investigativa”. Tesis de doctorado, Instituto Superior Pedagógico “Enrique José Varona”, Ciudad de La Habana, 2004.
8. IGLESIAS, N. y ALONSO, I. “Estudio exploratorio sobre la importancia de la Matemática para la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Oriente”. Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa (REFCalE). 5(1), 45-62, 2017. Ecuador.
9. IGLESIAS, N. “Dinámica interdisciplinar del Cálculo Diferencial e Integral centrada en lo proyectivo-estructural de la Ingeniería Civil”. Tesis de doctorado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2018.
10. IGLESIAS, N., ALONSO, I. y GORINA, A. “La dinámica interdisciplinar del proceso de enseñanza-aprendizaje del Cálculo Diferencial e Integral en la carrera Ingeniería Civil”. Revista Transformación, 14 (2), 214-225, Camagüey, 2018.
11. IGLESIAS, N. “El Cálculo Diferencial e Integral en las carreras de ciencias técnicas. Especificidades de su enseñanza”. Revista Maestro y Sociedad, 14(4), 660-670, Santiago de Cuba, 2017.

**SOBRE LA AUTORA**

Nilda Iglesias Domecq. Licenciada en Matemática en la Universidad de Oriente. Profesora Titular y Doctora en Ciencias Pedagógicas.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TALLERES PARA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN EN CURSO TÉCNICO SUPERIOR AGUA Y SANEAMIENTO

**Tania Herrera Achón[1], Mailén Virgen Gutiérrez Herrera1[2]**

1, 2 Centro de Investigaciones Hidraúlicas (CIH) Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
tanherrera@gmail.com
mailengh77@gmail.com

**RESUMEN:**

Este trabajo tiene como objetivo presentar el diseño de la asignatura Taller del Programa de Técnico Superior en Agua y Saneamiento, en la asignatura Metodología de la Investigación que forma parte curricular del curso. Los talleres son la vía donde los estudiantes tienen la posibilidad de integrar los conocimientos de la asignatura Metodología de la Investigación en sesiones de trabajo científico, como espacio de análisis y reflexión sobre el problema a investigar, con el objetivo de garantizar la escritura del Informe a presentar como culminación de los estudios realizado. El ejercicio profesional de culminación de estudios es un informe científico que el tema seleccionado pertenece al Banco de Problemas de la entidad que lo selecciona para la realización del mismo. Se realiza la propuesta de cómo trabajar en cada encuentro con los estudiantes que le permitan trabajar, exponer y discutir en colectivo cómo van avanzando en el trabajo. Y de esta forma poder garantizar trabajos con la calidad requerida.

**PALABRAS CLAVE**: informe, Metodología de la Investigación, taller.

## WORKSHOPS FOR RESEARCH METHODOLOGY IN ADVANCED TECHNICAL WATER AND SANITATION COURSE

**ABSTRACT**

This Paper deals with the design of the subject matter "Thesis workshop" for the master´s degree program in Educatión at the Cienfuegos University. The thesis workshop one the way where the studiantes have the opportunity to integrate the knowlledment about the educarive research for preparing and definding the master´s degree theirs.

**KEY WORDS**: report, Research Methodology, workshop.

## 1. INTRODUCCIÒN.

Dentro de cualquier sistema educacional contemporáneo, la Educación Superior está llamada a dar respuestas a las necesidades impuestas por el desarrollo económico y social a través de la formación de los profesionales que enfrentarán el impetuoso avance de la ciencia y la técnica.

La formación de dichos profesionales se realiza a partir de los currículos que les aseguren egresar de los estudios superiores preparados para resolver las disímiles problemáticas surgidas a diario en su futuro escenario de actuación [1]. Este taller tiene como antecedentes fundamentales la asignatura optativa Metodología de la Investigación Científica, que se imparte en el Curso de Técnico Superior en Agua y Saneamiento [2], a partir de la cual los estudiantes han desarrollado un nivel de asimilación de los conocimientos aplicativos, en las acciones concreta de la Metodología de la Investigación, que les permiten pasar a un nivel superior de los conocimientos, crear, en su trabajo de investigación.

Los conocimientos, habilidades, valores y actitudes propios de la Metodología de la Investigación, que los estudiantes han logrado formarse y que han aplicado en situaciones investigativas cuasi-reales, serán aplicados en el trabajo de investigación que culminará en la presentación del informe.

Por lo que de ningún modo se pretende es volver a repetir los contenidos estudiados con anterioridad, estos de acuerdo a las necesidades individuales de los estudiantes serán estudiados como parte de la auto-preparación que lleva realizar cualquier trabajo científico. La cual será debidamente orientada por el profesor del taller.

Un documento obligado para el desarrollo del taller, lo constituye el anteproyecto del informe el trabajo elaborado, a partir del cual se realizará una evaluación diagnóstica que nos permitirá realizar una evaluación formativa durante el desarrollo del mismo.

Teniendo en cuenta que unas de las dificultades para el desarrollo de la Investigación Científica, están en los procedimientos lógicos del pensamiento y en la pertinencia del problema de investigación, éstos también formarán parte de la evaluación diagnóstica del taller.

## 2. DESARROLLO

El trabajo metodológico en la Educación Superior se encuentra refrendado, entre otras, por [3]. En esta se apunta:

En el artículo 200.1. El taller es el tipo de clase que tiene como objetivo que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas para la resolución de problemas propios de su futura esfera de actuación profesional, materializándose de esta manera el vínculo teoría-práctica. 2. El taller contribuye al desarrollo de habilidades para la solución integral de problemas profesionales en grupo, para el grupo y con la ayuda del grupo, donde primen los vínculos inter-asignaturas

El taller como forma organizativa se concibe como práctica educativa centrada en la realización de una actividad específica que se constituye en situación de aprendizaje asociada al desarrollo de habilidades.
Taller es un término que se deriva del vocablo francés atelier que posee varias acepciones: estudio, obrador, oficina, etc. y sus orígenes provienen de la Edad Media como un lugar donde se forman los aprendices. Señala [4], la diversidad de actividades pedagógicas a las que se le denominan taller, el cual ha sido categorizado también como método, procedimiento, técnica y forma de organización del proceso pedagógico. (p.5.)
Haciendo un análisis profundo de las diferentes definiciones dadas al término en cuestión por parte de varios estudiosos de esta temática se asume la existencia de elementos comunes entre ellas, que pueden resumirse de la siguiente forma:

- Su concepción propicia el trabajo en equipo o grupal.
- Se logra un estrecho vínculo de la teoría con la práctica
- Sus objetivos van dirigidos al intercambio de una problemática particular de carácter metodológico relacionada con la labor profesional.

También se coincide con la definición de taller ofrecida por [5], donde refiere:

> El taller facilita el cumplimiento de requerimientos como la formación de valores, la orientación profesional y vocacional, la elevación de la cultura en general y entrena y perfila al escolar en el cuestionamiento de toda actividad de aprendizaje y de hecho lo convierte en un analizador profundo de la competencia profesional del maestro.

El taller de tesis tiene como objetivo general: elaborar con independencia cognoscitiva y creatividad, el Proyecto de investigación, a partir del planteamiento de su problema científico como la invariante del conocimiento, y su elaboración del marco metodológico como invariante de las habilidades científicas; en función de generar el resto de los componentes del proyecto sustentado a partir de la Metodología de la Investigación Científica y para este curso superior de Técnico en Agua y Saneamiento se propone que el tipo de evaluación de culminación de estudios sea un ejercicio profesional integrador para los estudiantes de ambos tipos de curso (diurno y curso por encuentro) cada institución tiene la libertad de instrumentar este ejercicio de acuerdo a sus experiencias acumuladas con la carrera de Ingeniería Hidráulica y otras afines

Algunas pautas para su instrumentación y ejecución pueden ser las siguientes:

1. El ejercicio profesional integrador debe ser elaborado en correspondencia con los objetivos declarados en el modelo de profesional.

2. Los contenidos y alcance del ejercicio pueden ser definidos por la comisión del programa de formación de cada centro sobre la base de una situación problemática que demande del estudio la auto preparación individual y colectiva de los estudiantes en una esfera de actuación.
3. El ejercicio profesional puede ser conducido en equipo conformado por un máximo de tres estudiantes.
4. La orientación del ejercicio puede ser realizada con un tiempo razonable a cada equipo de estudiantes y será conducido por uno o varios tutores por equipo.
5. Se designará para cada equipo de estudiantes un oponente para el ejercicio de defensa del ejercicio profesional.
6. La discusión del ejercicio se realizará a través de la entrega de un documento en la semana 10 del semestre 4 del programa y se programará su acto de defensa para el último mes de este semestre

**Los Objetivos Específicos están orientados a:**

- Proporcionar la estrategia y medios fundamentales para la selección del tema de investigación y la formulación del problema, objeto de estudio y campo de acción.
- Analizar los referentes teóricos en el marco de la investigación planteada.
- Establecer los métodos y técnicas en la investigación.
- Elaborar el informe de investigación a partir de las exigencias teóricas y metodológicas requeridas para este tipo de documento.

**Programación de los encuentros**

**Encuentro número uno.**

**Fundamentación teórica del problema de investigación**

- La coherencia interna del trabajo de investigación

1. El problema científico, y el estado del conocimiento
2. El objeto de estudio y el campo de acción
3. Los objetivos y las tareas de investigación.

**Objetivos:**

- Definir los términos, conceptos y categorías de análisis del problema de investigación.
- Justificar el contexto socio- histórico y espacio-temporal del problema de investigación

**Trabajo independiente para la auto-preparación de los estudiantes y el Taller No 1**
**Fundamentación teórica del problema de investigación**

Como estrategia el investigador debe de ordenar sus ideas a través de preguntas que faciliten la delimitación del tema y su objetividad. Aunado a esto, las preguntas tienen que ser concisas y deben de reflejar la importancia del tema.
En términos generales las preguntas que guiarán la redacción de la introducción son:

a) ¿Qué se ha dicho sobre el tema?

b) ¿Cómo se ha estudiado?

c) ¿Por quién y con qué resultados se ha estudiado el tema?

d) ¿Cuáles son mis posibilidades de investigación en tiempo y espacio?

e)¿Cuál es mi potencial aportación al tema?

f) ¿Por qué he escogido este tema?

e) Plantearse los objetivos previos de lo que pretende lograr la investigación en términos generales y específicos.
Es necesario aclarar que estas preguntas, solo representan una guía aproximada. El hacer investigación depende del "estilo" o la forma de hacer investigación por parte del científico.
Pero, las preguntas obligan de alguna forma que el investigador se confronte con el conocimiento acumulado en relación al tema. Ese conocimiento acumulado, se sistematiza, discute, crítica y propone en el llamado Marco Teórico.

**3 Actividades Complementarias:**

Elabora una introducción tomando como fundamento al menos cuatros fuentes bibliográficas, mismas que deberá citar de acuerdo al formato APA de citaciones

**Encuentro número dos.**

**Fundamentación teórica del problema de investigación**

- El problema de investigación científica.

1. El problema científico, conceptos, métodos, técnicas e instrumentos de investigación.
2. El problema científico, y el estado del conocimiento.

**Objetivos:**

- Justificar la relevancia científica, pertinencia y actualidad del problema de investigación
- Definir los términos, conceptos y categorías de análisis del problema de investigación.

**Trabajo independiente para la auto-preparación de los estudiantes y el 5avance del trabajo de investigación:**

**Taller No 2**
¿HEMOS HECHO UNA REVISIÓN ADECUADA DE LA LITERATURA?

En ocasiones uno puede preguntarse si hizo o no una correcta revisión de la literatura y una buena selección de referencias para integrarlas en el marco teórico. Para responder a esta cuestión, pueden utilizarse los siguientes criterios en forma de preguntas. Cuando podemos responder "sí" a todas ellas, estaremos seguros que, al menos, hemos hecho nuestro mejor esfuerzo y de cualquiera que lo hubiera intentado no podría haber obtenido un mejor resultado.
• ¿Acudimos a un banco de datos, ya sea de consulta manual o por terminal de computadora? y ¿pedimos referencias por lo menos de cinco años atrás?
• ¿Consultamos como mínimo cuatro revistas científicas que suelen tratar el tema que nos interesa?, ¿las consultamos de cinco años atrás a la fecha?
• ¿Buscamos en algún lugar donde había tesis y disertaciones sobre el tema de interés?
¿Buscamos libros sobre el tema al menos en dos buenas bibliotecas?
• ¿Consultamos con más de una persona que sepa algo del tema?
• Si, aparentemente, no descubrimos referencias en bancos de datos, bibliotecas, hemerotecas, videotecas y filmotecas, ¿escribimos a alguna asociación científica del área dentro de la cual se encuentra enmarcado el problema de investigación?
Además, cuando hay teorías o generalizaciones empíricas sobre un tema, cabría agregar las siguientes preguntas con fines de autoevaluación:
¿Quién o quiénes son los autores más importantes dentro del campo de estudio? ¿Qué aspectos y variables han sido investigadas?

¿Hay algún investigador que haya estudiado el problema en un contexto similar al nuestro?
Responda las preguntas por escrito, y redacte un ensayo (Extensión libre**)**

**Encuentro número tres:**

- Estado del conocimiento en torno a la temática de investigación.

**Objetivos:**

1. Explicar el estado del conocimiento en torno a la temática de investigación.
2. Explicar la investigación a partir de la bibliografía analizada.
3. Aplicar los procedimientos lógicos del pensamiento análisis, síntesis, inducción, deducción.
4. Aplicar la norma APA para la escritura de las referencias bibliográficas y citas de autores.

**Taller No 3**
**El problema de investigación**

- Situación Problemática
- El problema de investigación científica.

1. El objeto de estudio y el campo de acción
2. Los objetivos y las tareas de investigación.
3. El problema científico, teorías, métodos, técnicas e instrumentos de investigación.

**Objetivos:**

- Justificar la relevancia científica, pertinencia y actualidad del problema de investigación
- Definir las nociones, términos, conceptos y categorías de análisis del problema de investigación.
- Explicar la coherencia interna entre
    - El problema científico y las categorías para su análisis.
    - El problema científico, los objetivos y las tareas de investigación.
    - El problema científico, teorías, métodos, técnicas e instrumentos de investigación.

**Trabajo independiente para su revisión**

Redactar para su revisión a continuación de la Fundamentación del tema seleccionado la presentación de los siguientes aspectos
Introducción.

• Fundamentación

• Situación Problemática

• Planteamiento del Problema.

• Objeto de estudio

• Campo de acción.

• Objetivo general.

• Objetivos específicos

• Tareas de investigación.

**Encuentro número cuatro.**

**Fundamentación del marco metodológico**

-Estrategia general de trabajo y el calendario de actividades.

**Objetivos:**

1. Argumentar la perspectiva metodológica y métodos seleccionados.
2. Explicar la correspondencia entre el problema, los objetivos, tareas, métodos, técnicas e instrumentos de investigación.
3. Explicar la lógica del problema, la estrategia general de trabajo y el calendario de actividades.

**Trabajo independiente para la auto-preparación de los estudiantes y el avance del trabajo de investigación:**

1. Ensayo sobre la perspectiva metodológica del trabajo de investigación. (Extensión 6 cuartillas, que se puede incorporar al trabajo anterior).
2. Elaboración del informe de investigación.

**Encuentro número cinco**

- Reflexión y análisis colectivo de la versión del proyecto informe de investigación. Pre defensa

1. Auto- evaluar las actividades desarrolladas en el proceso de investigación.

**Trabajo independiente para la auto-preparación de los maestrantes y el avance del trabajo de investigación:**

1. Ejercicio de recapitulación e integración de conocimientos en el proyecto de informe de investigación. (Extensión Libre).

**Encuentro número seis.**

- Presentación y predefensa del proyecto del informe de investigación.

**Objetivos:**

1. Demostrar para la valoración de especialistas la aplicación de los conocimientos y habilidades sobre la Metodología de la Investigación, en el trabajo de investigación a partir de la presentación del proyecto del informe de investigación.

**Metodología.**

**Propuesta metodológica para el desarrollo del Taller de Tesis**

El fundamento metodológico del Taller de Tesis se encuentra en la metodología socio-individualizante, o sea tener en cuenta el desarrollo individual y del grupo.

Los talleres de investigación se distinguen de otros tipos de forma organizativa de la docencia porque a partir del diagnóstico realizado se elaborará una ficha de cada estudiante, donde aparecerán las actividades que se le recomendarán para mejorar su proceso de aprendizaje sobre la Metodología de la

Investigación. Las actividades del estudiante responderán a las necesidades de su trabajo de investigación, por lo cual se establece un proceso de triangulación de las necesidades y de evaluación como un continuo de su aprendizaje donde intervienen el estudiante, su tutor y el estudiante ofrecerá a sus compañeros de grupo sus experiencias, sugerencias coordinador del taller de tesis. Esto contribuirá a la atención diferenciada durante el desarrollo de los mismos, y al trabajo de auto-preparación que debe realizar el estudiante; por lo que existirá un intercambio sistemático de información sobre los avances del estudiante entre los tutores y el coordinador del taller de investigación.

En lo grupal, el trabajo será organizado alrededor de las diferentes líneas de investigación, las cuales responden a las exigencias que deben cumplir cualquier trabajo de investigación científica. Todos los estudiantes participarán en la construcción del objetivo que tiene cada sesión y que responderá a la solución de la problemática planteada. Cada uno de los participantes se preocupará por el avance del grupo, los que nos permitirá evaluar la cooperación individual en el desarrollo grupal, por lo cual cada, ofrecerá sus materiales. De ser posible se crearán sub-grupos de trabajos de acuerdo a la afinidad de la temática a investigar dentro de cada línea de investigación y se realizarán posteriormente plenarias de socialización y reflexión colectiva.

Para la organización del desarrollo de los talleres se tendrá en cuenta:

- Que cada sesión de programe en torno a una problemática que genere un conjunto de tareas para su solución y que tributen a cada trabajo de investigación de los maestrantes.
- Que las sesiones se realicen a partir de la auto-preparación realizada por cada maestrante, la cual deberá entregar por escrito, siguiendo las orientaciones ofrecidas para cada sesión.
- La entrega en tiempo y adecuada a las orientaciones como requisito para participar en cada sesión.
- La selección de las problemáticas a estudiar será con un enfoque sistémico.
- Los objetivos de cada sesión, tributan al objetivo general del taller de tesis. Y que para el logro de los mismos se requiere de una carga horaria de estudio independiente y búsqueda de información que debe ser planificada desde el inicio, por cada maestrante y de acuerdo a sus necesidades de formación.
- La bibliografía utilizada por cada maestrante.

En cada taller, se hará una breve introducción sobre el mismo, la discusión ocasional de algún material considerado necesario para el avance del grupo; una presentación individual de la solución a la problemática del taller; una plenaria de conclusiones y entrega de las observaciones y recomendaciones por escrito por el coordinador del taller a cada y la especificación de las tareas del próximo -taller.

**Evaluación del aprendizaje de los estudiantes**

La evaluación se realizará de la siguiente forma, una evaluación diagnóstica al inicio del programa, la evaluación formativa se realizará en todos los talleres, teniendo en cuenta los avances y dificultades de cada estudiante de acuerdo a los criterios del mismo, de sus compañeros de grupo, de su tutor de y de la profesora de Metodología de la Investigación. Al finalizar el desarrollo de la predefensa se emitirá una calificación que partirá de la auto-evaluación que hace el alumno, la entrega de las tareas, la participación, la opinión del tribunal en la sesión de predefensa.

## 3.CONCLUSIONES

El presente taller tiene un caràcter integrador en el Curso Superior de Técnico en Agua y Saneamiento, con el propósito de desarrollar habilidades de investigación que en su sistematización propicien el desarrollo del informe de presentación como ejercicio de culminación de los estudios. La organización de

los mismos se ha estructurado, en función de promover un espacio de reflexión individual y colectiva con la participación de estudiantes y tutores, constituyendo un aprendizaje compartido para todos los participantes, como un proceso interactivo y continuo.

El desarrollo sistemático de estos talleres propicia un proceso de autoevaluación sistemática de todos los estudiantes y garantiza que todos los tutores se vean involucrados directamente en este proceso en el marco del desarrollo curricular, donde se aplican los conocimientos teóricos de la Metodología de la Investigación en el contexto de un problema objeto de estudio.

**REFERENCIAS**

1. S/A. El taller en la práctica metodológica de la Educación Superior. Ciencia y Progreso. 2021 Vol. 6, No.13, julio-septiembre.
2. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Plan de estudio. Nivel de Educación Superior de ciclo corto Agua y Saneamiento, La Habana, 2020
3. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Resolución Ministerial 47/22: Reglamento para el trabajo docente y metodológico en la Educación Superior. 2022. La Habana. Cuba
4. CALZADO LAHERA, D. Un Modelo de formas de organización del proceso enseñanza aprendizaje en la formación inicial del profesor. 1995. (Tesis de Doctorado). La Habana
5. MATOS COLUMBIÉ, C. El Taller. Una opción metodológica para todas las enseñanzas. 2000. (Tesis de Doctorado). La Habana

Sobre la autora

MSc Tania Herrera Achón. Profesora asistente ORCID https://orcid.org/0000-0003-1483-9221

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EXPERIENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOMETRÍA ANALÍTICA EN LA CARRERA DE ARQUITECTURA EN CUBA

**Miriam Caridad Crespo Estrada[1], Karen Sanabria Ortega[2]**

[1]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba, [2]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba
[1]mcrespo@cemat.cujae.edu.cu, [2]karen@arquitectura.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La enseñanza de la Matemática en la carrera de Arquitectura y Urbanismo en Cuba, se ha propuesto demostrar su pertinencia en el Plan de Estudios, a través de un proceso progresivo de integración con otras disciplinas de la especialidad, que potencie el desarrollo de habilidades para la comunicación y comprensión de propiedades y características matemáticas de los modelos estudiados. En el tratamiento de la Geometría Analítica, como uno de los temas fundamentales de la Matemática en esta carrera, se han trazado estrategias, que procuran establecer un vínculo natural con Expresión Gráfica, a partir del fortalecimiento de la relación percepción-análisis-interpretación-representación de los objetos de estudio comunes de la Geometría Analítica y la Geometría Descriptiva, temas de ambas disciplinas. El presente trabajo, muestra algunas experiencias en la enseñanza de la Geometría Analítica vinculadas con la carrera y en particular con la disciplina Expresión Gráfica, en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

**PALABRAS CLAVES:** Matemática, arquitectura, geometría analítica, geometría descriptiva, geometría para arquitectos.

# EXPERIENCES IN TEACHING ANALYTIC GEOMETRY IN THE ARCHITECTURE DEGREE IN CUBA

**ABSTRACT**

The teaching of Mathematics in the Architecture and Urbanism career in Cuba, has been proposed to demonstrate its relevance in the Study Plan, through a progressive process of integration with other disciplines of the specialty, which enhances the development of skills for communication and understanding of properties and mathematical characteristics of the staget models. In the treatment of Analytical Geometry, as one of the fundamental themes of Mathematics in this caree, strategies have been drawn up that seek to establish a natural link with Graphic Expression, from the strengthening of the perception-analysis-interpretation- representation relationship of the common study objects of Analytical Geometry and Descriptive Geometry, themes of both disciplines. This work shows some experiences in the teaching of Analytical Geometry linked to the career and in particular with the Graphic Expression discipline, at the Technological University of Havana.

**KEY WORDS:** Mathematics, architecture, analytical geometry, descriptive geometry, geometry for architects.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Cuba, la enseñanza de la Matemática en la carrera de Arquitectura, ha ido evolucionando en el tiempo, desde versiones de sus programas un poco alejadas de las necesidades del futuro arquitecto, hasta ediciones más actuales que intentan alcanzar un mayor acercamiento a la Matemática que necesita un estudiante de este perfil. Esto ha estado en correspondencia con la instrumentación de manera gradual de estrategias diversas de formación en los sucesivos planes de Estudios de esta carrera, que se concretan en la actualidad, en acciones de integración, no sólo entre disciplinas de la especialidad, sino también, entre

estas y las ciencias básicas como la Matemática. En la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae), la disciplina Matemática ha incorporado progresivamente esta práctica.
La Geometría Analítica, es uno de los temas de Matemática donde las experiencias de integración con otras disciplinas de la carrera han tenido mayor impacto. Es reconocido en el ámbito académico la importancia de la enseñanza de este tema, no solo para la comprensión de otros conceptos matemáticos, sino también para el desarrollo del pensamiento espacial.
El presente trabajo, muestra algunas experiencias en la enseñanza de la Geometría Analítica vinculadas con la carrera y en particular con la disciplina Expresión Gráfica, en la Universidad Tecnológica de la Habana.

## 2. DESARROLLO

**Geometría Descriptiva & Geometría Analítica.**

La geometría es una de las ciencias más antiguas y en la Arquitectura ha estado presente desde el inicio. Constituye una poderosa herramienta para el desempeño del futuro arquitecto.
Para el arquitecto es de gran importancia lograr controlar el espacio en la mente. Esa estructuración y ese orden se desarrollan por medio de la geometría [1].
Si se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría como parte de un todo, el estudiante siente la necesidad de aprender, porque conoce qué función cumple y en qué medida esos conocimientos son importantes, tanto para llevar a cabo su trabajo a lo largo de la carrera, así como para resolver los problemas en su ocupación después de graduado. {1].
En el de cursar de la historia, se han identificado muchas obras arquitectónicas que han surgido de ideas y croquis los cuales han necesitado posteriormente una definición geométrica precisa y una elaboración analítica de la estructura para su posterior ejecución basada en las matemáticas.
A partir de los años 90 del siglo pasado, la escuela de Arquitectura cubana, ha utilizado diferentes variantes para lograr la integración entre dos de las ramas de la geometría (descriptiva y analítica).
La Geometría Descriptiva proporciona el conocimiento de los lenguajes gráficos, y los medios gráficos rigurosos para la redacción del discurso arquitectónico, contribuyendo al desarrollo de la capacidad de ver el espacio como parte del proceso de preparación para el ejercicio proyectual. Proporciona al alumno el conocimiento y dominio de la estructura y definición geométrica de todas las formas y superficies con las que, como arquitecto, tendrá que elaborar su arquitectura en el futuro. [1].
Por otro lado, la Geometría Analítica estudia objetos materiales concretos, esquemas o representaciones gráficas y utiliza fundamentalmente el lenguaje simbólico, a través de ecuaciones de curvas y superficies, obtenidas a partir de la conceptualización de los lugares geométricos reconocidos y estudiados también en Geometría Descriptiva. El análisis de la generación de superficies y la construcción de sólidos y sus proyecciones contribuyen también al desarrollo de la visión espacial y por tanto a la imaginación tridimensional [2]
Vincular la Geometría Descriptiva y la Analítica permite enriquecer las diferentes interpretaciones que se pueden realizar de los entes geométricos y, a su vez, llevar el pensamiento geométrico de lo concreto a lo abstracto y nuevamente a lo concreto [3].

**Evolución de la enseñanza de la Geometría Analítica vinculada con la Geometría Descriptiva en la formación de arquitectos en Cuba.**

El comienzo del pasado siglo marca el inicio de la formación de arquitectos en Cuba, y en todos sus planes y programas de estudio ha estado presente en mayor o menor medida la Matemática y dentro de ella la Geometría Analítica. Hasta 1990, sus programas se caracterizaron por ser un agregado de asuntos que seguían fundamentalmente la lógica de la ciencia y centraban la atención en el ordenamiento de contenidos, algunos no necesarios ni de interés para los estudiantes, y otros se presentaron tal cual como fueron diseñados para primer año de ingeniería. En las clases, se enfatizó fundamentalmente en los métodos de cálculo y resolución de ejercicios, en detrimento de la aplicación y vinculación de los contenidos con las asignaturas de la especialidad. La organización de los mismos se caracterizó por la fragmentación y el alejamiento entre diferentes temas, percibidos de manera independiente unos de otros, frenando la generalización de conceptos, tan frecuente en Matemática y limitando las posibilidades de ejercitar operaciones del pensamiento.

En las últimas tres décadas se han realizado reiterados intentos para transformar el panorama de la enseñanza y del aprendizaje de la Matemática en esta carrera, introduciendo cambios, que dentro de un proceso de perfeccionamiento continuo, están dirigidos a lograr la Matemática necesaria para la formación del futuro arquitecto. La Geometría Analítica es uno de los temas que ha sido más susceptible a los cambios en cuanto a la forma de impartirlo y relacionarlo con otros temas estudiados en disciplinas de la especialidad como la Geometría Descriptiva.

La necesidad de vincular estos dos temas se identificó con mayor fuerza a partir del diseño e implementación del programa de Matemática para esta carrera del Plan de Estudios C (1990-1998), el cual incluyó en su programa, dentro de la asignatura Matemática I, algunos temas de Geometría Descriptiva, que también formaban parte de la disciplina Comunicación, hoy Expresión Gráfica para la Arquitectura y Urbanismo (EGAU). Estos conocimientos facilitaban la enseñanza de la Geometría Analítica y servían de base para su aprendizaje. Se logró además el establecimiento de una terminología y lenguaje común entre ambas geometrías.

El uso de un lenguaje geométrico común facilitó la comprensión de los contenidos de ambas disciplinas, ya que la Matemática ofrece la herramienta teórica necesaria y la disciplina de Comunicación reafirma lo dado por la Matemática y extiende su estudio a otros aspectos de la geometría propios de la arquitectura. [3].

Esto constituyó un valioso aporte al proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría para arquitectos, pero requirió de una mayor preparación de los profesores de Matemática en temas de Geometría Descriptiva, así como de los de Comunicación en temas de Geometría Analítica.

En esta etapa se ejecutaron diferentes experiencias, entre ellas se destacaron la implementación de un sistema didáctico para la enseñanza de la Matemática I de Arquitectura, dirigido por el doctor Guillermo Pérez Pantaleón y la realización de ejercicios integradores entre las asignaturas de Matemática y Comunicación, dirigidos por éste y por la arquitecta Isabel Fernández, entre otros, donde los estudiantes aplicaron los conocimientos matemáticos adquiridos en la Geometría Analítica, a la descomposición de obras arquitectónicas: gráfica y analíticamente. En ese período las acciones emprendidas fueron en su mayoría, experiencias aisladas, unilaterales y no en todos los casos como parte de un sistema planificado, ni consensuado a nivel de los años implicados [4]

No obstante a los logros obtenidos, la resolución de ejercicios similares en asignaturas de ambas disciplinas, conllevó a la duplicidad de sistemas de conocimientos y habilidades en las mismas, una de las razones por la cual fue necesario ajustar el programa de Matemática del plan C [4].

En el perfeccionamiento realizado en la enseñanza superior cubana, que conllevó al diseño del plan de estudios C perfeccionado, conocido como C', (1998-2007), los cambios más significativos relativos al diseño del programa de Matemática y su vínculo con Comunicación estuvieron asociados a la eliminación en el programa de Matemática de la mayoría de los contenidos y habilidades de la Geometría Descriptiva, que eran comunes con los de la disciplina Comunicación, obteniéndose así una ganancia de horas para incluir otros temas como proporciones y teoría de grafos, por su importancia en la carrera. No obstante, de la Geometría Descriptiva se dejó lo relativo a la definición y generación de superficies planas y curvas y los cuerpos limitados por ellas, para lograr un mayor acercamiento a la Geometría Analítica del Plano y del Espacio que estudia las rectas, las cónicas, los planos, las superficies cuádricas y los sólidos con sus proyecciones. En esta etapa se reeditaron ejercicios integradores de cursos anteriores, se realizaron Seminarios Evaluativos de Matemática donde, a partir de maquetas de poliedros simples y regulares construidas por los estudiantes, se analizaban sus propiedades y las aplicaciones en obras arquitectónicas. Estas maquetas posteriormente se utilizaron como medios de enseñanza en escuelas primarias y círculos infantiles.

Con la aplicación del Plan de Estudios D de la carrera de Arquitectura (2007-2019), se implementa la disciplina Matemática para Arquitectos, [5] la cual tiene identidad propia y es el resultado de las experiencias acumuladas por años en la integración entre la Matemática y otras disciplinas de la carrera, que ha evolucionado en correspondencia con la paulatina toma de conciencia del problema, tanto de los profesores de Matemática, como los de la especialidad. En la actualidad se implementa el Plan de Estudios E (2019-), el cual mantiene, de forma general, la esencia de la disciplina Matemática para arquitectos del Plan D, sobre todo en lo relacionado con el tema de Geometría Analítica [6]. Esta disciplina, hoy en implementación, establece tres principios fundamentales para la selección de sus contenidos: los contenidos seleccionados por la lógica de la Profesión, los seleccionados por la lógica de la ciencia sistematizada como asignatura o disciplina científica en la práctica pedagógica y los seleccionados por la lógica del instrumento o la etapa de realización de una tarea profesional. [7]. En las

indicaciones metodológicas para su implementación se destaca entre sus líneas directrices la geometría, la resolución de problemas de la especialidad y la integración de contenidos, tanto dentro de la propia Matemática como con las restantes asignaturas del Plan de Estudio donde esto sea posible [6].

En los programas de la disciplina Matemática para arquitectos, de los planes D y E se elimina totalmente la duplicidad de sistemas de conocimientos de las geometrías analítica y descriptiva que forman parte de las asignaturas de Matemática y de EGAU, sin que esto implicara la pérdida de la integración lograda anteriormente entre estos dos temas. Por el contrario, se han ido consolidando las acciones de integración entre ambas disciplinas y en consecuencia entre ambos temas.

Para concretar el diseño del programa de Matemática se realizó una investigación de índole cualitativa, dirigida al perfeccionamiento de la enseñanza de la Matemática en la carrera de Arquitectura, la cual partió de la revisión de los Planes de estudios anteriores, planes temáticos de sus disciplinas y resultados de ejercicios integradores realizados en cursos precedentes. Este estudio permitió conocer y analizar en qué medida se han transformado y adecuado los programas de Matemática, específicos para esta carrera, la identificación de las acciones de integración que han sido desarrolladas en los diferentes períodos y en cada caso, los aspectos positivos y las limitaciones relacionadas con la insuficiente vinculación de la Matemática con otras disciplinas de la carrera. A partir de estos elementos se trazó una estrategia dirigida a fortalecer las relaciones interdisciplinarias entre la Matemática y otras disciplinas, la cual se consideró pertinente dar continuidad en el actual Plan de Estudios E.

En particular, en el tema de Geometría Analítica, durante la investigación, se identificaron deficiencias en su enseñanza relacionadas con la memorización de ecuaciones y la solución de problemas tipos y repetitivos. La automatización de procedimientos, en algunos casos ha conllevado a que se pierda la esencia de la geometría, y el concepto de lugar geométrico. Estos problemas detectados no son exclusivos de Cuba, también han sido identificados en otros contextos como lo describe Villarreal, Carmona y Arango, [8]. Para revertir esta situación, dentro de la aplicación de la estrategia definida se diseñan y desarrollan diversas estrategias de enseñanza, con el objetivo de minimizar los problemas revelados.

**Estrategia para la enseñanza de la Geometría Analítica en la carrera de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Tecnológica de la Habana.**

Para tratar de definir una estrategia propia de la disciplina Matemática para la enseñanza de la Geometría Analítica en la carrera de Arquitectura, se revisaron, entre otros, varios trabajos relacionados con la aplicación del modelo de Van Hiele, que constituye una teoría de enseñanza y aprendizaje de la geometría. El modelo holístico para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría en arquitectos de la escuela cubana, [3], constituyó uno de nuestros puntos de partida.

La estrategia definida para la enseñanza de la Geometría Analítica en la carrera de Arquitectura en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae), se basa fundamentalmente en tres principios:

- Lograr un vínculo natural con la disciplina EGAU.
- Aportar herramientas de representación e interpretación.
- Aplicar los conocimientos adquiridos de geometría a la descomposición gráfica y analítica de obras arquitectónicas.

En su implementación, se han proyectado y ejecutado experiencias de integración de la Matemática con la disciplina EGAU. Las buenas prácticas logradas, en el marco de una investigación en la acción, después de realizar los ajustes pertinentes en sus distintas ediciones, han contribuido notablemente a la elevación de la motivación de los estudiantes por la Matemática, así como a demostrar la pertinencia de los contenidos de su programa en la carrera. Esta estrategia para la enseñanza de la Geometría Analítica, definida desde el Plan D, se mantiene vigente en el Plan de Estudios E.

En la actualidad, durante el estudio de la Geometría Analítica se profundiza en el uso consecuente de conceptos y terminologías, propios de la Geometría Descriptiva utilizados en la disciplina EGAU, así como en la adquisición de habilidades en el dibujo a mano libre y/o con instrumentos de curvas, sólidos y sus proyecciones. Se reeditan ejercicios integradores realizados en programas anteriores, los que han sido enriquecidos con la incorporación de nuevos elementos, pero con el mismo propósito: de que los estudiantes apliquen los conocimientos matemáticos adquiridos en la Geometría Analítica, a la descomposición de obras arquitectónicas: gráfica y analíticamente. Recíprocamente, la disciplina EGAU utiliza los elementos de la Geometría Analítica estudiados en la disciplina básica, con el fin de entender las construcciones geométricas, la obtención de la forma real de caras planas y, en consecuencia, la

representación de desarrollos y elaboración de maquetas. Se realizan trabajos de cursos y exámenes de premio de Matemática, para los alumnos de altos rendimientos, que vinculen contenidos de ambas disciplinas. Se ejecutan trabajos extracurriculares de matemática sobre temas que vinculan a las dos disciplinas, para presentar en Jornadas Científicas Estudiantiles. Para la presentación de resultados, se combinan técnicas de representación manuales y digitales, profundizando en el diseño gráfico plano, así como en la elaboración de portales webs y productos multimediáticos.

Con la estrategia seguida en la enseñanza de la Geometría Analítica, la Matemática consigue un vínculo natural con la disciplina EGAU, a partir del fortalecimiento de la relación percepción-análisis-interpretación-representación de los objetos de estudio comunes de la geometría analítica y de la geometría descriptiva, así como aporta herramientas de representación e interpretación que les facilita a los estudiantes modelar el espacio circundante.

La percepción, se realiza a través de la observación, con lo que el estudiante logra el reconocimiento de los elementos geométricos que lo componen y sus relaciones.

Para el análisis es necesario examinar las diferentes variantes en las que se identifica un objeto geométrico para clasificarlo y en consecuencia, seleccionar el modelo adecuado.

Para una correcta interpretación el estudiante tiene que llegar a la esencia de las relaciones analíticas y descriptivas entre el objeto y su representación geométrica.

En la representación, se consigue una representación mental del objeto geométrico a partir de los elementos que lo identifican y posteriormente traslada las imágenes al sistema gráfico de representación adecuado, seleccionando 2D ó 3D según sea el caso.

La realización de estas experiencias integradoras, ha requerido un trabajo metodológico conjunto en cuanto al uso de la terminología, orden y tratamiento de los contenidos, determinación de los nodos de articulación, definición de conocimientos y habilidades, aplicación de un sistema de evaluación coherente, análisis de la posición relativa de materias según intereses de la otra disciplina de la especialidad, así como del diseño de actividades docentes y científicas conjuntas.

Las acciones realizadas han contribuido a dar cumplimiento a los objetivos y orientaciones metodológicas de la disciplina Matemática para arquitectos tales como:

- Desarrollar en los estudiantes la capacidad de comunicarse de forma oral, escrita y gráfica, lo que posibilita la defensa de sus criterios en el proceso de solución de un problema, el análisis geométrico en general y de los objetos urbano-arquitectónicos, ayudándole a organizar las ideas y contribuyendo a la toma de decisiones sobre la forma de organizar el espacio.
- Lograr la articulación intra e interdisciplinaria de los contenidos de geometría analítica, lo que permitirá: valorar la correcta ubicación de la asignatura en el plan, enriquecer las clases con ejercicios y problemas de aplicación dentro de la propia Matemática y en temas de la especialidad y fomentar el interés de los estudiantes por la Matemática
- Desarrollar habilidades para la comunicación y comprensión de propiedades y características geométricas de formas y cuerpos en las variantes formal, gráfica y verbal.

**Algunos ejemplos de ejercicios realizados en las clases de Matemática.**

1. Sea el tetraedro que tiene un vértice en el origen de coordenadas y los restantes vértices coinciden con los interceptos del plano de ecuación (1) con los ejes coordenados. Determine:

a) El área de la cara del tetraedro que no contiene al origen de coordenada.

b) Las longitudes de las aristas de la cara del tetraedro que no contiene al origen de coordenada.

$$S: 4x + 3y + 6z = 12 \qquad (1)$$

2. En la construcción de una vivienda, se desea rematar un pórtico de acceso a un portal con un arco de circunferencia rebajado, que cubra una luz de 2.5 metros y una flecha de 0,6 metros (Fig. 1). Para ello se decide construir un dintel, sombreado en la figura dada, que requiere elaborar un cofre o molde que sirva para obtenerlo. Si Ud. cuenta con un cordel para trazar el arco que remata el pórtico:

a) ¿Qué longitud debe tener el cordel que permite trazar dicho arco?

b) ¿A qué altura del piso debe fijarse uno de los extremos del cordel para poder trazar el arco?

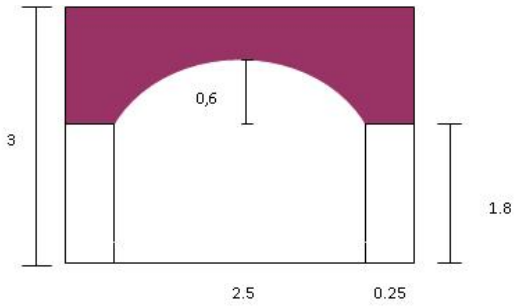



Figura 1: Pórtigo de la vivienda

3. Obtenga las ecuaciones de los planos proyectantes de la recta $r$ dada por las ecuaciones (2). Represéntela gráficamente e interprétela según las tres tríadas de conceptos básicos (posición básica, relaciones de posición y modos de percibir)

$$r : \frac{x-2}{-4} = \frac{y-4}{2} = \frac{z-1}{2} \qquad (2)$$

4. Represente gráficamente el sólido definido en (3) y obtenga su proyección ortogonal sobre el plano Lateral. Escriba las ecuaciones de las aristas respectivas en la proyección.

$$W = \left\{(x,y,z) \in R^3 / x^2 + y^2 \leq 4, \quad x + z \leq 2, \quad 0 \leq x \leq y, \quad z \geq 0\right\} \qquad (3)$$

## 3. CONCLUSIONES

El proceso de Enseñanza-Aprendizaje es un proceso dinámico que se enriquece en la práctica cotidiana. El profesor tiene en sus manos la responsabilidad de perfeccionarlo sistemáticamente y para ello cuenta con un recurso fundamental que es su experiencia, pero esto no es suficiente, ya que no es posible dirigir los cambios en el currículo tomando únicamente como base el ensayo y el error como ocurre en ocasiones.
La estrategia definidas para la enseñanza de la Geometría Analítica, basada en la integración con la disciplina Expresión Gráfica (EGAU) en la carrera de Arquitecturas y Urbanismo de la Universidad Tecnológica de la Habana, es un ejemplo de las acciones que proyecta la disciplina Matemática para estimular, dentro de otras cosas, el desarrollo del pensamiento espacial tan importante en los estudiantes de esta carrera, la interrelación entre los lenguajes gráficos y simbólicos que les proporcionan las geometrías descriptiva y analítica, así como la integración de la Matemática con otras disciplinas de la carrera.
Para alcanzar el éxito de la estrategia propuesta, los esfuerzos deberán estar dirigidos, tanto a la capacitación de los docentes, como a la profundización en el trabajo metodológico conjunto, de manera que el diseño y la realización de actividades tenga mayor énfasis en el aprendizaje basado en problemas y contribuyan al desarrollo científico-metodológico de las disciplinas involucradas, así como a una mayor motivación y preparación de los estudiantes.

## REFERENCIAS

1. POZO, J. M. “Geometría para la Arquitectura. Concepto y práctica”. 2002, ISBN: 84-89713-52-9. Depósito legal: NA-683/2002.

2. CRESPO ESTRADA, Miriam; ZANABRIA ORTEGA, Karen. "Algunas experiencias en la enseñanza de la Geometría Analítica vinculadas con la disciplina Expresión Gráfica en la carrera de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Tecnológica de la Habana". 2019*, Acta Latinoamericana de Matemática Educativa, ALME 32.* Volumen 32, ISSN 24486469.
3. RODRÍGUEZ, M. L. y RODRÍGUEZ, L. R. "El modelo holístico para el proceso de enseñanza-aprendizaje de geometría en arquitectos de la escuela cubana". 2007, *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, vol. 10, núm. 3, 421-461.
4. CRESPO ESTRADA, Miriam., SANABRIA ORTEGA, Karen y GUERRA ASTORGA, Carlos. "Matemática para arquitectos: convergencias conceptuales y experiencias pedagógicas integradas con Expresión Gráfica". 2012, *Revista Arquitectura y Urbanismo*, *vol. XXXIII, No 3, 113-121.*
5. CRESPO ESTRADA, Miriam. "Programa de la Disciplina Matemática para Arquitectos (Plan D)". 2007, *Plan de Estudios D*, *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*, La Habana. Cuba
6. *CRESPO ESTRADA, Miriam.* "Programa de la Disciplina Matemática para Arquitectos (Plan E)". 2019, *Plan de Estudio E de la carrera Arquitectura y Urbanismo*, *Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría.*, La Habana, Cuba.
7. CORRAL, R. y NÚÑEZ, M. "Aplicación de un método teórico a la elaboración del perfil profesional en la Educación Superior". 1990, *Revista Cubana Educación Superior,* vol. X
8. VILLARREAL, J. E., CARMONA, J. A. y ARANGO, C. M., "La enseñanza aprendizaje de la geometría analítica: una propuesta de desarrollo del pensamiento a partir del modelo de Van Hiele y la metodología de aula taller". 2013, "*Actas del VII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática",* 1-8. Montevideo. Uruguay.

**Sobre los autores**

MSc. Miriam Caridad Crespo Estrada, profesora Auxiliar, Jefa de la disciplina Matemática para Arquitectos en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Dra Karen Sanabria Ortega, profesora Titular, Jefa de la disciplina Expresión Gráfica para la Arquitectura y Urbanismo en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA DENSIDAD DE LOS REALES Y SU IMPORTANCIA EN LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA.

Lierli Oconnor Montero. Profesor titular, Doctor en ciencias Pedagógicas, Universidad Tecnológica de la Habana. Facultad Ingeniería Mecánica. loconnor@mecanica.cujae.edu.cu; lierlioconnor@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3159-0221.

Isora María Arcia Rivero. Profesor instructor. Master en ciencias. Universidad Tecnológica de la Habana. isoramariaarcia@gmail.com , https://orcid.org/0000-0002-0903-5678.

Leandro López Rubira. Profesor asistente. Universidad Tecnológica de la Habana. Facultad Ingeniería Mecánica; leandroalgebra@yahoo.es; ORCID https://orcid.org/0000-0003-0798-8296.

Jorge Ignacio López Pérez. Profesor asistente. Master en ciencias. Universidad Tecnológica de la Habana. CEMAT. ilopez@icb.cujae.edu.cu, https://orcid.org/0000-0009-2430-6868.

**RESUMEN**

Son conocidas las dificultades de los estudiantes al ingresar en ingeniería respecto al dominio de las matemáticas. Entre las dificultades más notorias están relacionadas con la no cabal comprensión de los números reales y con el empleo adecuado de las operaciones matemáticas. La esencia de los números reales es la propiedad de densidad y su relación con la recta numérica. Se caracterizan irracionalidades generadas desde las sucesiones numéricas $(a_n) = \left(\sqrt[m]{n}\right)$ y $(b_n) = \left(\sqrt{\log_m n}\right)$, con adecuados valores de m y n, y con los propósitos de fortalecer la enseñanza de las matemáticas en ingeniería; para conseguirlo se establecen relaciones con el importante concepto de densidad en los reales y se ejemplifican varias transposiciones didácticas según la construcción de tareas matemáticas. La relación con la densidad y con la recta numérica se consigue con la formulación de leyes que describen densidades poblacionales en conjuntos acotados que pueden ayudar a comprender el concepto de densidad. Se muestra un caso inédito de cálculo de integral definida desde las irracionalidades estudiadas.

**PALABRAS CLAVE:** irracionales, densidad, sucesiones, transposición didáctica.

# THE DENSITY OF REAL NUMBERS AND ITS IMPORTANCE IN THE TEACHING OF MATHEMATICS IN ENGINEERING.

**ABSTRACT**

The difficulties of students when entering engineering regarding the mastery of mathematics are well known. Among the most notable difficulties to the lack of a complete understanding of real numbers and the proper use of mathematical operations are related. The essence of real numbers is the property of density and its relationship to the number line. Irrationalities generated from the numerical sequences $(a_n) = \left(\sqrt[m]{n}\right)$ and $(b_n) = \left(\sqrt{\log_m n}\right)$, with appropriate values of m and n, are characterized and with the purposes of strengthening the teaching of mathematics in engineering; To achieve this, relationships are established with the important concept of density in the real and several didactic transpositions are exemplified according to the construction of mathematical tasks. The relationship with density and with the number line is achieved with the formulation of laws that describe population densities in bounded sets that can help understand the concept of density. An unprecedented case of definite integral calculation from the irrationalities studied is shown .

**KEY WORDS**: irrational, density, sequences, didactic transposition.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se enseña cálculo infinitesimal en ingeniería se pueden constatar varios hechos relevantes. De estos hechos deseamos destacar tres: la descomunal importancia de los números reales, las dificultades de estudiantes en comprender el concepto de densidad así como la relación de los reales con la recta numérica y por último que los estudiantes reducen la importancia de las operaciones matemáticas esencialmente para desarrollar la habilidad *calcular* … y no para sistematizar un concepto o un método propios del curriculum. La densidad de los números reales ha sido ampliamente estudiada desde la perspectiva epistemológico – didáctico.

La definición de operaciones matemáticas se formaliza según diferentes propósitos. El caso más general y abstracto es el de las estructuras algebraicas con sus operaciones y propiedades, donde se opera como parte de la conceptualización. El caso más elemental que se conoce es la definición de operaciones en R (números reales) y que es eje central en la enseñanza de las matemáticas elementales. En este caso es usual la realización de cálculos según determinadas operaciones para el desarrollo de ciertas habilidades; así ocurre, por ejemplo, con las operaciones elementales de potenciación, radicación y logaritmación. En matemática de ingeniería hay operaciones esenciales, a saber: las operaciones infinitesimales y las operaciones con series, por solo citar algunas. La comprensión de R y los espacios vectoriales generados desde $R^n$ es fundamental para el aprendizaje de las matemáticas, más aun, las trasciende, ¿Cómo comprender las mediciones en ingeniería? En el presente trabajo se enlazan las operaciones con la densidad.

Aun moviéndonos en el contexto de lo básico, no siempre tiene que ser realizada una operación solo para desarrollar habilidades de cálculo, se puede calcular para sistematizar una conceptualización o una metodología. También en ingeniería, basta por ejemplo calcular integrales definidas desde la definición para que el calcular potencia conocimientos. En las ideas que se discuten a continuación se trabaja con reiteradas operaciones, aritméticas, conjuntistas e infinitesimales, y se plantean para la búsqueda de una relación con la densidad de los números reales desde una reformulación del cálculo de raíces é – simas de números naturales no cuadráticos. Se pretende, además, mostrar que lo operacional puede y debe sistematizar lo teórico – metodológico. El planteamiento de tareas pretende mostrar que el tratamiento de los irracionales puede tener carácter precursor respecto a la matemática en ingeniería.

## 2. DESARROLLO

**Algunas consideraciones acerca de la densidad en R (reales)**

La densidad de R, en su interpretación más formal, se concreta en el hecho de que entre dos reales cualesquiera siempre puede ser incluido otro real. La relación con la recta numérica y las expresiones decimales infinitas también constituyen maneras de expresar tal densidad. Así, por ejemplo, si desde cualquier proceder resulta la construcción de una expresión decimal del tipo $k.k_1k_2k_3\ldots$, donde los $k_i$ son dígitos, entonces esto puede ser interpretado como comportamiento denso de los reales.

Son muchos los autores que reconocen los obstáculos epistemológicos del concepto de densidad en R y de su relación con la recta numérica cuando se trata en el proceso de enseñanza - aprendizaje. Los autores de este trabajo formulan el criterio que la identificación del comportamiento de cierta clase de irracionales, en el sentido de su inclusión en intervalos acotados, puede ser soporte para favorecer la comprensión del concepto de densidad.

En el presente trabajo se muestra este hecho para irracionales obtenidos desde las sucesiones numéricas $(a_n) = \left(\sqrt[m]{n}\right)$ y $(b_n) = \left(\sqrt{\log_m n}\right)$, con adecuados valores de m y n, enteros positivos . Además se aprovecha la oportunidad para re conceptualizar acerca de los métodos el cálculo de raíces y para calcular integrales definidas de manera aproximada.

**Acerca de las caracterizaciones de los irracionales**

Un elemento que nace con los irracionales es su caracterización. La idea misma de segmentos inconmensurables es una caracterización y las representaciones conseguidas para ellos están asociadas a sus características.

La cuestión de la representación de los irracionales admite dos sentidos, por un lado la representación del objeto en sí mismo y por el otro, la forma de encontrar ubicación en una recta numérica escalada o sin escala. No hay referencias de tratamientos teórico – metodológicos a la consideración conjunta de ambos sentidos.

Son conocidas varias técnicas para ubicar irracionales en la recta numérica y es reconocido que solo permiten ubicar ciertos tipos de irracionales. Lo que permite apreciar su carácter limitado y no permite comprender, a nivel escolar, la completitud de los reales en función de esta representación y aun contando con otras. [1]

Como representación distintiva está la notación de puntos suspensivos y se utiliza para denotar una formación del número en expresiones decimales infinitas no periódicas y se emplea en los libros de texto de varias enseñanzas. Se ha analizado con fuerza la relación $0,\overline{9} = 1$ como resultado de dos representaciones de un mismo número [2]. La representación decimal adquiere notoriedad gracias a sabios musulmanes y en particular a Al Kashi, un famoso astrónomo musulmán, que trabajó en Samarcanda bajo la protección del gran kan turco mongol Ulug Beg [3]. Este tipo de representación favorece el análisis de la densidad.

Caracterizaciones especificas dieron lugar a clasificaciones como constructible y no constructible, y también algebraicos y trascendentes, en [4] dan a conocer hallazgos de representaciones epistemológicas desde el irracional asociado a una aproximación entre razones, asociado a lo aritmético, a una aproximación de un número racional cercano y el irracional asociado a un número.

Otra representación de los irracionales es aquella en la que tales números quedan simplemente nombrados. Notables ejemplos son $\pi$, e y el número de oro $\emptyset = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, caso particular de los números metálicos, dados por la expresión $\delta_n = \frac{n+\sqrt{n^2+4}}{2}$ . Son conocidas numerosas representaciones de este tipo. [5]

Una caracterización que se distingue hoy día es la representación de irracionales mediante fracciones continuas. Una fracción continua generalizada es una expresión de la forma

$$x = a_0 + \cfrac{1}{a_1 + \cfrac{1}{a_2 + \cfrac{1}{a_3 + \cfrac{1}{\ddots}}}}$$

Para $a_0$ sea un número entero y los $a_n$ enteros positivos. Los irracionales cuadráticos (números de la forma $\frac{a+\sqrt{b}}{c}$, donde *a*, *b* y *c* son enteros), y en particular, las raíces cuadradas de números enteros, tienen fracciones continuas periódicas. Todas las representaciones de irracionales son importantes y en cada una hay bondades y complejidades.

.

A continuación se dan elementos de una caracterización de irracionales desarrollada por los autores [6]. Los elementos que se describen están en correspondencia a la perspectiva de enfoque concebida para el trabajo.

Sea la sucesión $(a_n) = (\sqrt[m]{n})$, n, m, enteros positivos, $m \geq 2$(fijo) y los intervalos del tipo [k, k+1[, k entero positivo. Entonces en cada intervalo de este tipo están incluidos $(k+1)^m - k^m$ términos de la sucesión y es una cantidad impar.

**Demostración.** Basta considerar la diferencia entre el mayor término de la sucesión no incluido en el intervalo k – ésimo, es decir $\sqrt[m]{k^m - 1}$, y el mayor término de la sucesión incluido en el intervalo, esto es $(\sqrt[m]{(k+1)^m - 1}$. La expresión polinomial asociada a esta diferencia resulta dada en los términos siguientes:

$$(k+1)^m - 1 - (k^m - 1) = (k+1)^m - k^m =$$

$$= \sum_{h=0}^{m} \binom{m}{h} k^{m-h} - k^m = \sum_{h=1}^{m} \binom{m}{h} k^{m-h} \qquad \text{.....} \quad (1)$$

La sucesión de conjuntos de términos de la sucesión $(a_n) = (\sqrt[m]{n})$, n entero positivo, respectivamente incluidos en los intervalos [0,1[, [1,2[, [2,3[,… [k, k+1[, …, k entero positivo, está dada por:

$$\{\sqrt[m]{0}\},\{\sqrt[m]{1}, \ldots, \sqrt[m]{2^m - 1}\},\{\sqrt[m]{2^m}, \ldots, \sqrt[m]{3^m - 1}\},\ldots,\{\sqrt[m]{k^m}, \sqrt[m]{k^m + 1}, \ldots, \sqrt[m]{(k+1)^m - 1}\},\ldots$$

La sucesión de los respectivos valores medios de los conjuntos de puntos incluidos en los respectivos intervalos está dada por: $\sqrt[m]{0}$ , …, $\sqrt[m]{k^m + \frac{\sum_{h=1}^{m-1}\binom{m}{h}k^{m-h}}{2}}$,…

Entonces las respetivas diferencias de puntos medios tienden a cero:

$$\lim_{k} \left[ \sqrt[m]{k^m + \frac{\sum_{h=1}^{m-1}\binom{m}{h}k^{m-h}}{2}} - \left(\frac{2k+1}{2}\right) \right] = 0$$

El interés de observar estas diferencias es porque lo puntos medios de los intervalos pueden ser útiles en estimar raíces. Así por ejemplo 1,5 puede estimar a:$\sqrt{3}$, $\sqrt[3]{4}$, $\sqrt[4]{8}$ , $\sqrt[5]{16}$ , $\sqrt[6]{32}$, $\sqrt[7]{64}$, …, se puede deducir una generalidad. Tanto mayor es el índice mejor es la aproximación, más aun, en tanto aumenta el valor de k mejor es la aproximación. Para I=[2 ; 3[ , k=2, el punto medio 2,5 puede estimar a: $\sqrt{6}$, $\sqrt[3]{17}$, $\sqrt[4]{48}$ , $\sqrt[5]{137}$ , …

En relación al comportamiento de inclusión de los términos de la sucesión en un intervalo acotado del tipo I= [k, k+1[ para servir de soporte en favorecer la comprensión del concepto de densidad de R (reales) se tiene lo siguiente:
En el intervalo I= [2; 3[ están incluidas:

Para m=2: $\sum_{h=1}^{2} \binom{2}{h} k^{2-h} = \binom{2}{1} k + \binom{2}{2} = 2k + 1 = 5$ raíces cuadradas

Para m= 3:$\sum_{h=1}^{3} \binom{3}{h} k^{3-h} = \binom{3}{1} k^2 + \binom{3}{2} k + \binom{3}{3} = 3k^2+3k+1 = 19$ raíces cúbicas

Para m = 4: $\sum_{h=1}^{4} \binom{4}{h} k^{4-h} = \binom{4}{1} k^3 + \binom{4}{2} k^2 + \binom{4}{3} k + \binom{4}{4} = 4k^3+6k^2+4k+1 = 65$ raíces cuartas

En tanto aumenta k se incluyen más raíces. Esta noción de densidad poblacional de irracionales en un segmento de longitud una unidad puede soportar un nivel de explicación complementaria para explicar la densidad de R (los reales). Las operaciones algébricas y conjuntistas han sido realizadas para dar soporte al concepto de densidad y no para buscar habilidades operacionales.

Para fortalecer aun más la noción de densidad se plantea un problema inverso en el que la solución describe el empleo de la densidad para construir un método general de cálculo de raíces.

El problema de determinar cuántas raíces m – ésimas del número entero positivo n están incluidas en el intervalo del tipo [k, k+1[, resuelto según los resultados anteriores, admite el planteamiento del problema inverso siguiente:

Dada la raíz m-ésima $\sqrt[m]{n}$ del número n, entero positivo, y m > 1, entero positivo fijo, encontrar el intervalo [k, k+1[que lo contiene.

La solución de este problema se obtiene desde las consideraciones siguientes:

Sea $\sqrt[m]{k^m} \leq \sqrt[m]{n} \leq \sqrt[m]{(k+1)^m - 1}$ ; Sea el conjunto K definido por: $\mathrm{K} = \{k \in Z : n < (k+1)^m - 1\}$.

Desde los recursos que aporta la optimización discreta se busca el valor mínimo de K, en notación, $k_{min}$ = min K. Este valor define el intervalo de amplitud (rango) una unidad, [k, k+1[, en el cual está contenida la raíz m-ésima $\sqrt[m]{n}$.

A manera de ejemplos se tiene lo siguiente:

i) Si se desea obtener el intervalo [k, k+1[ en el que está incluida la raíz $\sqrt{117}$ entonces k = 10 es el valor mínimo del conjunto definido por $\mathrm{K} = \{k \in Z : 117 < (k+1)^2 - 1\}$ y se consigue que $117 < 120$ por lo tanto $\sqrt{117}$ está incluida en el intervalo [10, 11[.

ii) Si se desea obtener el intervalo [k, k+1[ en el cual está incluida la raíz $\sqrt[5]{41}$ entonces se busca el valor k mínimo del conjunto definido por la expresión $\mathrm{K} = \{k \in Z : 41 < (k+1)^5 - 1\}$, se obtiene así que k=2 por lo que $\sqrt[5]{41}$ se encuentra en el intervalo [2,3[.

El método admite la generalización de buscar un intervalo de longitud una unidad predeterminada en el que se encuentra una cierta raíz del tipo $\sqrt[m]{n}$ y se hace desde la noción de densidad; se trata de restringir la longitud del intervalo de análisis.

Considérese un número decimal positivo de la forma $k.k_1k_2k_3\ldots k_p$ de parte entera k y p cifras decimales y el número decimal de igual parte entera pero aumentada un una unidad la cifra decimal p-ésima, esto es, $k.k_1k_2k_3\ldots (k_p+1)$ , concebidos desde la noción de densidad en los reales. Para determinar el intervalo $[k.k_1k_2k_3\ldots k_p; k.k_1k_2k_3\ldots (k_p+1)[$ en el que está incluida la raíz $\sqrt[m]{n}$ se procede del modo siguiente:

Se determina mediante búsqueda exhaustiva el valor mínimo del conjunto de valores que pertenecen al conjunto $\mathrm{K} = \left\{k \in Z : n < \frac{(k+1)^m - 1}{10^{mp}}\right\}$

Veamos un ejemplo. Se desea colocar $\sqrt[5]{41}$ en un intervalo de longitud 0.01. En este caso m=5 y p = 2. Se busca el mínimo del conjunto $\mathrm{K} = \left\{k \in Z : 41 < \frac{(k+1)^5 - 1}{10^{10}}\right\}$

Para k= 211 se obtiene el valor mínimo del conjunto K, se asume entonces que $\sqrt[5]{41}$ está incluida en el intervalo [2,11; 2,12[.

El procedimiento descrito permite calcular raíces hasta el orden decimal p que se desee. En el ejemplo anterior se puede asumir $\sqrt[5]{41} \approx 2{,}115$ al bisecar el intervalo encontrado. Este método contrasta con los métodos usuales de calcular raíces pues están desarrollados para casos particulares en tanto aquí es un método general. Se ha empleado la noción de densidad de los reales para desarrollar un recurso metodológico en el cálculo de raíces.

Si la densidad poblacional mostrada para la raíz e – mésima no fuera suficiente para ilustrar la densidad entonces se puede apelar a una compuesta con logaritmo y esto incrementa tal densidad poblacional. A continuación se muestra este resultado.

Sea la sucesión numérica compuesta $(a_n) = (\sqrt{log_m n})$, m , n enteros positivos, $n \geq 1$, m>1, entonces están incluidos en el intervalo del tipo [k, k+1[, k entero positivo, la cantidad de $m^{(k+1)^2} - m^{k^2}$ términos de la sucesión. Cantidad par para k mayor o igual a 1.

**Demostración.** El primer término incluido en el intervalo es $\sqrt{log_m(m^{k^2})} = k$. El último término de la sucesión incluido en el intervalo es $\sqrt{log_m(m^{(k+1)^2} - 1)}$. Basta restar prescindiendo de la raíz y el logaritmo. Unos casos particulares pueden ayudar a visualizar la propiedad, veamos:

- [0,1[; k = 0, se incluye $\sqrt{log_2 1}$, . Está contenido 1 término
- [1,2[; k = 1, se incluyen $\sqrt{log_2 2}, \sqrt{log_2 3}, \sqrt{log_2 4}$,…, $\sqrt{log_2 15}$ . Están contenidos $2^4 - 2^1 = 14$ términos. Basta restar 15 – 1 = 14
- [2,3[; k = 2, se incluyen $\sqrt{log_2 16}, \sqrt{log_2 17}, \sqrt{log_2 18}$,…, $\sqrt{log_2 511}$ . Están contenidos $2^9 - 2^4 =$ 496 términos.

Aquí se pudiera hacer observar la opción de incluir 496 números en un segmento de longitud una unidad, de estos números solo son racionales aquellos donde n es de la forma $2^{h^2}$ , donde h es entero positivo, es decir, $2^4$, el resto son irracionales. Se trata de 495 números irracionales de este tipo en ese segmento. Esto muestra un nivel de densidad realmente alto y si k aumenta este nivel aumenta.

Si aun no fuera suficiente para mostrar la relación con el concepto de densidad entonces se pueden considerar las sucesiones del tipo $\frac{1}{\sqrt{\log_m n}}$, el intervalo del tipo $I = ]\frac{1}{k+1}, \frac{1}{k}]$, con longitud $\frac{1}{k(k+1)}$ y m=4, k=5, entonces está incluida la cantidad de $4^{(5+1)^2} - 4^{5^2}$ términos en un intervalo de longitud 0,05. Si k aumenta se reduce la longitud del intervalo y aumenta la cantidad de términos incluidos. Se revela de particular manera una opción de observar la densidad de los reales. Esto da pie a una aparente paradoja: ¿qué sucede si $k \to \infty$?, no es otra cosa que el concepto mismo de densidad.

Los recursos operacionales han sido empleados para dar soporte a una posible explicación del concepto de densidad y para mostrar una aplicación de este concepto en el desarrollo del método de calcular raíces. Nunca se ha referido a las habilidades de cálculo.

Para conseguir la formulación de tareas según transposiciones didácticas con las irracionalidades estudiadas se requiere precisar consideraciones teóricas acerca de esos dos conceptos.

Una tarea genera un contexto práctico en el que los estudiantes pueden llegar a pensar acerca de las ideas matemáticas en juego en un problema. La tarea puede ser modelada al identificar su producto o meta (cuyo logro marca el final de la tarea), sus recursos (las representaciones simbólicas y materiales y las herramientas disponibles, como por ejemplo el registro utilizado para plantear el problema) y sus operaciones (las maneras de hacer que están disponibles). Así, una tarea le da una vida posible a un problema [7].

En [8] se refieren a ella como «una experiencia matemática planificada para los estudiantes, que puede ser una acción o una secuencia de acciones» . Los autores de este trabajo se acogen a este planteamiento. Además de asumir un concepto de tarea también es importante precisar desde la perspectiva teórico - metodológica la noción de diseño de tarea. El diseño de tareas se concibe desde los principios que respetan el contexto curricular y didáctico, y además la sicología del aprendizaje [9].

Una alternativa para el diseño de tarea, está dada desde la Teoría Antropológica de la Didáctica (T.A.D.) de Y. Chevallard, ya que cuenta con una herramienta fundamental: la “transposición didáctica”; desde esta perspectiva, para llegar a la institución escolar, el conocimiento requiere adaptaciones de tal manera que conserve su lógica y funcionalidad.

La teoría de la transposición didáctica fue presentada por primera vez en el año 1980. Básicamente enuncia que los contenidos o conocimientos que se enseñan en la escuela no son generados en ella ni para

ella, sino en otros sitios (o instituciones) de la sociedad y que se los enseña en la institución escolar "…por necesidades sociales de educación y difusión"… [10]. En este marco es necesario un trabajo transpositivo, en el sentido de transformaciones adaptativas, que posibiliten que un conocimiento que no fue producido para la escuela pueda ser reproducido en ella, conservando su lógica, potencia y funcionalidad.

Ahora bien, no debe considerarse el "paso" del saber erudito al saber escolar como la simplificación arbitraria de objetos complejos. Se requiere cumplir compromisos cognitivos, educativos y curriculares. Se emplea el recurso de una praxeología matemática u obra (T, Oˆ ,θ , Θ ). [7]. Una praxeología relativa a un tipo de tareas, está constituida por dos bloques: el práctico-técnico (saber-hacer) y el tecnológico-teórico (saber). A continuación se ilustran aplicaciones, según tareas, en el sentido de una transposición para la enseñanza, concebidas desde momentos precedentes hasta la ingeniería.

Tarea 1($T_1$): ¿Cómo construir dos triángulos rectángulos semejantes con razón de semejanza $\sqrt{2}$ de manera tal que uno de los triángulos tengas un vértice en la curva $y = \sqrt{x}\ ; x \geq 0$?

Para da respuesta a esta tarea se establece la técnica siguiente:

$O\hat{}_{1;1}$ ( Técnica 1 para la tarea 1, según notación de teoría de sistemas): Obtener triángulos rectángulos con un cateto en el eje X, el otro cateto en rectas paralelas al eje Y , las hipotenusas en una recta $y = mx$ , una de ellas hasta el punto de intersección con la curva dada por $y = \sqrt{x}\ ; x \geq 0$

$\theta_{1;1;1}$ (tecnología 1 asociada a la técnica 1 de la tarea 1, según notación de teoría de sistemas): Trazar un sistema de coordenadas , esbozar la curva $y = \sqrt{x}\ ; x \geq 0$ , trazar una recta $y = mx$ de manera tal que corte a la curva, con ese punto, su proyección en el eje X y el origen de coordenadas, como vértices, construir el primer triangulo rectángulo. El segundo triángulo rectángulo es con vértices el origen de coordenadas, un punto de la recta y su proyección en el eje X debe ser el cuadrado de la proyección anterior. La construcción se fundamenta en las teorías de las transformaciones del plano en sí mismo, de semejanza de triángulos y de las funciones elementales.

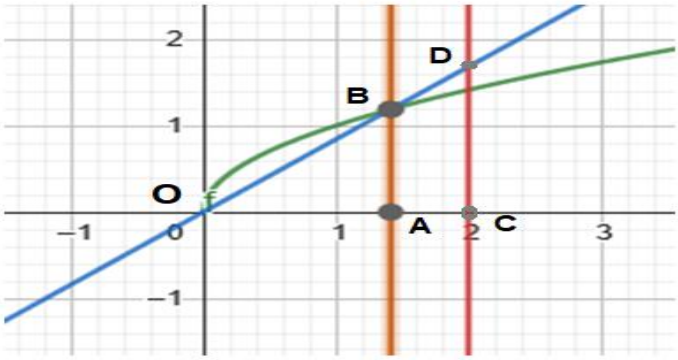



**Ilustración 1: Triángulos rectángulos semejantes de razón $\sqrt{2}$**

Para el triángulo $\Delta OAB$ se toman como vértices O(0,0); A($\sqrt{2}$,0); B($\sqrt{2}$ , $\sqrt[4]{2}$)

La recta es $y = \sqrt[4]{\frac{1}{2}}\ x; x \geq 0$ . Para el triángulo $\Delta OCD$ sus vértices tienen como coordenadas O(0,0); C(2,0); D(2, $\sqrt[4]{8}$ ).

De este modo la razón de semejanza es $\frac{\overline{CD}}{\overline{AB}} = \frac{\sqrt[4]{8}}{\sqrt[4]{2}} = \sqrt{2}$

$\Theta_{1;1;1;1}$ (teoría 1, asociada a la tecnología 1, de la técnica 1, de la tarea 1; según notación de teoría de sistemas): La transformación del plano en sí mismo se concreta en la homotecia, se cumplen los criterios de semejanza y la teoría de las funciones elementales permiten trabajar con las funciones raíz cuadrada y lineales.

Si se suprime la exigencia de que un vértice esté en la curva $y = \sqrt{x}\,; x \geq 0$ entonces existe una solución trivial que puede ilustrarse a los estudiantes antes de enfrentar la tarea 1(T1). En ese caso trivial pueden construirse semejanzas con razones $\sqrt{n}$ , n entero positivo, y pueden concebirse como continuidad de la tarea 1 (T1) ofrecida en Verdún y Caronia (2009).

En los tratamientos metodológicos para la geometría en la enseñanza secundaria al tratar igualdad y semejanza de triángulos se centra la atención en los respectivos criterios de cada caso y ocasionalmente se construyen las razones de semejanza. No se conoce ejemplo precedente alguno en el que una razón de semejanza esté dada por un irracional.

Tarea 2 ($T_2$): Encontrar y demostrar una formulación que describa la cantidad raíces cuadradas de números enteros positivos incluidas en un intervalo del tipo I= [0, n [; $n \geq 1$, entero positivo.

La respuesta en esta tarea se establece según la Praxeología siguiente:

$O\hat{}_{2;1}$ ( tarea 2,Técnica 1, según notación de teoría de sistemas):Obtener criterio según búsqueda exhaustiva en los intervalos I=[0,1[;I=[0,2[;I=[0,3[;I=[0,4[; etc. Elaborar una hipótesis y demostrarla por inducción completa.

$\theta_{2;1;1}$ (tarea 2, técnica 1, tecnología 1, según notación de teoría de sistemas): Contar las raíces cuadradas incluidas en cada uno de los intervalos I=[0,1[;I=[0,2[;I=[0,3[;I=[0,4[; etc y realizar la inducción que en I=[0, n[ ; están incluidas $n^2$ raíces cuadradas de números enteros positivos. Se tratan las operaciones inducción (de lo particular a lo general) y deducción (de lo general a lo particular) del pensamiento lógico. Se desarrolla la demostración por inducción completa.

$\Theta_{2;1;1;1}$ (tarea 2, técnica 1, , tecnología 1, teoría 1; según notación de teoría de sistemas): Teoría de números en matemática discreta en integración a la teoría de conjuntos según descomposición del intervalo I = [0,n[ como unión de intervalos del tipo I=[k, k+1[ . En cada uno de estos intervalos hay una cantidad impar de raíces cuadradas incluidas y queda definida entonces la suma de los números impares, esto es 1+3+5+…+ 2n+1 = $n^2$ . Ocasiones propicias para emplear notaciones que compactan:

$\bigcup_{i=1}^{n} U_i = U$ para $U_1$= [0,1[ ; $U_2$= [1,2[ , …, Un= [n, n+1[ ; U = [0,n+1[

$$\sum_{k=0}^{n} (2k+1) = n^2$$

Tarea 3 ($T_3$): Realizar el cálculo aproximado del área bajo la curva dada por la función $f(x) = 2^{-x^2}$ en el intervalo I=[1,2].

En este caso se trata de la enseñanza del cálculo integral en ingeniería.

$O\hat{}_{3;1}$ ( tarea 3, técnica 1, según notación de teoría de sistemas):

Aquí se solicita utilizar el comportamiento de la sucesión $(b_n) = \left(\sqrt{\log_2 n}\right); n \geq 1$.

$\theta_{3;1;1,}$ (tarea 3, técnica 1, tecnología 1 , según notación de teoría de sistemas): La función es continua y en consecuencia integrable. La gráfica de esta función con ayuda de GeoGebra se muestra continuación

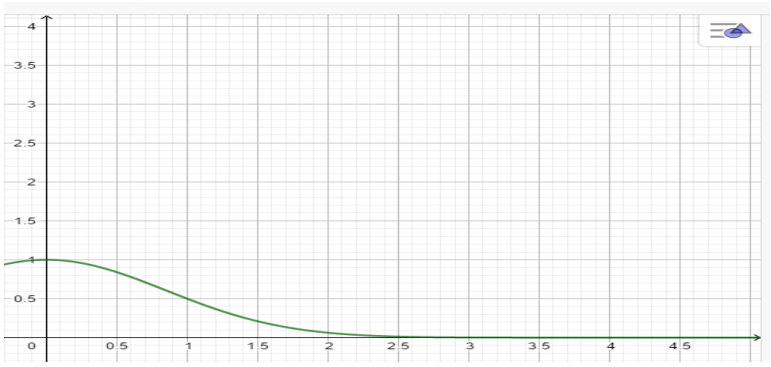


**Ilustración 2. Gráfica de la función $f(x) = 2^{-x^2}$**

El cálculo del área es con la integral definida $I = \int_1^2 2^{-x^2} dx$

Hagamos una partición del interval en la forma siguiente:

$x_0$=1; $x_1$=1,23; $x_2$= 1,30; $x_3$=1,50; $x_4$= 1,60; $x_5$=1,65; $x_6$=1,70; $x_7$=1,75; $x_8$=1,80; $x_9$=1,85; $x_{10}$=1,88; $x_{11}$=1,90; $x_{12}$=1,93; $x_{13}$= 1,96; $x_{14}$ = 1,98 ; $x_{15}$= 2,

Desde la sucesión definida por la expresión $\sqrt{\log_2 x}$ anteriormente considerada y la partición anterior y construyamos las desigualdades dobles siguientes:

$1 \leq \sqrt{log_2 2} \leq 1{,}23$ ; $1{,}23 \leq \sqrt{log_2 3} \leq 1{,}30$; $1{,}30 \leq \sqrt{log_2 4} \leq 1{,}50$;

$1{,}50 \leq \sqrt{log_2 5} \leq 1{,}60$; $1{,}60 \leq \sqrt{log_2 6} \leq 1{,}65$; $1{,}65 \leq \sqrt{log_2 7} \leq 1{,}70$;

$1{,}70 \leq \sqrt{log_2 8} \leq 1{,}75$; $1{,}75 \leq \sqrt{log_2 9} \leq 1{,}80$ $1{,}80 \leq \sqrt{log_2 10} \leq 1{,}85$;

$1{,}85 \leq \sqrt{log_2 11} \leq 1{,}88$ ; $1{,}88 \leq \sqrt{log_2 12} \leq 1{,}90$; $1{,}90 \leq \sqrt{log_2 13} \leq 1{,}93$;

$1{,}93 \leq \sqrt{log_2 14} \leq 1{,}96$; $1{,}96 \leq \sqrt{log_2 15} \leq 1{,}98$; $1{,}98 \leq \sqrt{log_2 16} \leq 2$

Se sabe que la definición de integral definida se obtiene con un proceso de límite según la norma de la partición. Si se prescinde del proceso de límite entonces cualquier suma de las áreas de la familia de los pequeños rectángulos que se forman debajo de la curva y con el eje de las abscisas es una aproximación al valor de la integral, es decir:

$$\int_1^2 f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{n} f(p_i).\Delta x_i$$

Al considerar los puntos $x_i$ de la partición anterior y los puntos interiores a cada subintervalo, dados por $\sqrt{log_2 2}$ , $\sqrt{log_2 3}$ , … , $\sqrt{log_2 16}$ , todos irracionales excepto los valores extremos, entonces desde el cálculo de los $\Delta x_i$ y los $p_i$ se obtiene el valor aproximado de la integral. Para los $p_i$ en particular se utiliza la función $f(x) = 2^{-x^2}$ ; $1 \leq x \leq 2$ . De ello resulta que los valores imágenes de los puntos interiores $f(p_i) = \sqrt{log_2 n}$ , n= 1, …, 16 son potencias negativas de n, a saber:

$$f\left(\sqrt{log_2 2}\right) = 2^{-1} \ , f\left(\sqrt{log_2 3}\right) = 3^{-1} \ldots , f\left(\sqrt{log_2 16}\right) = 16^{-1}$$

De este modo el cálculo de la suma es extremadamente fácil. El resultado obtenido en el cálculo es el siguiente:

$$\int_1^2 2^{-x^2} dx \approx \sum_{\square=1}^{15} f(p_i) \cdot \Delta x_i \approx 0.232$$

Aquí se destacan dos aspectos distintivos: el primero la facilidad del cálculo y el segundo, y muy trascendente, que por vez primera en la historia se realiza un cálculo aproximado de una integral seleccionando números irracionales para los puntos $p_i$ . Esto es novedad metodológica.

Por el método de los trapecios para $x_0 = 1$; …, $x_{10} = 2$; $\Delta x_i = 0.1$; $\sqrt[10]{\frac{1}{2}} \approx 0.9331$ y h=0.1 el resultado es:

$$\int_1^2 2^{-x^2} dx \approx h\left(\frac{y_0 + y_{10}}{2} + \sum_{i=1}^{9} y_i\right) \approx 0.235$$

En esta comparación no se considera la velocidad de convergencia.

$\Theta_{3;1;1;1}$ (tarea 3, técnica 1, tecnología 1 teoría 1: según notación de teoría de sistemas): Para calcular el área bajo la curva se emplean las integrales definidas unidimensionales. En ingeniería se enseña el cálculo integral en varios de sus cursos y se tratan varios tipos de integrales. Una de las alternativas de cálculo de integrales definidas es la dada por los métodos numéricos y se debe emplear para caso de funciones que no integran en términos elementales. Existe una cierta variedad en los métodos numéricos de cálculo de integrales y debe ser escogido el método de acuerdo a su rapidez de convergencia.

**CONCLUSIONES**

En el universo de las enseñanzas de las matemáticas se busca que los estudiantes asimilen los conocimientos y los recursos metodológicos, eso en primera instancia, para luego intentar el desarrollo de habilidades, e integrando todo, buscar el pensamiento lógico y el desarrollo humano. Ese es el camino de un buen profesor.

Una manera eficiente de integrar todo en el complejo proceso de enseñanza – aprendizaje es lograr hacer del conocimiento una práctica y conseguir de la práctica un buen conocimiento. En el presente trabajo los autores han intentado dar una concreción a esta concepción desde el concepto de densidad y según un tratamiento operacional en conjuntos de raíces incluidos en un intervalo acotado.

Los estudios realizados han permitido presentar propuestas de transposiciones didácticas desde elementos de una caracterización desarrollada por los autores de números irracionales tipos raíces y logaritmos mediante la determinación de ciertos comportamientos de sucesiones numéricas en el sentido de formular leyes que describen la cardinalidad de conjuntos de elementos de las sucesiones incluidos en ciertos tipos de intervalos.

La propuesta realizada apunta hacia el intento de enriquecer el tratamiento de la densidad de los irracionales desde una alternativa sencilla basada en la cardinalidad y mostrar que es posible diseñar tareas matemáticas utilizando números irracionales de manera tal que se fortalece su tratamiento en varias enseñanzas y con ello el de los números reales. Esto debe propiciar, sin lugar a dudas, una mejor comprensión de los números reales. Se introduce una paradoja según la cual en ciertos intervalos y para los recíprocos de las sucesiones estudiadas sucede que disminuye la longitud del intervalo y aumenta la cantidad de términos, entonces, qué ha de suceder en el infinito?

## REFERENCIAS

[1] BERGÉ, Analia, et al. (2019) La enseñanza de los números reales: un análisis de textos escolares. Actas V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. Universidad de Québec à Rimouski.

[2] CEDRÓN, Mara et al. (2021). Representación y densidad en los reales. Análisis de experiencias de aula. Revista Científica EFI · DGES. Volumen 7 · N° 12

[3] SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, Carlos. (2011). Paseo por el universo de las irracionalidades aritméticas. Universidad de la Habana. Cuba

[4] SÁNCHEZ, Juan Carlos, VALDIVÉ FERNÁNDEZ, Carmen. (2019) EL NÚMERO IRRACIONAL: UN PUNTO DE VISTA EPISTEMOLÓGICO CON INTERÉS DIDÁCTICO. Investigación. TEACS, AÑO 4, NUMERO 08.

[5] REINA, Luis, WILHELMI Miguel. (2021). Representación, reconocimiento y significado del número irracional y la función periódica en la formación del Profesorado de Educación Secundaria. Saberes y Prácticas. Revista de Filosofía y Educación. Vol. 6. No. 1. ISSN 25252089. DOI: https://doi.org/10.48162/rev.36.023.

[6]OCONNOR MONTERO, L. , et al (2024). Taller de ciencias básicas. Universidad Tecnológica de la Habana.

[7] HERBST, Patricio. (2011). Las tareas matemáticas como instrumentos en la investigación de los fenómenos de gestión de la instrucción: un ejemplo en geometría. AIEM. Avances de Investigación en Educación Matemática, Nº 1, 5 – 22.

[8] VERDUGO-HERNÁNDEZ, Paula, et al. (2022). Análisis de una tarea sobre sucesiones desde el uso de las herramientas y el conocimiento matemático del profesor. ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 40-2. ISSN (impreso): 0212-4521 / ISSN (digital): 2174-6486. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3457

[9] WATSON, Anne and OHTANI, Minoru. (Editors).(2022). Task Design In Mathematics Education an ICMI . ISSN 1387-6872 ISSN 2215-1745 (electronic). DOI 10.1007/978-3-319-09629-2

[10] VERDÚN, Nora y CARONIA, Silvia. (2009). Números irracionales - Recta numérica: Del saber sabio a saber a enseñar. REDINE – Red de Investigación Educativa. Comisión Nº 3: ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA EN EL NIVEL MEDIO

**Sobre los autores**

Lierli Oconnor Montero. Profesor titular, Doctor en ciencias Pedagógicas en Departamento de Metalurgia y Materiales de la Facultad Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de la Habana. Colaborador del CEMAT.

Isora María Arcia Rivero. Profesor instructor. Master en ciencias en Departamento de Metalurgia y Materiales de la Facultad Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de la Habana.

Leandro López Rubira. Profesor asistente. Departamento de Metalurgia y Materiales de la Facultad Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de la Habana. Colaborador del CEMAT;

Jorge Ignacio López Pérez. Profesor asistente. Master en ciencias. Centro de Estudio de Matemáticas en Universidad Tecnológica de la Habana. CEMAT. ilopez@icb.cujae.edu.cu, https://orcid.org/0000-0009-2430-6868.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ACERCA DE LA INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LAS EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE LAS LEYES FUNDAMENTALES DEL ELECTROMAGNETISMO

**Juan Antonio Alejo Díaz [1], Juan José Ll overa González [2]**

[1,2] Instituto de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, (CUJAE), Calle 114 No.11901, Marianao CP 19390, La Habana Cuba
[1†] e-mail: alejo@icb.cujae.edu.cu [2] e-mail: llovera@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las ecuaciones de Maxwell por su trascendencia en las teorías Físicas y especialmente en el Electromagnetismo Clásico poseen un perdurable interés. Este interés va más allá de las propias esencias que encierra en relación a la ciencia a la que pertenece, ya que propicia también un interés didáctico por su presencia en la enseñanza de la Física y muy en particular por las dificultades en su aprendizaje, cuestión que es frecuente encontrar en un número significativo de los estudiantes que la enfrentan en los cursos a los que concurren.

El sistema de ecuaciones de Maxwell se presenta en los cursos como la síntesis de la teoría electromagnética clásica de manera que puede aparecer la tendencia a concebir que son estas las ecuaciones que permiten describir y fundamentar la causa de todos los fenómenos electromagnéticos, sin embargo, esto no es exactamente así.

El objetivo de este artículo es tratar algunos aspectos de interés como los ya mencionados en relación al tema de las Ecuaciones de Maxwell vinculándolos a la interpretación física de las expresiones matemáticas de estas leyes fundamentales del electromagnetismo clásico.

**PALABRAS CLAVES:** Enseñanza de la Física, ecuaciones de la física matemática, teoría electromagnética.

[†] **autor para correspondencia**

## ABOUT THE PHYSICAL INTERPRETATION OF MATHEMATICAL EXPRESSIONS OF THE FUNDAMENTAL LAWS OF ELECTROMAGNETISM

**ABSTRACT**

Maxwell's equations, due to their importance in Physics theories and especially in Classical Electromagnetism, have a lasting interest. This interest goes beyond the essences that they contain in relation to the science to which they belong, since it also fosters a didactic interest due to their presence in the teaching of Physics and in particular due to the difficulties in learning it, an issue that is frequently found in a significant number of students who face it in the courses they attend.

Maxwell's system of equations is presented in the courses as the synthesis of classical electromagnetic theory so that there may be a tendency to conceive that these are the equations that allow to describe and justify the cause of all electromagnetic phenomena, however, this is not exactly the case.

The objective of this article is to deal with some aspects of interest such as those already mentioned in relation to the subject of Maxwell's Equations, linking them to the physical interpretation of the mathematical expressions of these fundamental laws of classical electromagnetism.

**KEY WORDS:** Physics teaching , mathematical physics equations, electromagnetic theory.

[†] **corresponding autor**

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ecuaciones de Maxwell, por su trascendencia en las teorías Físicas y especialmente en el Electromagnetismo Clásico, poseen un perdurable interés. Este interés va más allá de las propias esencias

que encierra en relación a la ciencia a la que pertenece, ya que propicia también un interés didáctico por su presencia en la enseñanza de la Física y muy en particular por las dificultades en su aprendizaje, cuestión que es frecuente encontrar en un número significativo de los estudiantes que la enfrentan en los cursos a los que concurren. Entender que las ecuaciones de Maxwell esclarecen que no es posible comprender la evolución temporal del campo magnético sin establecer el comportamiento del campo eléctrico, y viceversa y que adicionalmente estos deben ser considerados como un único objeto físico; no es un entendimiento fácil para estudiantes neófitos.

Por estas razones, continúa teniendo una atención bibliográfica aún en la actualidad después de 150 años de la publicación del 'Tratado sobre Electricidad y Magnetismo', tanto en revistas de divulgación científica, como vinculadas a la didáctica universitaria, así como estrictamente referidas a las ciencias físicas. [1], [2], [3]

Es útil entonces preguntarnos: ¿Cómo se tratan los principios y leyes fundamentales del electromagnetismo en los textos de Física General y qué contradicciones pueden presentarse?
¿En qué errores o imprecisiones podemos incurrir al presentar e interpretar las ecuaciones matemáticas fundamentales del electromagnetismo en los cursos de Física General?

El carácter esencialmente relativista de la componente magnética de la interacción electromagnética no se puede apreciar sin abordar el asunto desde la teoría de la relatividad. Este importante enfoque en general está ausente en buena parte de los textos de Física general universitaria.

Un aspecto interesante a dilucidar relacionado a las Ecuaciones de Maxwell es la contraponer y comparar la Ley de Faraday con la Ley de Faraday-Maxwell y analizar la no equivalencia conceptual entre las mismas. Una Ley Física es un vínculo reiterado y estable que se da en el marco de un fenómeno y que establece una relación entre las magnitudes que lo caracterizan. Además, es un vínculo entre causa y efecto establecido por la Ley de Causalidad. Y en general a cada efecto le precede una causa. Sin embargo, argumentaremos que en la ley de Faraday o en la regla de los flujos esa exclusividad en cuanto al principio de casualidad no es verificable.

El sistema de ecuaciones de Maxwell se presenta en los cursos como la síntesis de la teoría electromagnética clásica de manera que puede aparecer la tendencia a concebir que son estas las ecuaciones que permiten describir y fundamentar la causa de todos los fenómenos electromagnéticos, sin embargo, esto no es exactamente así.

El objetivo de este artículo es tratar algunos aspectos de interés como los ya mencionados en relación al tema de las Ecuaciones de Maxwell vinculándolos a la interpretación física de las expresiones matemáticas de estas leyes fundamentales del electromagnetismo clásico.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Sobre el carácter relativista de la interacción electromagnética y el concepto de campo magnético

El carácter esencialmente relativista de la componente magnética de la interacción electromagnética no se puede apreciar sin abordar el asunto desde la teoría de la relatividad.

Existe una relación indisoluble entre la carga eléctrica y el campo electromagnético que puede ser ilustrada a través de este esquema.



Y si pensamos más allá de la naturaleza del campo electromagnético e incluimos la interacción en estas reflexiones, podemos afirmar que: La carga eléctrica es la fuente y el objeto de acción del campo electromagnético.

Pero aun después de estas afirmaciones transcendentes y bastante divulgadas, debemos indagar la causa de que, si bien toda carga eléctrica es fuente de campo eléctrico, porque solo cuando estas se encuentran en movimiento es cuando adicionalmente se transforman en fuentes de campo magnético.

Veamos como este hecho solo puede ser comprendido utilizando la Teoría Especial de la Relatividad [3], [4].

Consideremos dos SRI que se mueven uno respecto a otro como indica la figura. Una carga q y otra carga Q están en reposo en el sistema K, mientras un observador en el sistema K´ las observa en movimiento. Hagamos un análisis de las fuerzas que observa cada observador, cuestión que se detalla en la figura 1.

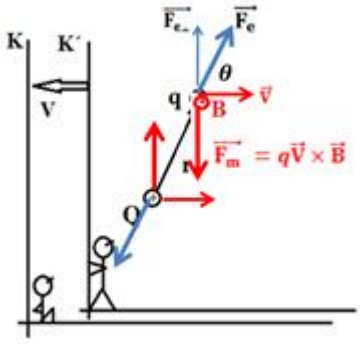



**Fig.1 Los dos observadores perciben la fuerza eléctrica pero solo el que se mueve respecto a las partículas electrizadas aprecia la componente magnética de la interacción.**

Utilizando la expresión de la trasformación relativista para la componente perpendicular a la dirección del movimiento de la fuerza para y la para V<< c tenemos que:

$$\vec{F'_{e\perp}} = \vec{F_{e\perp}}\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) = \vec{F_{e\perp}} - \vec{F_{e\perp}}\frac{V^2}{c^2} \tag{1}$$

Desde K la Ley de Coulomb puede ser escrita como:

$$\vec{F_e} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{r} \tag{2}$$

Por lo que el término relativista en rojo puede escribirse como:

$$F_{rel} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{V^2}{c^2}\frac{Qqsen\theta}{r^2} \tag{3}$$

Que a su vez puede transformarse:

$$F_{rel} = \frac{qV\mu_0}{4\pi}\frac{QVsen\theta}{r^2}\ ; \quad \mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} \tag{4}$$

Término que se puede identificar como una fuerza magnética:

De donde considerando un vector inducción magnética de cierto campo llamado magnético

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Q\vec{V} \times \hat{r}}{r^2} \tag{5}$$

Obviamente llegamos a la expresión de la fuerza electromagnética conocida como fuerza de Lorentz

$$\overrightarrow{\mathbf{F_{em}}} = \overrightarrow{\mathbf{F_e}} + \mathbf{q}\vec{\mathbf{V}} \times \vec{\mathbf{B}} \tag{6}$$

Esta demostración expone inobjetablemente la naturaleza relativista de la componente magnética del campo electromagnético, cuestión que está prácticamente ausente de los cursos de Física General. Una demostración semejante aunque más simplificada se puede encontrar en otros textos [3], [4].

Nuevamente insistimos en la importancia de entender las esencias que están presentes en una formulación matemática de cualquier ley de la Física. En este caso ese entendimiento ha evidenciado lo que subyace en el término magnético de la expresión de la Fuerza de Lorentz, que es precisamente la naturaleza relativista del llamado campo magnético.

Los textos inducen al error de identificar dos campos diferentes en esta interacción al tratar el magnetismo en capítulo aparte incluso cuando se refiere a las corrientes como las fuentes del "campo magnético" cuando se ha estudiado que las cargas eléctricas son las fuentes del "campo eléctrico", es decir dos fuentes aparentemente diferentes para dos campos diferentes estudiados en dos momentos diferentes del curso.

Es imprescindible comprender que toda carga eléctrica es fuente de campo eléctrico y una carga eléctrica en movimiento es una fuente de campo eléctrico y de campo magnético simultáneamente. Y como las macropartículas cargadas son las fuentes elementales de la carga eléctrica en cualquier cuerpo, y estas no están nunca en reposo, vemos que la naturaleza primigenia del campo electromagnético es siempre dual en sus manifestaciones eléctrica y magnética. Por esto podemos afirmar que lo que verdaderamente existe como objeto físico es el campo electromagnético.

### 2.2 La formulación de la ley de Ampere y su contradicción para casos no estacionarios

Es interesante esclarecer la interpretación física de las expresiones matemáticas de las leyes fundamentales del electromagnetismo clásico, las propias incongruencias matemáticas que están presentes en sus formulaciones. Una interesante cuestión es analizar la expresión matemática de la ley de Ampere. (6)

Es usual utilizar una estrategia geométrica de cierta manera artificiosa a través de las integrales de superficie para evidenciar la contradicción de la ley de Ampere al ser aplicada a un capacitor. En ocasiones, como este análisis pasa por una evidencia en parte cualitativa, no es totalmente comprendida por los estudiantes; sin embargo, existe un camino con el inobjetable lenguaje de la matemática prácticamente desconocido por los profesores. Lo mostramos a continuación.

Escribamos la Ley de Ampere en su forma diferencia

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \tag{7}$$

Aplicando divergencia en ambos miembros:

$$\vec{\nabla}.(\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla}\,.\,(\mu_0 \vec{J}) = \mu_0(\vec{\nabla}.\vec{J}) \tag{8}$$

El miembro derecho es siempre cero de manera que utilizando la ecuación de continuidad para analizar el miembro izquierdo:

$$\vec{\nabla}.\vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \tag{9}$$

Como puede observarse este término que corresponde al miembro derecho solo es cero en el caso estacionario. Por lo cual llegamos a una inaceptable incongruencia en la interpretación física de esta trascendente expresión matemática.

### 2.3 Sobre valoración del sistema de ecuaciones de Maxwell

El sistema de ecuaciones de Maxwell se presenta en los cursos como la síntesis de la teoría electromagnética clásica de manera que puede aparecer la tendencia a concebir que son estas las ecuaciones que permiten describir y fundamentar la causa de todos los fenómenos electromagnéticos, sin embargo, esto no es exactamente así. Sobredimensionar el rol de dichas ecuaciones como parte de la teoría puede conducir a interpretaciones incorrectas de los fundamentos de esta.

Pueden mencionarse algunos ejemplos. Un caso muy frecuente es que se demuestra la ley de Coulomb a partir de la ley de Gauss dando un enfoque desenfadado de que la segunda es su causa y su existencia se debe entonces a la primera [5], [6]. Realmente es todo lo contrario pues la existencia de la ley de Gauss se sustenta en el carácter de fuerza central de la fuerza eléctrica que refrenda matemáticamente la ley de Coulomb.

De nuevo vemos que la interpretación matemática errado en su orden de interpretación e importancia trae confusiones en las prioridades y valías de las propias ecuaciones.

Una situación semejante ocurre con la ley de Gauss y la ecuación de continuidad. La ecuación de continuidad, explicitada antes en este trabajo, expresa el principio de conservación de la carga eléctrica que, como principio, siendo estos los peldaños superiores del conocimiento humano, es inadmisible que pueda ser demostrado a partir de una ley Física. Realmente es exactamente lo opuesto. Sin embargo, nos encontramos en libros muy serios la propuesta en forma de ejercicio de demostrar la ecuación de continuidad a partir de las ecuaciones de Maxwell. [4]

Aspecto importante a destacar al hablar de la ecuación de continuidad es mencionar algo relacionado con la teoría especial de la relatividad, teoría que ya vinculamos antes a nuestras reflexiones. Esto es que la carga eléctrica es un invariante relativista, argumento trascendente que le da a esta ecuación una valía especial por lo significativo que esta magnitud tiene en su escritura.

Finalmente sería conveniencia comentar que la trascendencia del Sistema de Ecuaciones de Maxwell como ecuaciones generales que caracterizan a la teoría electromagnética clásica es tal vez la causa de que casi nunca se hable de sus limitaciones. Para profundizar en esto recomendamos ver Electricidad y Magnetismo de Matveev en su página 399 [4].

### 2.4 La ley de Faraday ¿Una ley que vincula dos causas a un mismo efecto?

Nuevamente es interesante referirnos a la interpretación física de las expresiones matemáticas de las leyes fundamentales del electromagnetismo. Un aspecto interesante a dilucidar relacionado con esto es contraponer y comparar la formulación matemática de la denominada por Feynman regla de los flujos

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt} \tag{10}$$

como ley de Faraday en la mayor parte de los textos, con la ley de Faraday-Maxwell y analizar la no equivalencia conceptual entre las mismas.

Una ley identifica un vínculo entre causa y efecto entre dos sucesos determinada por el principio de causalidad; a un efecto le precede una causa. Sin embargo, en la ley de Faraday o en la regla de los flujos ese principio no es siempre verificable. En la misma aparecen como la misma causa para la aparición del efecto de una fuerza electromotriz inducida (femi) un campo magnético variable en el tiempo o un cambio en la geometría del circuito considerado.

Feynman, en su libro ¨Lecture on Physics Vol 2¨, apunta que:

*"We know of no other place in physics where such a simple and accurate general principle requires for its real understanding an analysis in terms of two different phenomena"*

destacando así el carácter paradójico de esta regla e incorporando dos contraejemplos de su validez [7].

A partir de la regla de los flujos no debemos inferir las causas de la existencia de las corrientes inducidas. Estas causas pueden ser que el circuito o al menos unas de sus partes se muevan en presencia de un campo magnético o que el campo magnético varíe en el tiempo. A esta última Sears [8] le llama femi de campos eléctricos inducidos. En la regla de los flujos no se hace ninguna distinción entre ambas.

Se comprende entonces que de interpretar esta ecuación como una relación causa efecto se concluye que dos causas diferentes tributan a un mismo efecto. Para la verdadera comprensión física de cada una de estas causas debemos utilizar enfoques diferentes.

Un aspecto interesante a dilucidar relacionado a las Ecuaciones de Maxwell es la de contraponer y comparar la ley de Faraday con la ley de Faraday-Maxwell y analizar la no equivalencia conceptual entre las mismas.

La Ley de Faraday-Maxwell expresa que

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{11}$$

Integrando en ambos miembros tenemos que:

$$\int_s \vec{\nabla} \times \vec{E} \,.\, \vec{ds} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \,.\, \vec{ds} \tag{12}$$

Pero por el teorema de Stokes:

$$\oint_c \vec{E} \,.\, \vec{dl} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \,.\, \vec{ds} \tag{13}$$

Por lo cual utilizando la definición integral para la femi obtenemos que:

$$\varepsilon_i = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \,.\, \vec{ds} \tag{14}$$

Esta demostración inclusive puede hacerse de una manera más rigurosa llegándose al mismo resultado.

Teniendo en cuenta lo anterior se llega a una aparente paradoja irrebatible: La regla de los flujos y la ecuación de Faraday- Maxwell no son equivalentes en cuanto a los fenómenos que describen. La primera refiere tanto la femi de movimiento como la femi debida a un campo magnético variable en el tiempo, mientras que la segunda sólo lo hace con la femi debida a un campo magnético variable en el tiempo.

Y esto nos lleva a otra interesante y confusa cuestión: ¿Entonces la regla de los flujos es más general que la ecuación de Faraday-Maxwell?

La respuesta a esta interrogante es la siguiente:

- El fenómeno de inducción electromagnética puede ser descrito en la casi totalidad de los casos por la regla de los flujos de Faraday pero esta ecuación no se puede interpretar como una expresión causal.

• La ley general del cuadro electromagnético clásico es la ecuación de Faraday-Maxwell y no la regla de flujos.

Debemos entender a la regla de los flujos como una formulación que muestra como una combinación de dos fenómenos bastantes diferentes tributan a un mismo efecto; la generación de una femi inducida. Sin embargo, la que aporta algo esencialmente diferente y esclarecedor en relación a las esencias del campo electromagnético es la ecuación de Faraday-Maxwell, en relación a que a un campo magnético variable en el tiempo le es inherente un campo eléctrico rotacional. Esta ecuación establece la relación indisoluble entre los campos eléctricos y los campos magnéticos, por supuesto complementada por lo que explicita la ley de Ampere-Maxwell.

El aporte de la regla de los flujos en relación a la femi de movimiento, no resulta nada novedoso, ya que solo esclarece su origen magnético.

Finalmente, resulta conveniente destacar que si escribimos y analizamos la expresión:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot\vec{A} + \vec{B}\cdot\frac{d\vec{A}}{dt}\right) \tag{15}$$

siendo $\Phi_B = \vec{B}\cdot\vec{A}$ el flujo de campo magnético a través de una superficie de área A que sí está determinado tanto por la variación de una geometría cuando un conductor "barre" un área determinada como por la variación temporal del campo magnético.

Ya nos referimos a que se puede interpretar este resultado como dos «causas» de aparición de la femi sin embargo, una interpretación sobre la base del descubrimiento original de Faraday y de la generalización posterior debida a Maxwell resulta igualmente correcta sobre la base de que el conductor «barre» líneas de campo magnético relativamente en cualquiera de los dos casos.

El ejemplo más utilizado en los textos de Física para explicar el origen de una fuerza electromotriz inducida es el que representa a un imán en movimiento relativo a la sección transversal de una espira de material conductor y se interpreta siempre desde el sistema de referencia de la espira concluyendo que la femi aparece asociada a un campo eléctrico rotacional no colombiano cuyo flujo está cambiando; sin embargo nunca se analiza que este campo es esencialmente estacionario y que la femi tiene como causa el movimiento relativo de la espira en dicho campo estacionario como se puede mostrar en la figura 2

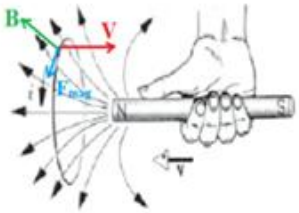



**Fig. 2 Interpretación de la fem inducida en una espira al moverse realtivamente a un imán en reposo como efecto de la componente magnética de la fuerza de Lorentz (tomada del texto de Halliday modificada por los autores).**

## 3. CONCLUSIONES

1. Al abordar la electrostática se debe destacar la ley de Coulomb como la ley fundamental del electromagnetismo de la que se deriva la ley de Gauss e inclusive la ecuación de continuidad debe considerarse con la mayor generalidad respecto a esta última dado que expresa el principio de conservación de la carga eléctrica.

2. La interpretación de la ley de Faraday y la ecuación de Faraday-Maxwell debe ser tratada con especial cuidado didácticamente a fin de destacar la fuente real de la fuerza electromotriz inducida sea por movimiento de conductores en el campo magnético o por la variación temporal de la inducción de dicho campo magnético, fenómenos cualitativamente diferentes en esencia.

3. Debemos entender a la regla de los flujos como una ecuación que muestra como una combinación de dos fenómenos bastantes diferentes tributan a un mismo efecto; la generación de una fem inducida y no como una relación causal de dicha femi. Sin embargo, la que aporta algo esencialmente diferente y esclarecedor en relación a las esencias del campo electromagnético es la ecuación de Faraday-Maxwell, que establece la relación indisoluble entre los campos eléctricos y los campos magnéticos; por supuesto esta afirmación complementada por lo que explicita la ley de Ampere-Maxwell.

4. La denominada por Feynman regla de los flujos en relación a la fem de movimiento, no aporta nada novedoso desde el punto de vista físico, aunque si tiene utilidad para simplificar la solución de algunos problemas que serían más complicados de resolver matemáticamente a la hora de calcular las fuerzas electromotrices inducidas con independencia de su causa física.

## REFERENCIAS

1. SÁNCHEZ MORENO, A. et. al. La enseñanza basada en preguntas: La ley de Ampère y el término de Maxwell. Didáctica de las ciencias experimentales y sociales, 38. 2020: 115-132
2. LLOVERA J.J and OSABA, C. Una asimetría raramente analizada en las ecuaciones de Maxwell. Revista Cubana de Física (Vol. 40, Issue 1). 2022
3. YAVORSKI, B. M. y PINSKI, A. A. “Fundamentos de Física, tomo I, Editorial Mir, Moscú, 1983
4. MATVEEV, A. Electricidad y Magnetismo. Editorial Mir. Moscú. 1988.pag.56
5. ÍRODOV, I. E. “Problemas de Física General” Ed. Mir Moscú 1985 pp 180.
6. PURCELL, E. M., “Electricity and Magnetism” Berkeley Physics Course, vol. 2, Ed. Revolucionaria, La Habana.1970.
7. FEYNMAN, R., LEIGHTON, R. B. and SANDS, M. Lectures on Physics Addison-Wesley, Reading, MA, 1964, Vol. 2.
8. SEARS, F. W. et. al., “University Physics: with Modern Physics” 13th ed. Addison-Wesley, Pearson Education p.p. 976 – 978 (2012)

**sobre los autores**

**Juan Antonio Alejo Díaz**, Dr. C. es Profesor Titular Consultante y metodólogo del Instituto de Ciencias Básicas de la Cujae. Es autor de diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Ha desarrollado investigaciones en óptica aplicada, y en enseñanza de la Física. Ha dirigido tesis de maestría y doctorado en ambas líneas de investigación.

**Juan José Llovera González**, Dr, C, es Profesor Titular Consultante y metodólogo del Instituto de Ciencias Básicas de la Cujae. Es miembro del Consejo Científico de dicha Universidad y vicepresidente de la Sociedad Cubana de Física para la sección de Enseñanza de la Física. Es autor de diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Ha desarrollado investigaciones en óptica aplicada, y en enseñanza de la Física. Ha dirigido tesis de maestría y doctorado en ambas líneas de investigación.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EXPERIENCIAS DE PROCESOS SOSTENIBLES EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE ARQUITECTOS

**Marta María Rubio Tamayo[1], Enrique Irene Baluja Flores[2], Olivia Diago Diaz[3], Ernesto Alejandro Estrada Parrón[4].**

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa.
martamaria.rt@gmail.com[1];marta@geidos.cu[1]; balujaenrique@gmail.com[2]; baluja@geidos.cu[2]; oliviadiago29@gmail.com[3];olivia@geidos.cu[3]; alestrada940926@gmail.com[4]; ernesto.estrada@geidos.cu[4]

## RESUMEN

El presente trabajo recoge experiencias recientes en la formación integral de arquitectos, desde una perspectiva didáctica sostenible. Se trabajó sobre la base de experiencias anteriores, unidas a un fuerte vínculo Universidad-Empresa y al desarrollo por los estudiantes de trabajos de alta pertinencia social. El proceso, desarrollado bajo la guía de un Tutor Principal, (profesor de la Facultad de Arquitectura), tuvo el apoyo de cotutores, todos arquitectos de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel. Este equipo ha logrado desarrollar, de forma sistemática, un proceso de asignaturas integradas que culminan en los Trabajos de Diploma. La motivación en los estudiantes ha sido siempre uno de los factores determinantes, enriquecida con la búsqueda de información en objetivos en construcción y en funcionamiento y el vínculo directo con actores de la comunidad. Esto ha permitido y motivado a los estudiantes al desarrollo de actividades profesionales sobre una base real, favorecidos por el uso de tecnologías avanzadas existentes en la entidad y el contacto directo con otras especialidades en esta empresa. En cada curso se ha ido perfeccionando el proceso de enseñanza aprendizaje, de modo que todos los participantes han resultado favorecidos, tanto estudiantes, como especialistas, a partir de la interacción de procesos sustantivos, como son la investigación, la extensión, y la formación, incorporados en cada una de las asignaturas y etapas. Se ha logrado un resultado favorable para el proceso de enseñanza-aprendizaje en su conjunto, que lo ha hecho sostenible en el tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** Formación profesional, Proyectos de Alta Pertinencia, Procesos Sustantivos, Integración en el Proceso de Enseñanza Aprendizaje.

## EXPERIENCES OF SUSTAINABLE PROCESSES IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF ARCHITECTS

## ABSTRACT

This work collects recent experiences in the comprehensive training of architects, from a sustainable didactic perspective. We worked on the basis of previous experiences, together with a strong University-Business link and the development by students of works of high social relevance. The process, developed under de guidance of a main tutor, (Professor of the Faculty of Architecture), had the support of co-tutors, all architects from the Mariel Architecture and Engineering Projects Company. This team had managed to systematically develop a process of integrated subjects that culminate in diploma work. The motivation of the students has always been one of the determining factors, enriched with the search for information on objectives under construction and in operation, and the direct link with community actors. This has allowed and motivated students to develop professional activities on a real basis, favored by the use of advanced technologies existing in the entity, and direct contact with other specialties in this company. In each course, the teaching-learning process has been perfected, so that all participants have been benefited, both students and specialists, from the interaction of substantive processes, such as research, extension and training, incorporated in each of the subjects and stages. A favorable result has been achieved for the teaching-learning process as a whole, which has made it sustainable over time.

**KEY WORDS:** Professional training, Highly Relevant Projects, Substantive Processes, Integration in the Teaching-Learning Process.

## 1. INRODUCCIÓN

La formación profesional de los arquitectos, pudiera decirse que es una de las más complejas, ya que requiere de un alto nivel cultural en los estudiantes, la combinación de múltiples habilidades, entre las que se encuentran las relacionadas con el campo del diseño, a la vez que necesita mantener un vínculo importante con el entorno real, unido a una gran creatividad. Para favorecer esta formación, el trabajo de la Facultad de Arquitectura se encamina al desarrollo de proyectos muy relacionados con las necesidades del entorno real, expresados en trabajos con la comunidad y con entidades empresariales. Esto ha sido una tendencia durante años, aunque constantemente esa tarea requiere perfeccionamiento y acercamiento a métodos que favorezcan el proceso de enseñanza aprendizaje.

La experiencia que se expone, tuvo como antecedente algunos años de trabajo de asignaturas integradas del Proyecto CUJAE. Esta etapa anterior, se desarrolló con el 4to año de la carrera de Arquitectura, y en ella se combinaron tareas de investigación, formación y extensión, que fueron desarrolladas básicamente dentro del marco de la comunidad universitaria y en menor medida, dentro del marco de la población del entorno universitario. Sin embargo, no existía en esos momentos el apoyo de una entidad proyectista con una fuerte organización empresarial. La entidad inversionista de la CUJAE, quien aportó y apoyó mucho al proceso del Proyecto CUJAE, contaba con pocos especialistas de experiencia, que apoyaran como tutores o asesores a la numerosa cantidad de alumnos, que en ocasiones alcanzaron a ser hasta dos talleres de alrededor de veinte estudiantes. Tampoco contaba con un sistema de trabajo de proyecto establecido, que pudiera servir de referencia, como el que si cuentan las entidades de diseño. Esto hizo difícil algunas etapas de trabajo y debieron crearse estrategias que sustituyeran estas carencias.

A partir de 2020, se inicia un nuevo proceso de trabajo, vinculado a la Zona Especial de Desarrollo Mariel. En esta nueva etapa el trabajo se ha dirigido básicamente a estudiantes de 5to año de la Facultad, en pequeños talleres, que no han excedido un total de 7 u 8 alumnos.

La Zona Especial de Desarrollo Mariel, (ZED Mariel) es una obra de suma importancia, que ofrece grandes potencialidades de aprendizaje para los estudiantes, con objetivos de alta pertinencia, y una visión de desarrollo sostenible en sus criterios de diseño, todo lo que constituye un gran estímulo para la participación de los estudiantes. La Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS, constituye la entidad de proyecto designada para la atención de la ZED Mariel, como Proyectista Principal, y cuenta con una cantidad de especialistas con mucha experiencia y con una base tecnológica muy avanzada en su equipamiento, además de muy buenas condiciones de trabajo en toda su edificación.

El trabajo realizado a partir de 2020 y los resultados obtenidos en cursos sucesivos, permitió que para el año 2023, se firmara un convenio entre la Universidad (Facultad de Arquitectura) y la Empresa (GEIDOS), que ampara la atención de estudiantes en la empresa durante la realización de proyectos de asignaturas de diseño, prácticas, y desarrollo de investigaciones en el marco de Trabajos de Diploma u otros Ejercicios de Culminación de Estudios, (ECE).

Esto ha permitido contar con la participación de un grupo de especialistas que colaboran con el proceso de enseñanza aprendizaje, y que los estudiantes se vinculen a trabajos de total actualidad, interesantes y pertinentes dentro de la comunidad y de la entidad empresarial.

## 2. PROCESOS Y MÉTODOS

El proceso de enseñanza-aprendizaje en los talleres de 5to año vinculados a la ZED Mariel se inicia con la actividad académica, y la incorporación de varios conocimientos básicos que deben tener los estudiantes, relacionados con la Zona Especial de Desarrollo Mariel, su proceso inversionista y particularidades, entre las que se encuentra las estrategias encaminadas al diseño sostenible. También en este proceso se requiere el desarrollo y fortalecimiento de habilidades de trabajo con determinadas herramientas que incluye metodología de investigación, procesos de diseño arquitectónico y uso de algunas tecnologías, que les permita llegar hasta la realización del Ejercicio de Culminación de Estudios.

Estos conocimientos y habilidades se van integrando dentro de las asignaturas y etapas que se desarrollan en cada curso, que ha transitado por varios planes y sus ajustes, en algunas ocasiones con extremas diferencias de acuerdo incluso a condiciones diferentes, como fue la etapa de pandemia con la incorporación de actividades a distancia, por lo que ha requerido de muchas transformaciones cada vez.

El proceso en cada uno de los cursos se ha desarrollado mediante asignaturas integradas, organizadas de forma que garantizaran que los estudiantes siempre recibieran la información necesaria. Estas asignaturas y contenidos, giran alrededor de la asignatura integradora de la carrera que es la asignatura de Diseño Arquitectónico y Urbano (DAU VII o TIP VII), alrededor de la cual se realizan optativas, se integra la actividad Práctica de Oficinas del último año, y se integra el Trabajo de Diploma o ECE.

Sin embargo, un factor determinante desde el principio es la determinación del problema y la motivación de cada estudiante por participar en la investigación y la solución de un problema en específico. Esto forma parte de los métodos de enseñanza-aprendizaje de la carrera de Arquitectura, que consiste en el aprendizaje basado en problemas (ABP) [1],

Este método se aplica internacionalmente en diversos niveles de enseñanza. En el caso de la arquitectura, se combina el método de enseñanza por proyectos, con esta forma de aprendizaje en que la solución de un problema general integra el trabajo de varias asignaturas y disciplinas que solucionan problemas específicos y se favorece la formación profesional integral. Es una forma de aprendizaje que tiene como una de sus ventajas que el estudiante asume una gran parte de la responsabilidad de su aprendizaje. [2].

Plantean algunos autores que “este aprendizaje más que una metodología, una técnica didáctica, un método o una estrategia, es una alternativa de aprendizaje activo, y autónomo, centrada en el estudiante para que aprenda a aprender de manera cooperativa en pequeños grupos” [3.] También esta forma de aprendizaje estimula el desarrollo de capacidades dentro del ámbito profesional, favorece habilidades como la toma de decisiones, la comunicación, y contribuye al desarrollo de valores.

En relación con los proyectos de arquitectura y el proceso de diseño, Alonso Gatell, (2019) destaca que es importante tomar en cuenta que el proceso de diseño desarrolla un grupo de capacidades en el estudiante, entre ellas las reflexivas, predictivas, creativas, e innovativas, y coincide en señalar que es un proceso de “aprender aprendiendo”. También señala que los resultados del diseño transforman la realidad y que es una forma de aprendizaje extraordinariamente efectiva para modelar, configurar y transformar el mundo. [4]. Este proceso de transformación que genera el diseño arquitectónico en el contexto, acompaña al proceso de transformación que se opera en los estudiantes, que se inserta dentro de los conceptos del proceso formativo defendido por diversos autores, que señalan que el aprendizaje constituye un proceso de “cambio que ocurre en el que aprende” [5]. A la vez que el aprendizaje transformador aumenta la oportunidad de exponerse a experiencias de aprendizaje que son potencialmente transformadoras en la vida personal y profesional de los que participan, [6]. También este proceso de aprendizaje contribuye a que se el estudiante comprenda la complejidad del mundo, poniendo en práctica el aprendizaje experiencial y participando activamente en el proceso transformador.

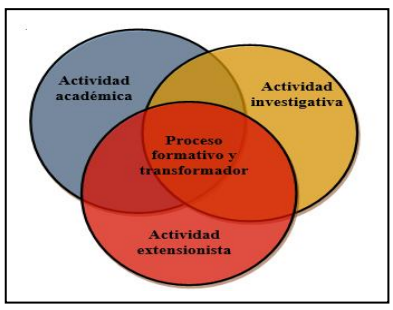



Fig. 1. Interacción de los procesos sustantivos

Dentro de las recientes experiencias de los talleres de la ZED Mariel, se ha podido constatar que el proceso transformador ha sido el resultado de la interacción de varios procesos sustantivos, como son lo académico, lo investigativo y el extensionismo, (ver figura 1). Dentro de la actividad académica, las asignaturas han desarrollado distintos tipos de clases, desde conferencias, talleres, seminarios y varias formas de evaluación individual y colectiva. Se desarrollan numerosas actividades en que los estudiantes exponen su trabajo una y otra vez, de forma individual y por equipos, haciendo que desarrollen sus capacidades comunicativas durante todo el proceso, y apliquen formas colaborativas de trabajo.

El extensionismo se ha expresado dentro de actividades prácticas, como parte de la aplicación de herramientas investigativas, que permiten llegar a conocer mejor el problema y las potenciales soluciones.

Cada estudiante o equipo de estudiantes profundizó en el tema a investigar con múltiples herramientas investigativas entre las que se encontraron la búsqueda de información directa en la comunidad, mediante entrevistas, visitas a centros de interés, recorridos por las zonas de intervención y contacto directo con las comunidades en las que se debe intervenir. También se buscó información en actores de la comunidad con experiencia en los distintos temas, con vistas a conocer las necesidades más importantes a resolver dentro de cada problema investigado, por lo que el propio proceso investigativo condujo al desarrollo de la actividad extensionista.

La actividad académica se ha apoyado en una fuerte actividad investigativa, y esta a su vez ha requerido de acciones extensionistas, para buscar respuestas y soluciones a los problemas. Este conjunto de actividades es lo que ha dado lugar al desarrollo del proceso formativo. En este proceso se han sucedido transformaciones, en los estudiantes, en su desarrollo personal y profesional. A la vez estos estudiantes han generado propuestas transformadoras del entorno físico y social. Pero también todos los que intervinieron en el proceso, de alguna forma han resultado enriquecidos por la propia actuación dentro de las distintas esferas de actividades, a la vez que participaron de las propuestas transformadoras del entorno físico. Los más beneficiados fueron los estudiantes, que alcanzaron un nivel profesional mucho más alto durante el proceso, aunque también los especialistas participantes resultaron favorecidos con la interacción en el campo de lo académico y de lo investigativo dentro de la actividad del diseño, que les ha generado nuevas experiencias y conocimientos, lo que ha resultado en un constante proceso de superación profesional.

## 3. RESULTADOS

Durante el curso 2019-2020, dentro del Plan D, se iniciaron los primeros Trabajos de Diploma en objetivos de la ZED Mariel, con un número mínimo de estudiantes, (dos diplomantes), que procedían de talleres del cuarto año del Proyecto CUJAE, lo que favorecía el proceso de trabajo. Los trabajos de la ZED Mariel estuvieron vinculados a obras para el Turismo destinadas al Complejo Turístico Inmobiliario El Salado, del Sector H, siendo el tema del turismo uno de que mayor interés suscitara entre estudiantes y diplomantes, en sentido general.

Se inició el trabajo directamente en el segundo semestre, que coincidió con la etapa inicial de la Pandemia, lo que hizo necesario el inicio de la actividad académica a distancia. Se dio inicio al uso de las redes y se crearon nuevos mecanismos y herramientas de trabajo que permitieran avanzar a pesar de las circunstancias. La actividad extensionista, y dentro de esta el trabajo con la comunidad se hizo difícil y limitado. A pesar de las dificultades los diplomantes no carecieron de ninguna información técnica que de forma digital los vinculara con la realidad de la obra y del sitio, y se desarrolló un trabajo en equipo que llevó a una muy buena calidad de los documentos elaborados y calificaciones de excelente. Se hizo palpable el proceso de formación, y la transformación profesional de los diplomantes, que desarrollaron dos importantes y complejos proyectos consistentes en un hotel de 300 habitaciones y una propuesta de Paisaje en el Salado, (ver figuras 2 y 3). Ambos trabajos resultaron de gran utilidad para la entidad proyectista y han transcendido como propuestas de valor, que aún forman parte de la bibliografía básica para cada curso posterior.



Fig. 2. Hotel de 300 habitaciones en El Salado. Tesis del curso 2019 -20.



Fig. 3 Paisajismo en El Salado. Solución para Hotel 300 habitaciones. Tesis del Curso 2019-20.

El curso 2020-2021, (desarrollado en 2021), también del Plan D, contó con un número mayor de estudiantes, (ocho en total), en el Taller de la ZED. Transitó este curso todavía por las complicaciones de la etapa de Pandemia, pero tuvo el beneficio de desarrollarse en dos semestres con varias asignaturas integradas. Durante el primer semestre se realizó por primera vez una propuesta de intervención en la Comunidad de Quiebra Hacha, dentro de una de las asignaturas, en una interesante experiencia de trabajo por equipos, con marcado uso de las redes y con resultados de valor para otros trabajos de la entidad empresarial. También se continuó con el tema turismo y obras para El Salado, gracias a la gran cantidad de información técnica con que contaba este tema, y por la gran motivación que producía en los estudiantes todo lo relacionado con del turismo.

En este curso, con un mayor dominio del uso de las redes, se lograron desarrollar múltiples actividades colaborativas y por equipos que se combinaron con trabajos individuales en el proceso evaluativo. Entre los proyectos vinculados a objetivos del Salado estuvieron dos Hoteles (dos estudiantes), una propuesta de varios tipos de Chalets, un conjunto de Villas Turísticas con módulos de 10 apartamentos, dos Edificios Altos de Apartamentos, (7 y 14 plantas) y un Centro Comercial, todo estos dentro del Plan de El Salado, (ver figuras 4 a 8). También se comenzó a abordar el tema Cultural con un Centro de Interpretación, con una primera propuesta en etapa de tesis que abordaba el contexto del asentamiento de Quiebra Hacha. En este curso se incorporaron dos cotutores de la Entidad GEIDOS que apoyaron el proceso con los estudiantes. Los resultados, en lo que se refiere a las calificaciones finales de los trabajos de Diploma no fueron los esperados, debido a la imposibilidad de realizar actividades presenciales, con las habituales defensas. No obstante, se pudo apreciar el desarrollo de habilidades en cada estudiante y crecimiento personal y profesional que alcanzaron. A la vez que todos los trabajos resultaron de utilidad dentro de los objetivos de la entidad receptora y para la continuación de los temas en los cursos siguientes.



Fig. 4. Hotel de 400 habitaciones, categoría 4 estrellas, en El Salado con la participación de dos estudiantes. Tesis 2020-



Fig. 5. Hotel de lujo 120 habitaciones en El Salado. Tesis del curso 2020-21.



Fig. 6. Variantes de Chalets en El Salado. Tesis del curso 2020-21



Fig. 7. Villas adosadas para en El Salado. Tesis del curso 2020-21.



Fig. 8. Edificio residencial, 14 niveles para en El Salado. Tesis del curso 2020-21.



Fig. 9. Centro de Interpretación de la ZED MARIEL. Tesis del curso 2020-21.



Fig. 10. Centro formación religiosa: Centro misionero internacional. Tesis del curso 2021-22.

El curso 2021-2022, (enero a diciembre 2022), del Plan D, se desarrolló igualmente un Taller de la ZED Mariel a largo del curso con asignaturas integradas, con una participación de cuatro estudiantes. En medio de este curso se reinició la actividad presencial, no obstante, aun existieron dificultades, por lo que se combinó con el uso las redes, y un alto aprovechamiento de la información digital para el estudio de los sitios, que contribuyó al desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Como temas, se dio continuación a algunos objetivos del Salado, con una propuesta de Hotel, una propuesta nueva del tema residencial de Variantes de Chalets, así como un proyecto de la Casa de Golf y se inició el tema de Centros de Formación que fue tratado en el entorno de Quiebra Hacha, (ver figuras 11 a 13).

Un factor importante fue que en 2022 se restituyó la defensa de los Trabajos de Diploma o ECE, con la participación de oponente y tutores. Se hizo muy evidente en este curso la calidad alcanzada en todos los trabajos, el crecimiento profesional de todos los estudiantes, que obtuvieron calificaciones excelentes, mejorándose notablemente los resultados colectivos en relación con el curso anterior.



Fig. 11 y 12. Maqueta virtual y fachada por el acceso principal al Hotel de 300 habitaciones, 5 estrellas, en El Salado. Tesis del curso 2021-22.



Fig. 13. Club de Golf en El Salado. Tesis del curso 2021-22.

Durante los cursos 2021 y 2022, se desarrollaron un significativo número de ECE en los talleres de la ZED Mariel en medio de las condiciones de pandemia, sin embargo el trabajo de extensión se limitó a las relaciones con la entidad empresarial, las entrevistas con algunos expertos en el campo de los distintos temas tratados por cada estudiante, y algunos trabajos aislados que requirieron consultas con personas de la comunidad, lo que se fue ampliando en el curso siguiente, gracias a la terminación de la pandemia y el regreso a la normalidad.

Durante el curso 2022-2023 (enero a diciembre 2023), y último curso del Plan D para quinto año, se desarrolló un taller de la ZED Mariel con cinco estudiantes en que fueron propuestos cuatro temas de proyecto y de tesis: Un Hotel Boutique en El Salado (con dos estudiantes por su complejidad), un Centro de Formación en Artemisa destinado a la Sede del PCC Provincial, un Centro de Formación Religiosa, fuera de la ZED Mariel, y un Centro Educativo en el Corredor Cultural dentro del Asentamiento de Quiebra Hacha, (ver figuras 14 a 17); todos en distintas locaciones y provincias. Este curso abarcó el primer y el segundo semestre, con asignaturas integradas. Tuvo mejores condiciones de presencialidad y se hizo posible un trabajo de investigación con visitas presenciales, entrevistas con expertos y actores, que contribuyó a identificar problemáticas y vías de solución por tema. Se continuaron utilizando las redes en cada etapa. La presencialidad permitió una sistemática asistencia a clases, consultas y sesiones de trabajo con tutores.

En este curso se materializó el convenio entre la Universidad y la Entidad GEIDOS, y se amplió la cantidad de especialistas, (cinco arquitectos como cotutores), en atención a los estudiantes. La vuelta a la actividad presencial facilitó el contacto directo de estudiantes con tutores, cotutores y con asesores especialistas de diversas disciplinas de proyecto, que les aportaron información y les transmitieron sus experiencias profesionales. A lo largo del curso y de las diferentes asignaturas se desarrollaron presentaciones de trabajos de estudiantes, ante el equipo de tutores y especialistas. Estas presentaciones sirvieron para que se entrenaran en esta actividad de defensa y contribuyó a mejorar sus habilidades de comunicación. También la asistencia sistemática a la empresa favoreció el uso de las tecnologías de la información y de equipos con altas prestaciones.

Una vez más los resultados fueron excelentes. En general los estudiantes alcanzaron un buen nivel profesional en la toma de decisiones, lo que fundamentaron en los documentos elaborados, en la calidad de las propuestas de proyectos y en el desenvolvimiento durante sus actos de defensa, lo que dio lugar a resultados significativos a nivel de colectivo. Durante el 2023 se favoreció la integración de todos los procesos sustantivos; (académico, investigación, extensión), resultando notorio el nivel de formación profesional alcanzado por cada uno de los diplomantes. Más adelante se pudo constatar, dentro de la entidad empresarial, que también los profesionales participantes del proceso, fueron favorecidos con la adquisición de conocimientos académicos y en su desarrollo profesional.



Fig. 14. Hotel Boutique de 120 habitaciones en El Salado. Imagen de las dos propuestas de solución para este hotel. Tesis del curso 2022-2023.



Fig. 15. Instituto Preuniversitario en Quiebra Hacha. Tesis del curso 2022-2023.



Fig. 16 y 17 Centro de Formación, destinado a la Sede Provincial del PCC Artemisa

El curso 2024, fue uno de los más difíciles de los últimos años, siendo el primero del Plan E, que presentaba marcadas diferencia en la malla curricular, cambios en asignaturas y en métodos de trabajo. Con un taller de la ZED Mariel de cuatro estudiantes, se inició directamente en el Trabajo de Diploma, sin asignaturas integradas que apoyaran el proceso. Fueron los temas: un alojamiento (hotel) destinado a maestros en Quiebra Hacha, un Centro para el Desarrollo Local y una Casa de la Cultura Comunitaria también en Quiebra Hacha, esta última con dos estudiantes, solicitados estos temas por los estudiantes desde el curso anterior, dentro de una optativa de la ZED Mariel que recibieron en el segundo semestre del cuarto año. Esta optativa fue la única oportunidad, anterior a la Tesis, que tuvieron para familiarizarse con algún conocimiento de la ZED Mariel de forma muy preliminar.

La experiencia acumulada en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los cursos anteriores, permitió hacer una planificación de actividades y conocimientos por etapas, que se pudiera desarrollar en un solo semestre dentro del tiempo del Trabajo de Diploma. Se trazó un cronograma de trabajo por etapas con un alto nivel de detalles que deberían ir cumpliendo de forma periódica y sistemática. Se trabajó de forma intensa, con márgenes de tiempo muy cortos y controlados en cada paso del proceso, a lo que contribuyó el interés y la disciplina demostrada por el grupo de estudiantes.

En la primera etapa además del estudio bibliográfico, se realizaron numerosas visitas a otras obras con funciones relacionadas con los temas. Conceptualizaron con profundidad cada tema e hicieron un grupo importante de entrevistas necesarias para lograr definir un programa preliminar. La segunda etapa de trabajo dedicada al área de estudio, se benefició de que la localización de las obras fuera dentro del mismo asentamiento, (Quiebra Hacha), y que formaran parte de un conjunto de edificios dentro de la misma zona de esa comunidad, (El Corredor Cultural). Esto favoreció la caracterización del sitio y el trabajo en equipo que permitió avanzar con mayor rapidez. Se realizaron visitas al sitio y a la comunidad de forma directa y presencial, pudiendo tomar personalmente los datos necesarios, además de contar con la necesaria información técnica que se utiliza en para el diseño como son la información topográfica y otros documentos de base.

Los estudiantes trabajaron las propuestas en base a criterios de diseño sostenible. En la etapa final tuvieron oportunidad de consultas frecuentes; y presentaciones periódicas a modo de seminarios ante colectivo de tutores, especialistas y sus propios compañeros. También resultó importante la posibilidad del uso de tecnologías dentro de la empresa con asesoramiento de especialistas con experiencia en diseño y presentación. Resulto de mucha importancia el apoyo de tutores, cotutores y otros especialistas de GEIDOS. En este curso se mantuvo un tutor principal y se incorporaron dos cotutores en cada tema, con lo que el equipo de especialistas que atendieron a los estudiantes creció a siete arquitectos, y también se recibió apoyo de especialistas de otras disciplinas, como en electricidad e hidrosanitaria motivados por este proceso. Paralelamente se unieron esfuerzos a partir de la actividad de predefensa, con uno de los grupos de investigación de la Facultad de Arquitectura, (Grupo de Diseño), para la realización de presentaciones y consultas. Todas estas actividades en su conjunto contribuyeron a la comprensión de los estudiantes del proceso de diseño y favoreció la toma de decisiones. De esta forma, el uso de las herramientas de investigación adecuadas, el vínculo directo con la comunidad, (entidad empresarial, población y sus actores), la consulta con múltiples especialistas, la posibilidad del uso de tecnologías mediante el vínculo con la Empresa, los ejercicios repetidos de defensa, y el esfuerzo realizado por los propios estudiantes (muy motivados por obtener buenos resultados), hicieron posible que en un solo período de cuatro meses se pudiera desarrollar un muy buen trabajo que se acercara en resultados al que se realizara en cursos anteriores.

Durante la defensa final, los estudiantes demostraron mucha profesionalidad, seguridad y habilidad comunicativa. El tribunal hizo elogios del acto de defensa y del nivel demostrado por el equipo de trabajo. Es posible que no se lograra la madurez en las tomas de decisiones que, en el curso anterior, lo que estuvo afectado por el corto tiempo del proceso. Sin embargo, vale reconocer el esfuerzo realizado por los diplomanates por su entrega y dedicación al trabajo, gracias a lo cual sus tesis resultaron de valor, y ya forman parte de la cartera de proyectos que se conservan para la entidad receptora, por el equipo de especialistas y como base bibliográfica para trabajos de continuación. Una vez más la entidad de proyecto resultó favorecida durante la participación de sus profesionales en todo este proceso, en el que también se alcanzó un crecimiento profesional de sus especialistas participantes.



Fig. 18, 19 y 20 Alojamiento para maestros con espacios de formación profesional en Quiebra Hacha. Tesis del curso 2023-2024. Vistas de la habitación, vista general del alojamiento y arriba una planta de ubicación.





Fig. 21, 22 Centro Cultural en Quiebra Hacha. Tesis del curso 2023-2024. Vistas de la entrada y vista general. Variante 2





Fig. 23, 24 Centro Cultural en Quiebra Hacha. Tesis del curso 2023-2024. Vistas de la entrada y vista general. Variante 1.





Fig. 25 Centro de Desarrollo Local. Tesis del curso 2023-2024. Imágenes exteriores

## 4. PERSPECTIVAS DE TRABAJO

El curso 2024-2025, se inicia con un taller de nueve estudiantes, que atenderán temas de la ZED Mariel durante los dos semestres del 4to año extendido. Se trabajará con asignaturas integradas en contenidos y objetivos que responderán a problemáticas relacionadas con el asentamiento de Quiebra Hacha y que deben resolver atendiendo a criterios sostenibles de diseño. Las edificaciones a diseñar en algunos casos son continuación de investigaciones anteriores, con algunas nuevas instalaciones. Durante los primeros días y clases del curso, los temas se concretan con los estudiantes, con sus intereses y motivaciones, aunque si es un objetivo definido que todos trabajen propuestas de edificaciones dentro del mismo asentamiento, y en la misma zona del Corredor Cultural, en instalaciones que responden a las necesidades reales y problemáticas de la población del lugar.

Se aplicarán experiencias que dieron resultado en los cursos anteriores, y se plantean incorporar herramientas de investigación que permitan profundizar en el trabajo con la comunidad. Este es uno de los factores que requiere ser mejorado dentro del proceso, y que permitirá lograr un mayor acercamiento a la población, a sus opiniones y necesidades, de modo que la propuesta de los nuevos centros responda a estos intereses. Para lograr este objetivo, una de las asignaturas impartidas como optativa, estará encargada de incorporar este objetivo dentro de sus contenidos y trabajos de curso, lo que contribuirá al cumplimiento del mismo.

## 5. CONCLUSIONES

El trabajo ha estado basado en experiencias anteriores, y en la atención de estudiantes a obras vinculadas a necesidades reales y de alta pertinencia social. En aquellos casos, existió una vinculación a una entidad inversionista y sus especialistas, pero no existió la oportunidad de trabajar con una entidad de proyecto con un sistema de trabajo establecido y numerosos especialistas de experiencia profesional. Sin embargo, si se logró la interacción de varios procesos sustantivos como fueron la academia, lo extensionista y la investigación, con un favorable resultado en el proceso de formación de los estudiantes, que transformaron el entorno, a la vez que se fueron transformando hacia un crecimiento profesional, y que dejaron una gran cantidad de proyectos de mucha utilidad para la entidad receptora.

En las recientes experiencias de la ZED Mariel, los estudiantes se han vinculado a obras de una alta pertinencia social, pero en una primera etapa las limitaciones de la pandemia dificultaron todos los pasos del proceso. Se recibió el beneficio de la atención de una entidad empresarial, aunque de forma paulatina, en sus inicios con pocos especialistas, existiendo muchas dificultades para realizar investigaciones en la población, a pesar de lo que se realizaron entrevistas con actores y expertos, que fundamentaron los programas y funciones de cada objetivo estudiado y permitieron la toma de decisiones, y la elaboración de propuestas transformadoras.

Para los últimos cursos se ha alcanzado una mayor integralidad de los procesos sustantivos. En lo académico se ha acumulado una experiencia mayor en los contenidos necesarios y en la forma de integrar las asignaturas que beneficien el proceso de enseñanza-aprendizaje y sus etapas, con objetivos y tareas que favorecen la formación profesional integral de los estudiantes. En función de esto, dentro del proceso de investigación se desarrolla la actividad extensionista, cuya misión es la de contribuir a obtener la información necesaria en cada tema a la vez que contribuye a la formación y desarrollo de habilidades profesionales en los diplomantes. En conjunto se logra el objetivo general, que es alcanzar la transformación de los estudiantes en verdaderos profesionales, mientras ellos mediante sus proyectos y ejercicios de culminación de estudios desarrollan trabajos transformadores del entorno físico y social.

El proceso resulta sostenible, ya que existe un encadenamiento en la continuidad de las investigaciones desde el punto de vista de temas y contenidos y una constante actualización del proceso académico. La formación profesional, no alcanza solo a los estudiantes, sino que favorece a todos los que participan, con lo que se logra el crecimiento de tutores y especialistas, que revierten estas experiencias y conocimientos en los nuevos cursos y estudiantes que atienden en los años siguientes. Y todos los resultados favorecen a la entidad proyectistas, a la ZED Mariel en su conjunto y a las poblaciones para las que se trabaja, con lo que los proyectos y tesis tiene una connotación social.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean reconocer y agradecer la colaboración de todos y cada uno de los estudiantes que han participado en los cinco cursos de trabajo para la ZED Mariel, que ascienden a un total de 23 arquitectos ya graduados. También a los que se interesan por continuar con esta labor, que en la actualidad son 9 que inician el proceso en un nuevo curso.

En todos estos años ha sido necesario trabajar con mucha voluntad, empeño, y verdadero esfuerzo colectivo para vencer las dificultades primero de la etapa de pandemia, y posteriormente por las complejas condiciones coyunturales existentes que aún perduran. Todo el esfuerzo individual y colectivo ha significado el más importante potencial para los resultados alcanzado cada vez y ha permitido avanzar hasta la actualidad.

Muy especialmente se debe recordar al primer estudiante que se incorporó a proyectos de la ZED Mariel, en el curso 2019-2020, el Arquitecto Roybel Pérez Tarife (fallecido), que participara y ganara un concurso de GEIDOS, y que más adelante formara un equipo excelente con otra estudiante, Arquitecta Eliachin Phuong Marrero quienes desarrollaron dos complejas tesis sobre El Salado, muy relacionadas entre sí. Ambos se caracterizaron por una extrema dedicación, disciplina, y creatividad y debieron realizar grandes esfuerzos personales para terminar sus trabajos en la primera etapa de pandemia. Lamentablemente en el caso de Roybel, apenas logró terminar su tesis en condiciones de gravedad, falleciendo sin poder asistir a su graduación. Esta situación tan lamentable fue un golpe para todos, pero dejó a pesar de su juventud varios trabajos que aún tienen valor para la tarea que se ha venido realizando.

No puede dejar de agradecerse y reconocerse el trabajo de los especialistas de la empresa que se ha ido incrementando en los tres últimos años, en que un grupo de arquitectos se desarrollan como cotutores, asesores e incluso oponentes, muchos de ellos no forman parte de la plantilla del Proyecto Sectorial. También agradecer a los ingenieros y técnicos que de diversas especialidades han colaborado como asesores, los que tampoco forman parte del Proyecto, pero que siempre respondieron a cualquier llamado y participaron en distintos momentos de los procesos, brindando sus conocimientos y experiencia a los estudiantes. Además, se debe agradecer y reconocer la preocupación de directivos y compañeros de la empresa que de alguna forma han apoyado esta tarea.

Finalmente agradecer la colaboración de la Facultad de Arquitectura, a su dirección y a la dirección del Departamento de Diseño, por apoyar este trabajo todos estos años. Una vez más, muchas gracias a todos, y reciban el reconocimiento por su participación y entusiasta apoyo.

**REFERENCIAS**

1. TRAVIESO VALDÉS, Dayana y ORTIZ CÁRDENAS, Tania. “Aprendizaje basado en problemas y enseñanza por proyectos: alternativas diferentes para enseñar”. *Revista Cubana de Educación Superior.* 2018; vol. 37, n.1, pp.124-133.

2. LÓPEZ CHUCHAYO, Marco Antonio. “El aprendizaje basado en problemas. Una propuesta en el contexto de la Educación Superior en México”. *Tiempo de Educar* [en línea], 2008; Vol. 9, n.18, pp. 199-232. Universidad Autónoma del estado de México. Toluca. México. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa

3. ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. “El aprendizaje basado en problemas, un reto a la enseñanza superior”. *Conrado* [online]. 2021, vol.17, n.80, pp.298-303. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php

4. ALONSO GATELL, Aymeé. “Significado de proceso de diseño en la formación del arquitecto. Particularidades en Cuba”. *Contexto.* Revista de la Facultad de Arquitectura. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 2019. (Disponible en http://www.redalyc.orq)

5. BERMÚDEZ MORRIS, Raquel. “El aprendizaje formativo: una opción para el crecimiento personal en el proceso de enseñanza – aprendizaje”, *Tesis en opción grado científico de Doctor*. Universidad de La Habana. 2001.

6. ALBARRÁN-PÉREZ, Daniela F y MILLÁN-HERNÁNDEZ, Manuel. Aprendizaje transformador: oportunidad de la pandemia. *FEM* [online]. 2021, vol.24, n.4, pp. 219-220. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php

**Sobre los autores:**

**Primer Autor:** MSc. Arq. Marta María Rubio Tamayo. Categoría Docente: AsistentE. Categoría Científica Master. Filiación y responsabilidades: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Especialista principal de Arquitectura. Profesora Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesora Asistente de la Facultad de Arquitectura, en atención a Talleres del último año (5to plan D y 4to extendido plan E). Membresías en Organizaciones, miembro de la UNAICC

**Segundo Autor:** MSc. Arq. Enrique Irene Baluja Flores Categoría Científica Master. Filiación y responsabilidades:Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. SE desempeña como Director de Operaciones de GEIDOS. Membresías en Organizaciones, miembro de la UNAICC

**Tercer Autor:** Arq. Olivia Diago DiazFiliación y responsabilidades: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Se desempeña como Proyectista General. Membresías en Organizaciones,miembro de la UNAICC

**Cuarto Autor:** Arq. Ernesto Alejandro Estrada Parrón Filiación y responsabilidades: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Se desempeña como Especialista de Proyectos, membresías en Organizaciones. Miembro de la UNAICC

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELO PARA LA ORIENTACIÓN EDUCATIVA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS INGENIERÍAS

**Norma González Ruda[1], Raquel Bermúdez Morris[2], Ibette Alfonso Pérez[3]**

Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.
[1] nruda59@gmail.com , [2] rbmorris@tesla.cujae.edu.cu, [3] ialfonso29@gmail.com

**RESUMEN**

La contribución al crecimiento personal de los estudiantes universitarios constituye una consideración importante en el diseño de los planes de estudio dada la necesidad de la formación de un profesional con potencialidades intelectuales y recursos personales que le permitan interactuar en la sociedad en que vive. En el caso de la formación de ingenieros, los docentes se enfrentan a nuevos retos dado el desarrollo tecnológico, económico y social al que se insertan estos profesionales. Por tal razón, se requiere que los profesores universitarios estén preparados para orientar a sus estudiantes en las asignaturas que imparten; de ahí la importancia de considerar la orientación educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA) como un recurso que contribuye al proceso de formación. El presente estudio tiene como propósito diseñar un modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías. Sobre un diseño de investigación mixto, se utilizan métodos de nivel teórico y empírico que permitieron determinar las principales deficiencias en la orientación educativa en el PEA de las ingenierías y diseñar el modelo. La esencia del modelo radica en transformar la orientación educativa que se realiza en el PEA de las ingenierías. Sus componentes: fin, objetivo, exigencias, características esenciales de la orientación educativa, metodología para su aplicación, formas de implementación y de evaluación mantienen interrelaciones dialécticas entre sí y con el contexto actual de la educación superior cubana.

**PALABRAS CLAVE:** orientación educativa, proceso de enseñanza-aprendizaje, ingeniería, educación superior

## MODEL FOR EDUCATIONAL ORIENTATION IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF ENGINEERING

**ABSTRACT**

The contribution to the personal growth of university students is an important consideration in the design of study plans given the need to train a professional with intellectual potential and personal resources that allow him/her to interact in the society in which he/she lives. In the case of the training of engineers, teachers face new challenges given the technological, economic and social development in which these professionals are inserted. For this reason, university professors are required to be prepared to guide their students in the subjects they teach; hence the importance of considering educational guidance in the teaching-learning process (PEA) as a resource that contributes to the training process. The purpose of this study is to design a model for educational guidance in the PEA of engineering. Based on a mixed research design, theoretical and empirical methods are used that allowed determining the main deficiencies in educational guidance in the PEA of engineering and designing the model. The essence of the model lies in transforming the educational guidance that is carried out in the PEA of engineering. Its components: purpose, objective, requirements, essential characteristics of educational guidance, methodology for its application, forms of implementation and evaluation maintain dialectical interrelations between themselves and with the current context of Cuban higher education.

**KEY WORDS:** educational guidance, teaching-learning process, engineering, higher education

## 1. INTRODUCCIÓN

La contribución al crecimiento personal de los estudiantes universitarios constituye una consideración importante en el diseño de los planes de estudio dada la necesidad de la formación de un profesional con potencialidades intelectuales y recursos personales que le permitan interactuar en la sociedad en que vive [1]. Este encargo se convierte en una necesidad a resolver si se parte de una concepción de orientación educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA).

La orientación que reciben los jóvenes, previa al ingreso a la universidad y posteriormente al estar insertados en ella, se ha convertido en un tema cada vez más atendido por la importancia que adquiere para la formación de profesionales, tanto en ámbitos nacionales como internacionales. Así, la orientación educativa se concibe como resultado de un devenir histórico, donde la adecuación a las necesidades concretas de cada momento, el surgimiento e influencia de nuevas áreas del saber, así como su desarrollo institucional ha posibilitado configurar de su marco teórico. De génesis filosófica, su más frecuente aplicación y validación se observa con fuerza en el campo de la psicología y de la pedagogía; en este último se revela tanto en el plano instructivo como en el educativo.

Existen disímiles definiciones que se recogen en la literatura científica sobre orientación educativa [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Son elementos comunes en ellas comprender la orientación educativa como un proceso de ayuda insertado en la actividad educativa; apreciarla como proceso dirigido a aquellos estudiantes que presentan alguna dificultad en aspectos académicos, profesionales y/o personales, así como considerarla un sistema que se planifica y organiza por la institución docente. Alfonso y Serra exponen que “para el contexto universitario la orientación constituye un elemento esencial del proceso educativo, por lo que no debe ser entendida como actividad complementaria a la formación académica. El profesor debe trasladar a este contexto lo que es propio de la orientación en general (proceso de ayuda, individualizado, desarrollo integral de la persona, realización personal, etc.), sin perder de vista las características propias del nivel educativo y de sus estudiantes” [8].

Constituye una preocupación de los profesores la formación de un profesional que pueda tomar decisiones acertadas, oportunas y con seguridad, que sea capaz de argumentarlas y defenderlas, que interactúe, se comunique en equipos y que resuelva eficazmente los conflictos que puedan surgir, y sea protagonista de su educación, lo cual se especifica en la necesidad de la orientación educativa en el PEA esbozado en los Planes de estudio de las ingenierías [1, 9]. Es muy difícil por azar ofrecer la atención educativa, el apoyo y las ayudas adecuadas que cada sujeto necesita para responder desde su naturaleza a las circunstancias y exigencias que se presentarán en cada etapa de su vida [10].

En la actualidad los docentes se enfrentan a nuevos retos en la formación de ingenieros dado el desarrollo tecnológico, económico y social. “Los ingenieros son los profesionales que tienen la responsabilidad de crear, transformando la naturaleza, el mundo artificial de los objetos, así como el de los procesos y el de los sistemas” [11]. Por eso el PEA en las universidades necesita tener en cuenta este contexto para egresar un ingeniero que satisfaga estos desafíos.

Se identifican en el PEA durante formación de ingenieros, el desarrollo de capacidades analíticas, de comunicación afectiva, el diseño y conducción de experimentos, conocimientos interdisciplinarios, competencias interculturales, gestión de proyectos, aprendizaje para toda la vida y trabajo en equipo, entre otras [12]. Asimismo, habilidades como la creatividad, la empatía, la comunicación y el trabajo en equipo son demandadas en los ingenieros [13, 14].

En Cuba estas habilidades se describen también como objetivos necesarios en el perfil del ingeniero que requiere la sociedad. Se destacan además otras cualidades como la independencia y el ser colaborativo [15, 16]. Los ingenieros deberán distinguirse por su vocación humanista, por su compromiso con la naturaleza y por su sentido de pertenencia y responsabilidad con los demás; así como por sus habilidades para: identificar, estructurar, formular y resolver problemas de ingeniería y comprender el impacto social de las soluciones ingenieriles [11].

El PEA de las ingenierías ha sido objeto de investigación en este sentido y se han determinado como particularidades necesarias a tener en cuenta en la enseñanza de la ingeniería: la organización del PEA centrado en el estudiante, el diseño de un proceso interactivo y colaborativo, en este marco se prevé un profesor orientador. Asimismo, se propone un proceso con prioridad en la actividad independiente. Se

hace énfasis además en el desarrollo personal del ingeniero y se le concede gran importancia al PEA en el logro de este objetivo; priorizando la necesidad de una formación humanística [17, 18].

Por tal razón, se requiere que los profesores universitarios estén preparados para orientar a sus estudiantes en las asignaturas que imparten, de manera que se cumplan los propósitos esbozados con anterioridad. En el Reglamento del trabajo docente metodológico se acentúa que el profesor "Debe garantizar una estructura didáctica que favorezca la educación desde el aprendizaje de los contenidos, destacando el papel del profesor como facilitador de un proceso que favorezca la formación humanista del estudiante." [19]. El PEA de las ingenierías necesita transformarse de una concepción lineal y técnica a una más sistémica y colaborativa con la ayuda de otras ciencias de la educación.

A pesar de los amplios estudios que sobre orientación educativa existen [20, 2, 3, 21, 22, 23] y los vastos fundamentos que sobre el PEA se pueden consultar en la literatura pedagógica y didáctica [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30], existen deficiencias en la orientación educativa que reciben los futuros profesionales en sus aulas; siendo este el mayor espacio de interacción entre profesores y estudiantes que debe ser aprovechado para la labor educativa. Entre las principales deficiencias podemos señalar:

- Carencias teórico-metodológicas para realizar la orientación educativa en el marco del PEA en la formación del ingeniero
- La planificación de acciones de orientación educativa en el PEA resulta insuficiente para atender las necesidades de los estudiantes
- Atención inadecuada al diagnóstico, pues no garantiza la programación y dirección de acciones conjuntas de orientación educativa en el PEA que contribuyan al crecimiento personal de los estudiantes
- Deficiencias en el uso de procedimientos de orientación educativa en el PEA que estimulen el desarrollo de recursos personales en los estudiantes
- La orientación educativa se distingue por ser empírica y fragmentada

Se evidencia en estas dificultades la necesidad de transformar la situación de manera que la labor educativa se corresponda con las exigencias de la educación superior cubana. Por ello, el objetivo del presente trabajo se centra en diseñar un modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías que responda a las demandas de la educación superior cubana.

## 2. METODOLOGÍA

Son varias las metodologías que suelen utilizarse en el campo de las investigaciones educativas las cuales proporcionan un marco de referencia y una justificación lógica para examinar los principios y procedimientos por los que se formulan, responden y evalúan los problemas. Para la realización de la investigación se tuvo en cuenta el método dialéctico materialista e histórico. Se efectuó un análisis histórico-dialéctico del objeto de estudio, en el que se conjugan en una unidad dialéctica lo cuantitativo y lo cualitativo, lo cual posibilitó estudiar el fenómeno educativo en su devenir, relaciones y contexto.

Se utilizaron como métodos de nivel teórico el histórico-lógico, aplicado para el estudio evolutivo de la orientación educativa y el PEA de las carreras de ingeniería; los métodos analítico- sintético e inductivo-deductivo fueron empleados en la interpretación de la información obtenida y la elaboración de síntesis conclusivas del objeto de estudio. El uso de la modelación facilitó la representación de la orientación educativa en el PEA de las ingenierías, mediante el establecimiento de relaciones entre las bases teóricas de la orientación educativa en el PEA y el material fáctico obtenido de la aplicación métodos empíricos. Asimismo, el método sistémico estructural-funcional permitió la determinación del vínculo y las relaciones dinámicas entre los componentes del modelo desarrollado para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías.

Como parte de los métodos de nivel empírico se empleó la revisión documental mediante la que se revisaron y procesaron documentos emanados de los órganos de dirección del PEA para la búsqueda de indicadores relacionados con el análisis metodológico de la orientación educativa en el PEA de las ingenierías; además se sometieron a un análisis exhaustivo los Planes de estudio E de las ingenierías para

develar los modos de actuación de los ingenieros que necesitan ser potenciados mediante la orientación educativa en el PEA. El método de observación se empleó para comprobar en qué medida se manifiesta la orientación educativa en las diferentes actividades del PEA de las ingenierías en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE).

## 3. ESTRUCTURA Y DINÁMICA DEL MODELO PARA LA ORIENTACIÓN EDUCATIVA EN EL PEA DE LAS INGENIERÍAS

A partir de considerar la orientación educativa como una "relación de ayuda que, mediante el vínculo interpersonal entre el profesor y los estudiantes, la intervención diagnóstica conjunta y la estimulación y el despliegue de las potencialidades de cada educando y del grupo en las actividades docentes, contribuye al crecimiento personal" [31]; y tomando la esencia de la definición de modelo aportada por Valle (2012), se concibe el modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías como la representación del fin, objetivo, exigencias, características y metodología de la orientación educativa, que permite descubrir nuevas relaciones y cualidades para su transformación, durante su implementación y evaluación en el PEA de las ingenierías. [32]

La estructura del modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías toma como referente los componentes expresados por Valle (2012), los que se refieren a continuación: Fin y objetivo, exigencias al modelo, características esenciales de la orientación educativa en el PEA del primer y segundo año de ingeniería, metodología para la orientación educativa en el PEA, formas de implementación del modelo en la universidad y formas de evaluación del modelo en el PEA. Su estructura se aprecia en la figura 1.

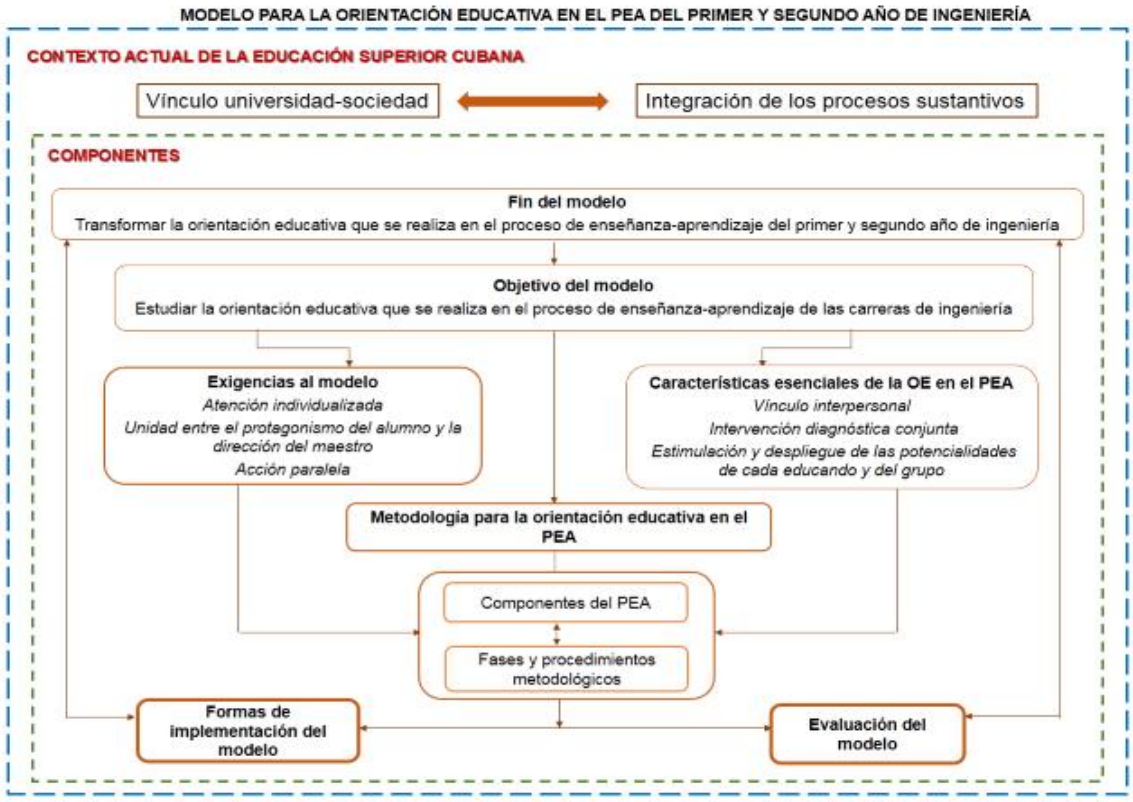



Figura 1. Representación gráfica del modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías. Fuente: Elaboración propia

El fin del modelo radica en transformar la orientación educativa que se realiza en el PEA de las ingenierías; y su objetivo se dirige a estudiar la orientación educativa que se realiza en el PEA de las ingenierías.

La propuesta de exigencias al modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías constituye el resultado de un proceso de análisis teórico y de los datos fácticos de la investigación. Las exigencias han sido extraídas de los referentes que abordan la orientación educativa de manera general en su vínculo con los principios del PEA.

Teniendo en cuenta que las exigencias constituyen aspectos que se necesitan considerar en la orientación educativa en el PEA, se definen como exigencias de la orientación educativa en el PEA aquellos requerimientos y precisiones esenciales y necesarias que, por constituir aspectos teórico-metodológicos, permiten potenciar la orientación educativa en el PEA para el crecimiento personal de los estudiantes. Se distinguen tres exigencias al modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías:

- Atención individualizada
- Unidad entre el protagonismo del estudiante y la dirección del profesor.
- Acción paralela sobre la personalidad y el grupo

Las **características esenciales** que identifican a la orientación educativa en el modelo son: el *vínculo interpersonal*, la *intervención diagnóstica conjunta,* y la *estimulación y el despliegue de las potencialidades de cada educando y del grupo en las actividades docentes.*

El *vínculo interpersonal* se define como "la interacción recíproca entre el profesor y los estudiantes mediante la empatía, la aceptación y la autenticidad" [31]. Constituye un elemento imprescindible para este que, profesores y estudiantes puedan ponerse uno en el lugar del otro, para lograr la compresión mutua. En este sentido, el PEA debe potenciar la empatía de manera que sea factible realizar discusiones grupales de proyectos y valoraciones de tecnologías acertadamente donde se acepte la crítica en la solución de problemas ingenieriles y donde se manifieste la autenticidad al asumir la responsabilidad ante los problemas y sus soluciones.

La estimación incondicional del profesor a sus estudiantes, independientemente de la diversidad, garantiza la aceptación en la orientación educativa grupal en el PEA. Esta situación es de crucial importancia para que se genere una relación de ayuda que permita la satisfacción de las necesidades de orientación sin conflictos. Se favorece así el respeto a sí mismo y hacia los demás, y se propicia una relación legítima y natural entre el profesor y los estudiantes todo lo cual va preparando al estudiante para su tránsito y futura inserción profesional.

La máxima de que la educación guía el desarrollo, constituye la esencia de la característica *intervención diagnóstica conjunta*. Cada acción de intervención tendrá en cuenta el desarrollo actual y potencial del sujeto para realizar la ayuda y así servir de mediador en su crecimiento personal. El fundamento de esta característica se encuentra en la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Con la cooperación del profesor o el grupo y la suya propia, el estudiante puede interiorizar y poner en práctica en su actuación personal determinados comportamientos, de los cuales es consciente y responsable. Es posible estimular la cooperación para la toma de conciencia de las fortalezas, debilidades y potencialidades de los recursos personales con que cuenta el estudiante para asumir tareas relacionadas con el empleo y las normas de seguridad, de los sistemas y tecnologías, del diseño de tecnologías, el conocimiento del cuidado del medio ambiente y su prevención, así como la selección y utilización de técnicas y métodos efectivos para el procesamiento de la información. El profesor debe brindar las ayudas necesarias para el entrenamiento en el PEA del ejercicio de dirección colegiada de proyectos técnicos y procesos productivos. La orientación educativa en el PEA facilita la aplicación de procedimientos educativos para la orientación al estudiante en las tareas docentes.

El dinamismo de esta característica permite que en el momento en que se brindan las ayudas (intervención) se evalúa el proceso de su aceptación o rechazo y la comprensión de lo que se orienta, o sea, la interiorización y su resultado. Se realiza así un diagnóstico de lo actual y lo potencial, en la dinámica del PEA donde el estudiante es protagonista en la toma de conciencia de sus debilidades y potencialidades. No se espera a que el proceso concluya para evaluar el resultado, sino que se realiza la intervención diagnóstica, que posibilita la introducción de las correcciones necesarias, en el momento oportuno, según refiere Pérez [33].

Se define *la estimulación y el despliegue de las potencialidades de cada educando y del grupo en las actividades docentes* como "la activación de la toma de decisiones del estudiante mediante el intercambio

individual y grupal en la determinación de las estrategias a utilizar en la tarea docente, la confrontación de lo ejecutado con lo planeado y la oportunidad de hacer las correcciones pertinentes, que le permitan la defensa de los procedimientos utilizados, sin distrés" [31]. Dentro de dicha característica se identifican los espacios para que el estudiante pueda ser protagonista de su accionar en la actividad docente, brindándole la posibilidad de ser proactivo para planificar y argumentar sus estrategias de aprendizaje, expresar las conclusiones a las que ha llegado, aprender del error con la confianza suficiente en su grupo y en el profesor, defender sus puntos de vista y escuchar recomendaciones; todo lo cual debe ser posible en un ambiente de cordialidad y sin conflictos.

Se hace necesario ofrecer momentos de intercambio con otros para la toma de decisiones respecto a la meta propuesta, propiciar que el estudiante pregunte, aclare dudas, escuche, indague, de forma que se potencie la necesaria seguridad en la tarea sobre los conocimientos científico-técnicos de la profesión en el momento de montar, mantener y evaluar equipos y sistemas en su esfera de actuación.

En el PEA se debe propiciar oportunidades para que los estudiantes defiendan y justifiquen los procedimientos utilizados, sin conflictos para el trabajo en equipos multidisciplinarios. Esto coadyuva al desarrollo de habilidades en los estudiantes que le permitirán relacionarse con el personal subordinado y contribuir a su entrenamiento y superación tecnológica como parte del desempeño profesional.

La estrecha relación que une de forma dialéctica estas características, permite un accionar dinámico entre el profesor, el grupo y cada estudiante en las actividades docentes; lo que contribuye a la transformación de la orientación educativa en el PEA. La implicación de los rasgos de la orientación educativa: diagnóstico, orientación y seguimiento en cada una de las características de la orientación educativa en el PEA posibilita su transformación.

En relación con los elementos metodológicos del modelo se plantea que, la metodología resulta la parte operativa donde se va a concretar el proceso de formación de la personalidad [34]. La **Metodología para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías** se define como una propuesta de fases y procedimientos metodológicos que permiten llevar a cabo la acción de orientación educativa en el PEA.

La metodología consta de cinco fases cada una de las cuales se corresponde con las operaciones de la acción que la caracteriza. En cada fase se explica el procedimiento metodológico y se concretan los métodos y las vías que se emplean para llevar a cabo la acción de orientación educativa.

Fase 1- Identificación de necesidades de orientación educativa

Fase 2- Determinación de recursos y técnicas para la orientación educativa

Fase 3- Interacción para el ofrecimiento de las ayudas necesarias

La mediación es la vía que permite la intervención individual en los estudiantes. Se une a la coordinación grupal con un único objetivo: la satisfacción de la necesidad de orientación educativa del grupo y de cada uno de los estudiantes, mediante la conciliación de ambos.

Para la toma de decisiones de los estudiantes en relación con la satisfacción de la necesidad de orientación educativa se brindarán niveles de ayuda. Los niveles de ayuda permitirán el ajuste, modificación y toma de decisiones de las respuestas del estudiante o del grupo, lo que facilitará corroborar el diagnóstico para la intervención diagnóstica conjunta. Los niveles de ayuda que pueden brindarse al estudiante son:

- Primer nivel de ayuda: Alertas. Se pueden resaltar elementos importantes de la tarea o expresar ideas movilizadoras, como, por ejemplo: fíjate bien, qué necesitas, etcétera. Esto permitirá que el estudiante actúe de manera independiente, sin sentirse presionado. Dejar que el estudiante reflexione y tome su decisión minimiza las resistencias y ansiedades en el proceso de recibir la ayuda y emitir una respuesta.
- Segundo nivel de ayuda: Recordatorio de situaciones semejantes. Esta es una ayuda que le permite al estudiante ganar confianza asumiendo el camino que había tomado en contextos anteriores y genera independencia y satisfacción a la vez por la ayuda recibida.
- Tercer nivel de ayuda: Explicación más detallada de la situación a resolver y propuesta de algunas vías, dejando que el estudiante actúe solo. En este caso se puede ayudar al estudiante a concienciar nuevamente el objetivo y los métodos determinados para replantear el curso de su actuación, decirle

que es importante trazarse un objetivo, ofrecer pistas en la solución del problema, entre otras variantes. Todavía en este nivel el estudiante puede manifestarse independiente y seguro de lo que acontece.

- Cuarto nivel de ayuda: Ejecución de una parte de la solución al problema o situación que se quiere realizar por el profesor, donde puede estar implícita la demostración; el estudiante continúa con la ejecución. En este nivel es necesario que se valoren los miedos e inseguridades del estudiante pues puede tener los recursos para realizar la tarea y no hacerlo por timidez.

Fase 4- Expresión de autodeterminación de los estudiantes

Fase 5- Actualización del diagnóstico

Las transformaciones en la educación superior deben prestar una especial atención a los educadores. Es por eso que la **implementación del modelo** se inserta en el sistema de trabajo metodológico de la universidad. El diseño de formas de trabajo metodológico, la superación y la investigación constituyen las líneas fundamentales para ayudar a los profesores a realizar la orientación educativa bajo un fundamento científico y concebir su resultado.

La implementación se propone atendiendo a cuatro etapas fundamentales:

Etapa 1- Sensibilización con la necesidad de la orientación educativa en el PEA.

Etapa 2- Planificación de actividades metodológicas, de superación y científico-investigativas en orientación educativa.

Etapa 3- Preparación de los profesores y ejecución de las acciones de orientación educativa en el PEA.

Etapa 4- Valoración de la orientación educativa realizada en el PEA.

Como todo proceso educativo, la implementación es flexible y la puesta en práctica permitirá su perfeccionamiento y enriquecimiento, siempre en concordancia con el objetivo principal del modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías.

La implementación implica, además, el establecimiento de las coordinaciones con las estructuras de dirección de la universidad: carrera, facultad, año, departamento, disciplina y asignatura; para incorporar la preparación metodológica de los profesores en el sistema de trabajo de la institución. Eso requiere precisar líneas de trabajo metodológico y de investigación, estrategias y planes de trabajo metodológico en las instancias correspondientes y horarios oficialmente establecidos.

Se propone evaluar el modelo mediante el estudio de la transformación del objeto modelado. La **evaluación** permitirá dar seguimiento a su puesta en práctica. Este proceso será sistemático y comenzará desde el momento de la implementación, continuará mediante su seguimiento en la práctica, hasta que termine la asignatura donde se esté aplicando. Se realizará además un corte final para valorar las transformaciones en el objeto modelado: la orientación educativa en el PEA de las ingenierías.

El **seguimiento** se efectuará durante todo el semestre en que se imparta la asignatura, donde los profesores hayan planificado y aplicado un número considerable de acciones de orientación educativa en el PEA, de manera que tengan criterios sobre su aplicación. Se analizan las contradicciones y dudas en la ejecución de las acciones de orientación educativa de todo el colectivo de profesores que participe, devenidas de las observaciones a las actividades del PEA, de las propias vivencias en las actividades con los estudiantes y de las autoevaluaciones realizadas por los profesores en el acompañamiento pedagógico. Se planificarán los reajustes necesarios en el modelo para su continuidad, de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de la variable, dimensiones e indicadores.

Formando parte del **Corte final**, se concluirá la evaluación del modelo usando una alternativa para constatar el resultado final. En este proceder se aplican métodos científicos como encuestas a estudiantes, entrevistas a profesores y observación científica al PEA, donde se evaluará la variable, sus dimensiones e indicadores. El análisis de los resultados de la aplicación de los instrumentos será contrastado con los resultados del diagnóstico inicial lo que permitirá conocer las transformaciones ocurridas en la orientación educativa en el PEA. Será posible también conocer las opiniones que tienen profesores y estudiantes, y el nivel de satisfacción con la aplicación del modelo.

## 4. CONCLUSIONES

Las demandas en la formación y desempeño de ingenieros, así como el estudio de las concepciones actuales de orientación educativa en el PEA permitieron establecer un proceso de interrelaciones que evidencian la necesidad de transformar la orientación educativa que se realiza en el PEA de las ingenierías.

Se constataron deficiencias en la orientación educativa en el PEA de las ingenierías como carencias teórico-metodológicas para llevar a cabo esta relación de ayuda; insuficiente planificación de acciones de orientación educativa para atender las necesidades de los estudiantes; deficiencia en el uso de procedimientos de orientación educativa en el PEA que estimulen el desarrollo de recursos personales en los estudiantes, entre otras. Ello ha traído consigo que la orientación educativa en el PEA de las ingenierías se distinga por ser empírica y fragmentada, lo que evidencia la necesidad de transformación para que se corresponda con las exigencias de la educación superior cubana.

El modelo para la orientación educativa en el PEA de las ingenierías constituye la propuesta de solución a la necesidad revelada con anterioridad. Se estructura en siete componentes: fin, objetivo, exigencias, características esenciales, metodología, formas de implementación y evaluación del modelo. A su vez, se establecen relaciones dinámicas entre estos internamente, y como sistema abierto se relaciona también con otros procesos externos, lo cual permite el estudio y transformación del fenómeno investigado.

**REFERENCIAS**

1. Ministerio de Educación Superior. *Bases conceptuales para el diseño de los planes de estudio*. MES. Web oficial. La Habana. Cuba. 2021.
2. ALFONSO, Ibette. "Concepción de orientación educativa universitaria integradora de los procesos sustantivos para estudiantes de primer y segundo año de carreras de ingeniería". Directores: Rolando Serra Toledo y Cristina del Barrio Martínez. Tesis de doctorado, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana. 2013.
3. BERMÚDEZ MORRIS, Raquel; PÉREZ MATÍN, Lorenzo Miguel. "La orientación educativa en el contexto universitario cubano". Revista de Enfoque Humanístico [en línea], 2013, vol. 23, pp. 1-16.
4. ALMAGUER SANTIESTEBAN, Alicia. "Perspectiva de la orientación educativa como pilar del modelo cubano de universidad". Cuadernos de Educación y Desarrollo [en línea] 2011; vol. 3, núm 27, pp. 1-13.
5. PÉREZ, Roberto. "Concepción de orientación educativa para el aprendizaje de la convivencia comunitaria en Secundaria Básica". Director: Aurora García Gutiérrez. Tesis de doctorado, Instituto Superior Pedagógico "José de la Luz y Caballero", Holguín, 2007
6. PINO, J. L. "Orientación educativa y profesional en función del proceso de profesionalización en Universidades Pedagógicas". Ponencia presentada en IX Congreso Internacional de Educación Superior "Universidad 2014", La Habana, 2014
7. GONZÁLEZ RUDA, Norma; ALFONSO PÉREZ, Ibette; BERMÚDEZ MORRIS, Raquel; ARZUAGA RAMÍREZ, Misleidy. "El crecimiento personal desde el proceso de enseñanza-aprendizaje: experiencia con estudiantes de ingeniería". Revista Cubana de Educación Superior, 2023, vol. 42, núm. 3, pp. 36-52.
8. ALFONSO Pérez, Ibette; SERRA TOLEDO, Rolando. "¿Por qué es necesaria la orientación educativa en la universidad de hoy?" Referencia Pedagógica, 2016, vol. 4, núm. 3, pp. 16-27.
9. Ministerio de Educación Superior. *Plan de estudios E. Carreras de Ingeniería. Documento Ejecutivo*. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". La Habana. Cuba. 2018
10. CARNERO SÁNCHEZ, Maikel.; ARZUAGA RAMÍREZ, Misleidy. "Concepción proactiva del trabajo educativo en la universidad". Revista Cubana de Educación Superior, 2019, vol. 38, núm. 3, pp. 1-15.
11. LÓPEZ COLLAZO, Zeidy Sandra; SANTOS BARANDA, Janette; MEDINA OCAMPO, Mercedes. "Preparación para el empleo del ingeniero ante las demandas de la sociedad del siglo XXI". Revista de Referencia Pedagógica, 2019, vol. 7, núm. 1, pp. 10-26.
12. Universidad Nacional de Colombia. *Estrategia de Innovación en Educación en ingeniería*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín. Colombia. 2017
13. CAIAFA, Marcelo Dante; BUSTO, Adrian Marcelo; AURELIO, Ariel; KRAJNIK, José. "El perfil profesional de los ingenieros del sector TIC". Revista Ciencia y Técnica Administrativa, 2018, vol. 17, núm. 2, pp. 12-24.
14. GARCÍA PÉREZ, Michel; PERDOMO BLANCO, Liset. "Preparación metodológica para la dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje en la Ingeniería Industrial". Revista Mendive 2021, vol. 19, núm. 2, pp. 26-34.
15. CASTAÑEDA, A. E. "Ciencia, tecnología e ingeniería; nexos y diferencias en la formación ingeniera". Curso de postgrado: Particularidades de la enseñanza de la Ingeniería y la Arquitectura. Centro de Referencia para la Educación de Avanzada, Universidad Tecnológica de La Habana, 2012.

16. GUTIÉRREZ HERRERA, Mailén Virgen; HERRERA ACHÓN, Tania. "La formación de ingenieros desde el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad". Revista Referencia Pedagógica, 2018, vol. 6, núm. 1, pp. 16-28.

17. PADRÓN ÁLVAREZ, Arasay; DE LA RÚA BATISTAPAU, Manuel de Jesús. "Análisis de validación de resultados del proyecto de investigación: Particularidades de la Enseñanza de la Ingeniería y la Arquitectura". Revista Referencia Pedagógica, 2013, vol.1, núm. 2, pp. 171-186

18. CAPOTE LEON, Gladys Elena; RIZO RABELO, Noemí; BRAVO LOPEZ, Gisela. "La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria". Universidad y Sociedad, 2016, vol.8, núm.1, pp. 21-28.

19. Ministerio de Educación Superior. *Reglamento para el trabajo docente y metodológico de la educación superior en la República de Cuba*. Gaceta Oficial (25). 2018

20. PARRAS, Antonia; MADRIGAL, Ana María; REDONDO, Sara, et. al. *Orientación educativa: fundamentos teóricos, modelos institucionales y nuevas perspectivas*. Madrid: Editorial Secretaría General Técnica. 2008. 404 pp.

21. PAZ, I.D. et. al. "Contribuciones teórico prácticas sobre la orientación educativa en la labor pedagógica". En IV Congreso Internacional de Ciencias Pedagógicas de Ecuador: La formación y superación del docente: desafíos para el cambio de la educación en el siglo XXI, 2018, Ecuador.

22. GONZÁLEZ BENITO, Ana. "Revisión teórica de los modelos de orientación educativa". Revista Caribeña de Investigación Educativa, 2018, vol. 2, núm. 2, pp. 43-60. Recuperado de: https://doi.org/10.32541/recie.2018.v2i2.pp43-60 [Fecha de consulta: junio de 2020]

23. ECHEVERRÍA SAMANES, Benito; MARTÍNEZ-CLARES, Pilar. "Orientar en tiempos de cambio a través de la Teoría U". Revista Orientación y Sociedad, 2021, vol. 21, núm. 2, pp. 1-24.

24. BERMÚDEZ, Raquel y PÉREZ, Lorenzo Miguel. *Aprendizaje formativo y crecimiento personal*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 2003. Xx pp.

25. GONZÁLEZ, Ana María; RECAREY, Silvia y ADDINE, Fátima. *El proceso de enseñanza aprendizaje: un reto para el cambio educativo*. En ADDINE, Fátima (comp.) Didáctica: Teoría y práctica. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 2004. 298 pp.

26. RICO, Pilar; SANTOS, Edith Miriam; MARTÍN-VIAÑA, Virginia. *Exigencias del modelo de escuela primaria para la dirección por el maestro de los procesos de educación, enseñanza y aprendizaje*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 2008. 94 pp.

27. ARMAS, Camilo Boris. "Modelo para la formación de una estrategia general de aprendizaje en el primer año del curso regular diurno de las especialidades técnicas de la Licenciatura en Educación". Director: Raquel Bermúdez Morris. Tesis de doctorado, Universidad de Ciencias Pedagógicas "Héctor A. Pineda Zaldívar", La Habana, 2010

28. CASTAÑEDA, Ángel Emilio. *Pedagogía, tecnologías digitales y gestión de la información y el conocimiento en la enseñanza de la Ingeniería Civil*. La Habana: Editorial Félix Varela. 2013. 526 pp.

29. MOLINA, A.T. "Didáctica de la Ingeniería: Fundamentos teóricos y metodológicos". Congreso Internacional de Educación Superior, curso 18. 2014, La Habana.

30. BERMÚDEZ, R. et. al. "Concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje mediado por las TIC en carreras de perfil técnico". XII Congreso Internacional de Educación superior "Universidad 2020", 2020, La Habana.

31. GONZÁLEZ, Norma. "Modelo para la orientación educativa en el proceso de enseñanza aprendizaje del primer y segundo año en carreras de ingeniería". Directores: Raquel Bermúdez Morris e Ibette Alfonso Pérez. Tesis de doctorado. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". La Habana, 2022.

32. VALLE, Alberto. *La investigación pedagógica. Otra Mirada*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 2012. 324 pp.
33. PÉREZ MARTÍN, Lorenzo Miguel. "Sistema de condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje que propician el crecimiento personal de los estudiantes de las especialidades técnicas de la Licenciatura en Educación". Director: Raquel Bermúdez Morris. Tesis de doctorado. Universidad de La Habana. La Habana, 2013.
34. SIERRA SALCEDO, Regla Alicia. "Modelo teórico para el diseño de una estrategia pedagógica en la educación primaria y secundaria básica". Director: Fátima Addine Fernández. Tesis de doctorado. Instituto Superior Pedagógico "Enrique José Varona", La Habana. 2004

**SOBRE LOS AUTORES**

Norma González Ruda. Doctora en Ciencias de la Educación. Licenciada en educación en la especialidad de Psicología y Pedagogía por el Instituto superior Pedagógico Enrique José Varona. Máster en Psicología Educativa por la Universidad de la Habana. Profesora del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Imparte docencia de pregrado y postgrado de Pedagogía, Didáctica, Metodología de la Investigación y en el Curso Aprender a Aprender para estudiantes de nuevo ingreso. Ha desempeñado funciones como tutor y tribunal en Tesis de Grado, Maestría y Doctorado. Ha participado como ponente en eventos y seminarios nacionales e internacionales. Tiene publicaciones en Cuba y en el extranjero. Se desempeña como árbitro de la Revista Referencia Pedagógica de la Universidad Tecnológica de la Habana, Es miembro del Comité Académico de la Maestría "Las tecnologías en los procesos educativos"

Raquel Bermúdez Morris: Doctora en Ciencias Psicológicas; Profesora Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; Investigadora Titular; Coordinadora del Programa de doctorado en Ciencias de la Educación de la Cujae, Jefe del Proyecto Sectorial de investigación, miembro fundador de la Cátedra Vigotsky de la facultad de Psicología de la Universidad de La Habana, miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba y de la directiva de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP) y Presidenta del capítulo Cuba.

Ibette Alfonso Pérez. Doctora en Ciencias Pedagógicas. Licenciada en Psicología y máster en Psicología Social y Comunitaria por la Universidad de La Habana. Profesora del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Imparte docencia de pregrado y postgrado de Pedagogía, Didáctica, Psicología y Comunicación educativa. Ha desempeñado funciones como tutor y tribunal en Tesis de Grado, Especialidad, Maestría y Doctorado. Ha participado como ponente en eventos y seminarios nacionales e internacionales. Tiene publicaciones en Cuba y en el extranjero. Se desempeña como árbitro de la Revista Referencia Pedagógica de la Universidad Tecnológica de la Habana, y la Revista Perspectivas en Psicología de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Es miembro del Comité Técnico del Programa Maestría en Ingeniería Estructural de la Facultad Nacional de Ingeniería de la Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LOS CONTEXTOS EN LAS CARRERAS DE CIENCIAS TÉCNICAS

**Reinaldo Gerardo Elosegui Chappotin[1]. Narmis Pedroso Jimenez[2]**

**[1]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. , [2]Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE**
e- mail: reinaldo.ce@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La presente investigación trata el tema de introducir una clasificación general de los contextos en el que ocurre el proceso de enseñanza- aprendizaje en las carreras de ciencia técnicas, teniendo en cuenta los espacios en que se desarrolla y su influencia en el mismo. Para tal objetivo se han clasificado los contextos en dos grandes grupos; contexto interno y contexto externo. En el contexto interno se incluye el contexto intrínseco de la propia universidad y en el contexto externo: el contexto de la comunidad donde esté enclavada la institución; el contexto empresarial tanto de instituciones estatales como privadas, el contexto familiar, así como el contexto de la situación socioeconómica nacional e internacional. Para lograrlo se efectuó una observación participante del contexto desde una perspectiva humana e integral, resultados que se triangularon con la revisión teórica sobre el tema y su influencia en la educación, estableciendo relaciones con los factores del contexto, tanto endógenos como exógenos.

**PALABRAS CLAVE:** contexto, proceso de enseñanza-aprendizaje, proceso de formación, proceso de enseñanza, externo, interno.

## THE CONTEXTS IN THE CARRERS OF TECHNICAL SCIENCES

**ABSTRACT**

The present investigation processes the theme of introducing one the general classification of the contexts in which happens the process of teaching learning in the races of science technical, in line with the spaces in which he develops and her influence in the same. For such objective the contexts in two magnus groups have classified; Internal context and external context. In the internal context we classify the intrinsic context of the own university and in the external context: The context of the community where is be embedded the university; The entrepreneurial context as much of estate agencies as prívate roads, the familiar context as well as the context of the socioeconomic national and international situation. In order to achieve it took effect a participating observation of the context from a human and comprehensive perspective, given results that they triangulated themselves with the theoretic topical revision and your influence in education, establishing relations with the factors of the context, as much endogenous like exogens.

**KEYWORD:** Context, process of teaching learning, I process of formation, tuitional, external, internal process formation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La acción de contextualizar implica poner en contexto una situación que es recibida de manera aislada y separada de todos aquellos elementos que la rodean y que influyen sobre esa acción. Contextualizar cualquier proceso lleva implícito relacionarlo en un espacio, en un tiempo y en una situación histórica determinada. “Difícilmente puede entenderse la comunicación humana sino no se tiene en cuenta la contextualidad del discurso” [1]. “Es imposible llevar a cabo un análisis de la realidad o de los enunciados sin tener en cuenta el contexto en que se producen, ya que están determinados por factores que se cualifican como contextuales” [2].

La palabra contexto posee varios significados, entre ellos:

- …se deriva del latín contextus, refiriéndose a todo aquello que rodea, ya sea tangible e intangible y desde donde se interpreta o entiende un hecho” [3].

- …la praxis, la realidad o mediación del mundo en el proceso de educación para la libertad desde un enfoque de humanización" [4].
- …conjunto de factores tanto externos, como el medio físico y social donde se inserta la escuela, las características y demandas del ambiente socio-económico de los educandos y sus familias, su radio de influencia y relación con otras instituciones, etc.; las cuales impactan en la escuela y condicionan de alguna manera su gestión y el accionar del plantel docente. Así como variables internas, tales como los recursos, infraestructura edilicia, actores escolares, etc. [5].
- …entorno físico y humano muy próximo al individuo, donde las actividades y los sucesos tienen un significado socio-cultural" [6].
- …es la integración de circunstancias o situaciones físicas o simbólicas que rodean un hecho y que deben ser definidas con el propósito de interpretarlo y comprenderlo" [7].

Como se observa la palabra tiene variadas interpretaciones, de aquí la importancia de dar una clasificación generalizada de los contextos del proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas.

"La formación integral de la personalidad del estudiante es el objetivo principal del proceso de enseñanza-aprendizaje cubano, intentando lograr un equilibrio entre lo cognitivo, lo significativo y lo afectivo-motivacional. La intencionalidad es formar un individuo capaz de interactuar y operar coherentemente desde su situación social de desarrollo, con capacidad de transformar su realidad en beneficio propio y de los demás, ganando en saberes y transformando su cultura"[8].

"El proceso de enseñanza aprendizaje ocurre en diferentes contextos, por lo que debe ser diferenciado el que ocurre en la escuela, la familia o ámbito comunitario" [9].

En las carreras de ciencias técnicas al abordar el contexto del proceso de enseñanza aprendizaje, por lo general lo enmarcan como proceso didáctico que ocurre en las aulas, talleres, laboratorios, etc. Según [10], es «… la relación sistémica de los componentes didácticos hacia una interacción dinámica de manera creadora, reflexiva y crítica de los sujetos con el objeto de aprendizaje y de los sujetos entre sí, que integre acciones dirigidas a la instrucción, al desarrollo y a la educación del estudiante…» [10].Sin embargo, la contextualización de este proceso es más amplia de lo que se supone.

El objetivo de este trabajo es presentar la clasificación de los contextos donde ocurre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

Para el tratamiento de esta investigación se emplearon como métodos teóricos el dialéctico, el histórico-lógico, el sistémico, el estructural-funcional y como métodos empíricos: la observación al proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas y la revisión documental.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contexto del proceso de enseñanza aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas ocurre en dos contextos que pueden ser perfectamente diagnosticados: el contexto interno y el contexto externo. En el contexto interno se encuentra el contexto intrínseco de la propia universidad, mientras que en el contexto externo están: la comunidad donde esté enclavada la universidad; las empresas, estatales como privadas; el entorno familiar, y, por último, la situación socioeconómica nacional e internacional.

En el contexto interno de la propia universidad, el proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas depende tanto de la infraestructura interna que posea la propia universidad (los talleres, los laboratorios, teatros, las aulas, los espacios deportivos y de esparcimiento, los albergues para becarios internos, los comedores, bibliotecas, etc.), como de la calidad del personal docente y no docente que facilita a los alumnos la adquisición de las capacidades cognitivas e investigativas necesarias de la carrera de acuerdo a su currículo y los valores éticos, económicos y patrióticos que la sociedad demanda. Este contexto es sumamente importante,

pues en él transcurre la mayor parte de la vida del estudiante, que no se desliga de los otros contextos, pero que influye y determina el comportamiento transformador del estudiante en el contexto exterior.

En él, "… el proceso de enseñanza relacionado con el aprendizaje agrupa los actos que realiza el profesor con la intención de plantear situaciones que proporcionen a los estudiantes las posibilidades de aprender, mientras que el proceso de aprendizaje es la conjugación de actividades realizadas por los alumnos con el objetivo de encontrar prominentes resultados o cambios de conducta intelectual, afectivo-volitiva y psicomotriz con determinados éxitos" [11].

….. De tal manera que el proceso de enseñanza-aprendizaje en los contextos universitarios en la época contemporánea, está marcado por una tendencia de tránsito hacia una enseñanza-aprendizaje basada en el alumno como centro del proceso y un marcado papel protagónico, concebida desde un enfoque profesionalizante, para atenuar los enfoques tradicionales que aún persisten, relacionados con la enseñanza centrada sobre la tarea del profesor, por lo que potencia un aprendizaje en el que es el propio alumno el que asume la responsabilidad en la organización y desarrollo de su trabajo académico; por ello es necesario acometer cambios en las metodologías, y pasar de aprendizajes conductistas a metodologías que potencien un aprendizaje más desarrollador en los estudiantes, que logre una mejor estimulación de sus procesos lógicos del pensamiento por medio de la construcción de significados y sentidos que le permitan valorar la utilidad del contenido que aprenden en su futura formación profesional" [12].

El contexto externo se complejiza por la concurrencia en élde procesos: comunitarios, empresariales, familiares y de la situación socioeconómica nacional como internacional. Sin embargo, el proceso de formación y aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas en el contexto interno se complementa con los contextos externos debido a que sin ellos el mismo no tendría sentido.

El contexto externo comunitario hoy adolece de la necesaria integración comunidad-universidad, aunque en Cuba están dadas todas las condiciones para que esta se propicie, gracias al Programa de Universalización de la Enseñanza. Pero, generalmente, es más fuerte la relación universidad-empresa que la relación comunidad-universidad. No obstante, desarrollar esta última a través de los órganos locales del poder popular y las universidades es una transformación necesaria en los momentos actuales de nuestra economía, donde el bloqueo impuesto arbitrariamente por Estados Unidos nos impone desarrollarnos por nosotros mismos y las universidades pueden transformar los entornos comunitarios, porque territorialmente gracias a nuestra división político administrativa están dadas las condiciones. En otras palabras, aplicar la ciencia y la innovación a las comunidades mediante la relación comunidad-universidad, es necesario.

Este contexto está unido a la demarcación donde la universidad está enclavada e influye sustancialmente de forma positiva o negativa en el desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas, ya que puede influir sobre el contexto interno. Por ejemplo, si alguna tubería de agua obsoleta de la comunidad obstruyera la misma y por falta de agua durante algunos días los servicios del contexto interno de la universidad se vieran afectados, en cierta medida abría que solucionar la continuidad del proceso de enseñanza aprendizaje, no si con anterioridad entre la facultad de Hidráulica de la universidad y la comunidad hubiese existido un proyecto para lidiar con este problema. De esta manera, ni la universidad ni la comunidad se hubieran visto afectadas y ambas hubieran ganado en la trasformación del medio físico ambiental mediante la acción de los alumnos transformadores que participarían en ese proyecto. Como resultado, se produce un empoderamiento sostenible económicamente para la comunidad y una ganancia cognitiva y ética en los alumnos.

"En Cuba, a pesar de lo antes planteado, la universidad cubana está involucrada en el desarrollo local desde la introducción de esta estrategia en el país en la década de 1990, dado el interés de que la ciencia y las investigaciones científicas estén al alcance de todos y al servicio de la sociedad. El desarrollo local llega a ocupar un importante lugar en la estrategia de desarrollo establecida a partir de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, desde abril de 2011. Existe consenso en que gran parte de los lineamientos se orientan hacia el desarrollo local, considerándolo esencial para el reajuste del modelo económico y social a que aspira la sociedad cubana para el siglo XXI" [13].

…..Oficialmente, en 2006, el Ministerio de Educación Superior de Cuba crea el programa "Gestión Universitaria del Conocimiento y la Innovación para el Desarrollo" (El proyecto GUCID tiene entre sus coordinadores principales, la cátedra "Ciencia, tecnología, sociedad e innovación", adjunta a la Dirección de postgrado de la Universidad de La Habana, con el objetivo de promover el apoyo de la Educación Superior al desarrollo local" [13].

El contexto empresarial de instituciones estatales o privadas se caracteriza por ser orientativo-profesional ya que en él, el alumno orienta su vocación futura empresarial y adquiere las habilidades necesarias para enfrentarlas. En este contexto el proceso de formación y aprendizaje profesional se complementa en dos objetivos generales: objetivos curriculares de la carrera y objetivos específicos de la empresa. Aquí la formación es a través de profesores universitarios y de tutores empresariales que garantizan el aprendizaje en el terreno empresarial. La facilitación del aprendizaje es por lo general, a través de proyectos investigativos de interés para ambas partes (universidad-empresa) mediante contratos que pueden ser onerosos o no.

"Desde el punto de vista ético social el proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas se encuentra con valores fuertemente enraizados en el capital humano empresarial, como son la responsabilidad, el carácter innovador e investigativo, la experticia profesional, la disciplina laboral, etc. Aquí, el proceso de enseñanza-aprendizaje como acto creativo debe enfatizar y dirigirse a la búsqueda de soluciones a los problemas y conflictos que se dan durante el proceso educativo, relacionado con la formación de los profesionales que posteriormente se insertan en el mundo laboral. Sin embargo, no solo se relaciona con la formación inicial, sino que a través de la investigación se afrontan problemáticas referidas al contexto del mundo del trabajo y a los objetivos de la formación permanente de los profesionales formados, ya sea a través de la actualización, la reorientación o la complementación"[14].

"La práctica investigativo-laboral es la forma organizativa de participación activa de los estudiantes, docentes y profesionales de la producción y los servicios, al interactuar entre sí y la comunidad (sociedad) durante la solución de los problemas reales que requieren el uso del método científico–investigativo propio del modo de actuación profesional, motivando el trabajo multidisciplinar y en equipos, y desarrollando la independencia y creatividad" [15].

En este contexto "las unidades docentes son empresas vinculadas a la universidad, que por sus condiciones objetivas y subjetivas, permiten el trabajo conjunto en el desarrollo de los componentes curriculares: académico, laboral–productivo, investigativo y de autopreparación, y de los procesos universitarios de docencia, investigación, extensión, y gestión, que aseguren la formación del profesional de perfil amplio desde el pregrado, el adiestramiento y la especialización, de una o varias carreras, mediante la solución de problemas reales técnico–profesionales de la producción o los servicios"[16].

Así mismo plantea HERRERA [17]:

- "El contenido de aprendizaje es diferenciado para cada estudiante y fundamentalmente extracurricular, responde a las necesidades derivadas de la búsqueda del conocimiento para la solución de un problema de investigación,
- El estudiante logra la apropiación del contenido de forma autoregulada, por medio de sutrabajo investigativo; la fuente del mismo está en la práctica social.
- El método de trabajo se fundamenta en la unión de lo investigativo – productivo.
- El estudiante asume una responsabilidad social en el proceso de aprendizaje, al existiruna expectativa en el impacto de su resultado investigativo.
- Los sujetos que intervienen construyen el proceso a partir de un problema laboral real del perfil profesional; cada componente del mismo se particulariza en un aprendizaje individualizado, de trabajo colectivo y multidisciplinar"

"El contexto familiar es el marco más próximo al estudiante, la familia cobra vital importancia, porque es allí donde aprende a conocerse, explorarse y vivir con él y con el otro. Dentro del contexto familiar existen factores que influyen en las dificultades de aprendizaje de los estudiantes, como la violencia intrafamiliar, descuido y falta de acompañamiento de los padres en el proceso de enseñanza aprendizaje, falta de diálogo entre padres e hijos y carencia de formación en valores. Conocer el contexto familiar que circunda a los estudiantes, ayuda a

promover, espacios de desarrollo y convivencia para el entendimiento de los alumnos que presentan muchas veces problemas en la captación de niveles del contenido en la carrera. Desde esta perspectiva, es necesario profundizar acerca de los aspectos o circunstancias en que se desarrolla el contexto familiar, que influyen decididamente en el rendimiento académico en general y en las dificultades de aprendizaje en particular; las cuales son identificadas como: nivel de estudio de los padres, dificultades de aprendizaje de éstos, nivel socioeconómico, recursos culturales, número de hijos, distancia entre uno y otro hijo, tipo de vivienda, ambiente familiar, nivel de vulnerabilidad, entre otros. Cada uno de estos factores influye directamente en las dificultades de aprendizaje" [18].

"No es lo mismo el abordaje de una dificultad de aprendizaje por parte de unos padres que poseen un nivel de estudio desarrollado, que posean recursos económicos, una vivienda amplia para su núcleo familiar; que, por el contrario, familias que carezcan de estos aspectos, porque van a obstaculizar, limitar y coartar el proceso de desarrollo integral de los estudiantes" [7].

"Al respecto, Timarán, Hernández, Caicedo, Hidalgo y Alvardo, concluyen en su investigación, que el nivel educativo de los padres es uno de los patrones de desempeño académico que influye decididamente en los logros educativos de los estudiantes; la relación es directamente proporcional: a mayor nivel educativo de los padres, mayor es el desempeño académico del estudiante; por su parte, a menor nivel educativo de los padres, es menor el desempeño académico del estudiante" [citado por: 19].

Naturalmente que un contexto familiar golpeado, vulnerado, sin condiciones dignas para la vida que garantice el desarrollo integral de cada uno de sus miembros en general y de los estudiantes en particular, obstaculiza en la praxis esta filosofía; no obstante, la grandeza humana y el papel de la escuela motiva y genera espacios en pro de la vida de los estudiantes y de sus familias.

En síntesis, el primer factor del contexto externo que influye en las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y de esta forma en el proceso de enseñanza aprendizaje, es el contexto familiar; el cual está inmersoen una realidad socioeconómica adversa, por la problemática a que está sometido nuestro país en el contexto socio económico nacional e internacional.

El contexto de la situación socioeconómica nacional como internacional, influye de forma directa e indirecta en el proceso de enseñanza- aprendizaje de ciencias técnicas, su influencia fundamental en nuestro país es económica e ideológica. Nuestro país ha estado sometido durante años a una cruenta guerra económica e ideológica por parte del bloqueo impuesto por los Estados Unidos, lo que no nos ha permitido desarrollarnos al nivel que desearíamos; a pesar de eso nuestro capital humano formado en las universidades tiene altos rendimientos científicos en varias esferas que son competitivas con los países más desarrollados. En la actualidad la situación es sumamente compleja debido a la falta de recursos a la que nos ha sometido el bloqueo norteamericano y la situación internacional durante y después de la pandemia de COVID-19 donde se han encarecido prácticamente todos los productos y nos niegan el acceso a las fuentes científicas más avanzadas. La carencia del petróleo por los obstáculos que el imperio impone a terceros para comerciar con Cuba influye en la transportación de los estudiantes para complementar el proceso de enseñanza y aprendizaje en los diferentes contextos tanto internos como externos, así como los medios de aprendizaje. La alimentación familiar como escolar también se ha visto afectada por la concurrencia en ello de factores objetivos y subjetivos tanto internos como externos de carácter productivo. La guerra ideológica mediática se ha incrementado sobre todo con la publicación de noticias falsas para calar en nuestra juventud y propiciar el abandono universitario mediante la migración o el robo de cerebros.

En este contexto difícil se requiere fomentar en nuestros alumnos valores patrióticos y científicos de solidaridad hacia su propio pueblo y perfeccionar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras científico técnicas con lo que tenemos, haciendo énfasis en el poder transformador de la juventud, para que se apropie de las innovaciones científico- técnicas necesarias para desarrollar nuestro país con bloqueo o sin él.

Pero a pesar de todo lo anterior Cuba no ha paralizado el proceso de formación y aprendizaje de las carreras técnicas de las universidades, que han estado permeadas de problemáticas donde gracias a la revolución y a las ideas previsoras de nuestro comandante Fidel Castro, sectores como la salud lograron producir vacunas contra la

COVID-19, y eso salvó a millones de personas de nuestro pueblo. El sistema televisivo educacional permitió continuar educando a distancia, las conectividades de las redes móviles ayudaron en este proceso. Cuba venció a la COVID-19 gracias a nuestros propios profesionales que pasaron momentos difíciles con bloqueo, pero no abandonaron nuestro país.

Todas estas dificultades del contexto externo, influyen de forma negativa para desarrollarlos niveles deseados del proceso de enseñanza aprendizaje que no solo ocurren en el contexto interno, como tradicionalmente se ha venido aceptando.

"Hoy la pertinencia de la universidad está estrechamente relacionada con la capacidad de adaptación a los contextos sociales y su condicionamiento, por lo cual requiere de una transformación para el logro de la eficacia en correspondencia con los profundos cambios socioculturales y económicos, que imprimen un sello particular a los sistemas educativos" [20].

## 4. CONCLUSIONES

Se identificaron los marcos que componen los contextos internos y externos relacionados con el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas y el impacto que estos tienen en la formación del alumno transformador de su entorno social. Destacando que el proceso de enseñanza aprendizaje no solo transcurre en el contexto interno, sino que se complementa con los contextos externos.

## REFERENCIAS

1.- SALGUERO F. Conferencia: Conceptualización y elaboración del contexto. XXII Congreso de la Asociación de Jóvenes Lingüistas. Sevilla; 2007. Pp 1 https://cfcul.mcmlxxvi.net/textos/CONCEPTUAL[1].
2.- BERBEIRA J. Hacia un estudio léxico-pragmático de la gramaticalización: convencionalización de inferencias y conceptos ad hoc. Cognición y Lenguaje: Estudios en Homenaje a José Luis Guijarro Morales (19-44). Cádiz: U.de Cádiz 2008. pp 19-44. https://www.researchgate.net/publication/233972438,
3.- PÉREZ, J y Gardey, A (2012). Definición de contexto. Disponible en http://definicion.de/contexto/. Citado por: Porras Navarro Marta Eugenia. Relevancia de los principios del enfoque constructivista sociocultural en el aprendizaje de las ciencias. Revista Estudios ISSN: 1659-3316 (48) | junio - noviembre 2024, p108. Disponible en: https://revistas.ucr.ac.cr
4.-FREIRE P. Pedagogía del oprimido. México: Siglo XXI.2005. https://fhcv.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/01/freire-pedagogia-del-oprimido.pdf
5.- CUSEL P., Pechin C. y Alzamora S. Contextos escolares y prácticas docentes. Instituto superior de Bellas Artes. Gral Pico. Disponible en: https://feeye.uncuyo.edu.ar/web/posjornadasinve/
6.-RODRIGO, M. Contexto y desarrollo social. Madrid: Síntesis S. A; 1994. Pp 13 http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/6TA_Rodrigo_Unidad_5.pdf
7.- CARDOZO G. D. Factores del contexto que influyen en las dificultades de aprendizaje Germán Darío 2. Isabel Hernández Arteaga 3. Diana Carolina Vargas Cañizales 4. Adriana Constanza García. Plumilla Educativa. 21 (1) 2018. P 62. https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/plumillaeducativa/article/view/2975/3738
8.- VALDÉS Smarth., D. R. & Carracedo Corona, Y. (2023). El Proceso de Enseñanza Aprendizaje (PEA) de los fundamentos biológicos en la formación del maestro de Nivel Medio Superior. *Revista Conrado, 19(91)*, 558-566.. Disponible en: https://conrado.ucf.edu.cu
9.- ABREU Y., Barrera A. D., Breijo T., Bonilla I. El proceso de enseñanza-aprendizaje de los Estudios Lingüísticos: su impacto en la motivación hacia el estudio de la lengua. Mendive. 2018; 16 (4)(octubre-diciembre): 610-623 Disponible en:http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1462
10.- SILVESTRE M., Zilberstein J., Portela R. Enseñanza y aprendizaje desarrollador. Editorial Pueblo y Educación: La Habana;2000. Citado por Abreu Alvarado, Y., Barrera Jiménez, A,D., Breijo Worosz, T., Bonilla Vichot, I. "El proceso de enseñanza-aprendizaje de los Estudios Lingüísticos: su impacto 2018 en la motivación hacia el estudio de la lengua" p. 610-623 Disponible en: http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1462
11.- MOLINA, A. T. El proceso de enseñanza-aprendizaje en la Educación Superior. Revista Científica, Dominio de la Ciencia. 2019, 5(1) p 396 Especial Noviembre: 394-413. Disponible en: http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index

12.- ARTEAGA Vera, J. C. ., López Reyes, L. B., & Franco Pico, A. G. (2017). Procedimiento de enseñanza – aprendizaje desde un enfoque profesionalizante en los contextos universitarios. D*idáctica y Educación issn 2224-2643*, *8*(4) 2016, 65–76. Recuperado a partir de https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalia/article/view/652
13.- GONZALES G. (2014). La universidad y la formación de agentes transformadores para el desarrollo local sostenible. Teuken Bidikay Nº 05 (Medellín, Colombia) Enero - Diciembre 2014. ISSN 2215-8405. Pp. 229-242 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331168085
14.- SANTOS J. Algunas exigencias didácticas para el proceso de enseñanza aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas. 11no. Congreso Internacional de Educación Superior "Universidad 2018. IV Simposio de Didáctica de las Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Janette-Baranda/publication/326658150
15.- LAZO J. La universidad al servicio de la sociedad. Sucre: Universidad Andina; 1996.
16.- HERRERA J. L. Un modelo del proceso docente-educativo en las unidades docentes para el desarrollo de la práctica investigativo-laboral. (Tesis doctoral). Universidad de Pinar del Río; 2003.Disponible en: https://rc.upr.edu.cu/handle/DICT/363
17.- HERRERA J. L. La didáctica del proceso docente para el desarrollo de la práctica laboral en las empresas. Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación. 2004; 4(2) julio-diciembre p.0: Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/447/44740210
18.- ROBLEDO P., García J. (2009). El entorno familiar y su influencia en el rendimiento académico con los alumnos con dificultades de aprendizaje: revisión de estudios empíricos. Aula Abierta. 2009; 37(1): pp117-128. UCE universidad de Oviedo. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3000179
19.- TIMARÁN S., Hernández I., Caicedo S., Hidalgo, A., Alvarado J. (2015). Descubrimiento de patrones de desempeño académico en las competencias genéricas de las pruebas saber pro. Con árboles de decisión. Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. Disponible en: http://dx.doi.org/10.16925/9789587600490
20.- SOSPEDRA Martín, D. R. (2018). La formación docente universitaria en Cuba: Sus fundamentos desde una perspectiva desarrolladora del aprendizaje y la enseñanza. *Estudios Pedagógicos*, *41*(1), pp 337–349. Disponible en: https://doi.org/10.4067/S0718-07052015000100020

## SOBRE LOS AUTORES

**Reinaldo Gerardo Elosegui Chappotin[1] . Vicedecano de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Máster en Ciencias. Profesor asistente. reinaldo.ce@tele.cujae.edu.cu. https://orcid.org/0009-0009-4503-0506**

**Narmis Pedroso Jimenez[2] .Vicedecana de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Máster en Ciencias. Profesora Instructora. narmis@tele.cujae.edu.cu . https://orcid.org/0009-0007-5550-8003**

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA IMPORTANCIA DE LAS TIC EN LA FORMACIÓN DE LOS ARQUITECTOS PARA EL DISEÑO

**Enrique Irene Baluja Flores[1], Marta María Rubio Tamayo[2], Olivia Diago Diaz[3], Ernesto Alejandro Estrada Parrón[4].**

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa.

balujaenrique@gmail.com[1]; baluja@geidos.cu[1]; martamaria.rt@gmail.com[2];marta@geidos.cu[2]; oliviadiago29@gmail.com[3];olivia@geidos.cu[3]; alestrada940926@gmail.com[4]; ernesto.estrada@geidos.cu[4]

## RESUMEN

Este trabajo aborda la importancia que presenta el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, dentro de la formación de los arquitectos para el diseño. Se expone esta experiencia dentro del proceso de enseñanza aprendizaje a través de la inserción de estudiantes de arquitectura en entidades dedicadas a la actividad de diseño.

Esta experiencia ha sido llevada a cabo en dos cursos sucesivos con estudiantes del último año de la carrera (del Plan D y E sucesivamente); en ambos casos se ha desarrollado un trabajo de colaboración entre la Facultad de Arquitectura de la Universidad Tecnológica de La Habana y la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS, que ha permitido que estos estudiantes se inserten en objetivos de diseño de interés de la Zona Especial de Desarrollo Mariel, (ZED Mariel).

Estos estudiantes han tenido la posibilidad de hacer uso de programas de diseño y equipamiento de avanzada tecnología que son utilizados dentro de esta profesión de arquitectura para la actividad de diseño, y a la vez han podido contar con asesoría de personal especializado en esta actividad. Este vínculo ha sido una oportunidad que ha favorecido notablemente los resultados de estos estudiantes en ambos cursos, ya que ha permitido un magnífico desarrollo de las habilidades en el uso de estas tecnologías, lo que ha influido notablemente en la calidad de sus resultados en ambas oportunidades.

**PALABRAS CLAVE:** Proceso de Enseñanza Aprendizaje, Uso de las TIC, Diseño Arquitectónico, Formación Profesional.

## THE IMPORTNCE OF ICT IN THE TRAINING OF ARCHITECTS FOR DESIGN

## ABSTRACT

This work addresses the importance of the use of information and communication technologies within the training of architects for design. This experience is exposed within the teaching-learning process through the insertion of architecture students in entities dedicated to design activity. This experience has been carried out in two successive courses with students from the Faculty of Architecture in the last year of their degree program D and E successively, in both cases a collaborative work has been developed between the Faculty of Architecture of the Technological University of Habana and the Mariel Architecture and Engineering Project Company that has allowed these students to be inserted into design objectives of interest in the Mariel Special Development Zone, (Mariel SDZ).

These students have had the opportunity to make use of design programs and advanced technology equipment that are used within this architecture profession for the design activity and at the same time have been able to count on the advice of personnel specialized in this activity. This link has been an opportunity that it has notably favored the results of these students in both courses since it has allowed a magnificent development of skills in tie use of these technologies, which has significantly influenced the quality of their results on both occasions.

**KEY WORDS:** Teaching-Learning Process, Use of ICT, Architectural Design, Professional Training,

## 1. INRODUCCIÓN

La formación profesional en Cuba es de un amplio perfil, y esto incluye las carreras técnicas y entre ellas la de arquitectura. Dentro de esa formación integral, los arquitectos requieren una formación específica en el campo del diseño urbano y arquitectónico, actividad fundamental dentro de esta carrera. Se requiere en este sentido la formación dentro de los años de estudio de habilidades en el diseño, las que están muy ligadas al uso las nuevas tecnologías.

En la actualidad es imprescindible para un profesional el conocimiento de las tecnologías de la información y la comunicación, ya que son las que permiten en su conjunto el acceso, producción, tratamiento y comunicación de la información. Esta información se presenta en diferentes códigos, ya sea de sonido, de imagen, de texto, u otras. En la actualidad los dos elementos más representativos de las nuevas tecnologías son el ordenador, (recursos informáticos) y la Internet, (recursos telemáticos), que son los elementos que facilitan y reducen hoy los tiempos de trabajo en las distintas actividades y profesiones, entre ellas la arquitectura. Los recursos informáticos con su base en el ordenador, están conformados por el hardware, software, las redes e incluso la experiencia humana, y son los que permiten el procesamiento y tratamiento de la información. Mientras que los recursos telemáticos, que ofrece Internet, permiten el acceso a la información y la comunicación. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación ofrecen numerosos programas dedicados a la producción de la información y que están diseñados para el uso en el ordenador de forma –of line-. Estos programas utilizan la información proveniente de las redes, pero su ejecución depende directamente de las posibilidades y características del ordenador. [1].

El lenguaje dentro del campo del diseño y dentro de la arquitectura es eminentemente gráfico, y esta expresión gráfica puede ser de forma bidimensional o tridimensional. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación ofrecen software creados para ser utilizados en el campo del diseño. Son programas que permiten la representación en varias dimensiones, con posibilidades ilimitadas de creación y muy buena calidad en la representación de lo creado. Estos programas dedicados al diseño, por su complejidad requieren de muchas prestaciones en los ordenadores para un óptimo funcionamiento.

De acuerdo a esto, alcanzar los mejores resultados dentro del diseño arquitectónico requiere de dos factores: el conocimiento avanzado de los programas, que atañe a la formación profesional y el disponer de equipos con altas prestaciones que permitan su funcionamiento que depende de otros factores. Seguir esta velocidad en la transformación de las tecnologías puede resultar difícil para las universidades, ya que requiere contar con el equipamiento avanzado, a la vez que los profesores requieren dominar los softwares que pueden transformarse y actualizarse a una velocidad que por lo general supera los cambios de los planes de estudios universitarios.

## 2. DESARROLLO

**Las TIC en el diseño y su influencia en los cambios de los procesos de creación en arquitectura que alcanza formación profesional de los estudiantes.**

Los constantes y dinámicos cambios de las tecnologías de la información y la comunicación, han dado lugar a cambios en la forma de enfrentar la arquitectura. Por mucho tiempo, la representación tridimensional de la arquitectura se encontraba básicamente en la imaginación del diseñador, y en la capacidad que tuviera para representar estas imágenes de forma tradicional mediante dibujos en perspectiva. Se trabajaba mucha documentación de forma bidimensional para el uso de la actividad constructiva y algunas representaciones tridimensionales que permitieran dar idea del modelo.

En los años 90 se popularizan internacionalmente los programas destinados al diseño asistido por computadoras, CAD para PC, (CAD del inglés Computer-Aided-Design), que fueron software diseñados para el dibujo en 2D y 3D y que continuaron evolucionando hasta la actualidad en que existen aplicaciones para su uso en dispositivos móviles. Ya para el 2000 surge el REVIT, (cuyo nombre obedece a una abreviatura de “revisar instantáneamente”). Creado con nuevos objetivos, constituye un software para el BIM por lo que cuenta con herramientas que permiten crear modelos 3D inteligentes, que posteriormente se pueda hacer uso de ellos en las distintas etapas de la construcción y de la obra.

Estos programas, CAD y REVIT han ido transformando totalmente la forma de trabajo dentro del diseño. Se utilizan conjuntamente con otros programas que complementan diferentes objetivos de representación, como son el SketchUp, surgido en el 2000 que es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras. Es muy utilizado por la calidad que se alcanza en el uso de diferentes materiales y en la incorporación de mobiliario. Otro de mucha utilización en la actualidad es LUMION, ya que permite convertir los diseños 3D/ CAD en renders o imágenes muy realistas, con vistas panorámicas y la obtención de videos con imágenes en movimiento en que se aprecia el modelo en 360º

El CAD y el REVIT son compatibles. Permiten la creación, modificación, análisis y optimización del diseño. Con ellos se logran maquetas digitales de los objetivos diseñados, con representaciones en 2D y 3D de alta calidad. El proceso de diseño en la actualidad está altamente ligado al uso de software que permitan trabajar desde las primeras etapas de forma tridimensional. Esta nueva forma de trabajo contribuye a mejorar la calidad del diseño, a la vez que, acelera el proceso de trabajo mejorando la productividad de los diseñadores. También la calidad de las imágenes logradas resulta óptima, se acercan la nueva realidad permitiendo visualizar la transformación de los escenarios futuros, con los nuevos edificios y los entornos que han sido creados por los autores.

Esta transformación de los procesos de trabajo ha ocurrido en pocos años. Por citar un ejemplo, hace solamente quince años, los estudiantes de la Facultad de Arquitectura de la CUJAE, transitaban por la mayoría de las asignaturas de diseño, sin hacer total uso de las herramientas informáticas que brindan las TIC, y desarrollaban el diseño combinando la forma tradicional y la representación bidimensional permitida por algunos programas CAD de esos años, aunque utilizando los programas 3D y otros de representación, para finalmente presentar el modelo, como resultado de su diseño, pero este uso de las TIC no formaba parte del proceso de diseño en la generalidad de los casos. Algo similar sucedía en las entidades de proyecto, en las que se hacía uso combinado de herramientas tradicionales y algunos de los programas CAD, para representación bidimensional.

En la actualidad la mayoría de las entidades de proyecto cuentan con estas herramientas de diseño que brinda CAD Y REVIT, y otras que los complementan para la presentación de los trabajos. El dinámico desarrollo de las TIC y el perfeccionamiento de las herramientas de diseño permiten diseñar desde el principio de forma tridimensional y visualizar en tiempo real los resultados de lo que se va diseñando. Esta transformación de las formas de trabajo en proyectos, alcanza a todos los que intervienen en la creación de la arquitectura, participando de esto también los ingenieros. El uso de estos programas, unido al uso de las redes, permiten la comunicación necesaria para intercambiar criterios de diseño e interactuar con el modelo entre especialidades durante la etapa de diseño, a la vez que aporta beneficios posteriores para la etapa de ejecución y el ciclo de vida de la edificación, lo que constituye un nuevo enfoque en la actividad del diseño vinculada al BIM.

La demanda de cambio hacia las nuevas formas de trabajo en Arquitectura con el uso de las TIC constituye una verdadera necesidad. En el ámbito de las entidades de producción y servicios como son las de proyecto, la nueva incorporación de tecnologías forma parte de una necesidad permanente, con vistas a garantizar la mayor calidad en los proyectos que se ofrecen a los clientes. En este sentido tanto el equipamiento como el conocimiento de los especialistas, requieren de una constante actualización, por lo que se destinan recursos en esta dirección. Paralelamente, el uso de estos programas y sus resultados, ha ido creando unas expectativas altamente exigentes en los receptores y clientes, haciendo imprescindible la presentación de maquetas digitales de una alta calidad que permitan comprender las propuestas de diseño.

La formación de los estudiantes universitarios, tiene necesariamente que seguir este camino. Sin embargo, en ocasiones se enfrentan las instituciones a una contradicción entre la necesidad de formación y la no posibilidad de contar con las más avanzadas tecnología, [2], lo cual se presenta en diversas universidades en el marco internacional. Paralelamente el contexto universitario plantea exigencias entre las que están, el intercambio con otras entidades académicas internacionales, la participación de los estudiantes en concursos de otros centros universitarios o en cursos de intercambio, y el vínculo con entidades de la producción en que se insertan para las prácticas y los trabajos de diploma. Todo esto va marcando la necesidad de asimilar las nuevas tecnologías, a pesar de las limitaciones reales que puedan existir en algunos centros.

Estas dos caras de la cuestión arquitectura-tecnología, es una razón a favor del vínculo entre la academia y los centros de producción, expresado en lo que actualmente define como vínculo Universidad-Empresa, que favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje, poniendo a disposición de los alumnos equipamiento y personal especializado, que contribuyen a un mejor desarrollo de sus habilidades en el uso de avanzadas herramientas brindadas por las TIC.

Existen autores que, en relación con el aprendizaje de las TIC, plantean la existencia de tres factores fundamentales: Las habilidades del docente, los contenidos que se desarrollan, y las TIC aplicadas con criterios pedagógicos, [3] a la vez que plantea la existencia de un aprendizaje en varias dimensiones, en las que tiene en cuenta la enseñanza, la práctica y la solución de problemas. Resulta evidente la importancia de la combinación en el aprendizaje de las TIC de estas tres dimensiones, la enseñanza vinculada a los contenidos necesarios que deben incorporar los estudiantes en su conocimiento, unido a la práctica necesaria, a la vez que aplicar estos contenidos en la solución de problemas, que les permita fijar los conocimientos.

La experiencia realizada dentro del grupo de la ZED Mariel, entre en el campo de la solución de problemas. Las asignaturas dedicadas al diseño en arquitectura, no son las encargadas de la enseñanza de las TIC, sino las que aplican las TIC de forma práctica. En ellas se realizan los proyectos a partir de la forma de aprendizaje basado en problemas (ABP) [4], y el estudiante deberá resolver mediante un diseño arquitectónico el problema planteado y la solución del problema tendrá varias etapas de trabajo: el estudio inicial y desarrollo de conceptos con planteamientos teóricos de posibles soluciones constituido en un programa, a partir del cual se inicia la etapa de diseño. Todo el trabajo a realizar tiene un alto uso de las TIC, que se inicia en la búsqueda de información con un alto uso de las redes. Ya en la etapa de diseño en que se desarrolla la solución al problema, harán uso de los programas que le permitan llegar a soluciones y representaciones de la mejor calidad que sean capaces de alcanzar. En todo este proceso el dominio de las TIC resulta fundamental, y será lo que le permita expresar de forma gráfica las propuestas de diseño. Sin embargo, por diversas razones, no todos llegan a estas asignaturas con los mismos niveles de conocimientos y habilidades, a la vez que en muchas ocasiones no cuentan con equipos propios que les permitan desarrollar todos los programas que necesitan para alcanzar buenos resultados en sus trabajos.

Lamentablemente un mal dominio del uso de las TIC, o la imposibilidad de utilizar estos programas por el estudiante por no contar con los equipos necesarios, traerá por resultado una baja calidad gráfica en las soluciones obtenidas, lo que puede afectar sus resultados toda vez que no se cumpla con los niveles de calidad requeridos.

La arquitectura dada su naturaleza transformadora favorece el desarrollo de un aprendizaje transformador, [5], en que actualmente las TIC constituyen un eslabón fundamental. En esta forma de aprendizaje, el estudiante se transforma, avanza en el conocimiento y se desarrolla profesional y personalmente. Mediante el uso de estos programas aplicados al diseño, soluciona problemas con los que transforma el entorno y desarrolla nuevos escenarios, de modo que además de tener un crecimiento personal, también con su ejercicio profesional transforma el entorno. Son las TIC en arquitectura una herramienta que permite la transformación, en forma digital, de los escenarios futuros y en este ejercicio profesional que resulta ser un ejercicio complejo, los estudiantes también crecen profesional y personalmente.

La inserción de estudiantes en objetivos de alta pertinencia social y la vinculación con entidades de la producción y los servicios juegan un importante papel en el desarrollo profesional de los futuros arquitectos, a la vez que promueve desde distintas aristas el dominio de las TIC. Dos cursos de atención a estudiantes, desarrollados durante los años 2023 y 2024, arrojaron una serie de experiencias en esta dirección.

**Experiencia desarrollada entre 2023 y 2024**

Los cursos anteriores al 2023 que se vinculares a objetivos de la ZED Mariel, lo hicieron en etapa de pandemia, con muchas actividades online, lo que no facilitó que se concretara en esas etapas la asistencia a la entidad empresarial.

En algunos de esos cursos existieron estudiantes cuyo dominio de las TIC no alcanzó los niveles necesarios, y a pesar de que en el ámbito de la arquitectura habían solucionado de forma adecuada los problemas enunciados, no siempre logró una expresión gráfica de alta calidad.

Durante el curso 2023 fue atendido un grupo de cinco estudiantes, que estuvieron inmersos en cuatro problemas de diseño. Se incorporaron desde la asignatura de diseño de primer semestre, y contaron con la posibilidad de utilizar los medios informáticos de la entidad de proyecto para el desarrollo de sus trabajos. Pudieron contar con la asesoría de tutores y especialistas que facilitaron la incorporación de nuevos conocimientos, uso de nuevos programas y mejoraron las habilidades en el uso de los que ya conocían.

Para llegar a resultados debieron desarrollar también la auto preparación y hacer uso de las redes que les permitiera completar el dominio de los programas. La actividad de diseño se caracteriza por ser un proceso iterativo, que requiere de repetición una y otra vez de los diseños para mejorarlos. De esta forma el aprendizaje en el uso de las TIC y la formación de habilidades relacionadas con estas obedeció a la repetición de acciones, en las distintas variantes de diseño que debieron solucionar. Dentro del proceso de aprendizaje, se incorporó en los objetivos que los estudiantes utilizaran el Paquete de Microsoft Office, que en muchas ocasiones no dominaban, como en el caso del Word y el Power Point para las presentaciones y defensas parciales. Se orientaron tareas con exigencia obligatoria de varios de estos programas, que lograron ir dominando mediante la realización de las distintas tareas, y actividades de presentación y defensa.

Según la etapa, recibieron clases en las aulas universitarias o fueron recibidos en la entidad de proyecto. Las actividades todas se realizaron de forma colectiva, y se combinaba la atención colectiva con la atención individual. Tuvieron numerosas clases prácticas y seminarios, en los que eran revisados por profesores o tutores tanto en las primeras asignaturas como durante la etapa de Tesis. En cada consulta recibieron señalamientos a deficiencias y aspectos a mejorar sus diseños, que los obligaba a repetir una y otra vez el ejercicio en el uso de las TIC. Esto se repitió, durante todo el curso, con mucha mayor exigencia en la etapa de Tesis en cuanto a los contenidos y alcance de la documentación. En el avance del curso se pudo apreciar el mejoramiento de la calidad de los diseños y de las imágenes, ya que de forma paralela se lograba mejorar el conocimiento de diseño junto al dominio de las herramientas utilizadas. Entre los programas utilizados estuvieron AutoCAD y REVIT, unidos a programas como el Sketch Up, llegando algunos a hacer uso del Lumion y presentar videos para la defensa de su Trabajo de Diploma. Este curso 2023 permitió un trabajo paulatino con los estudiantes, tanto en el conocimiento de las etapas de diseño, como en el uso de las herramientas TIC. Un factor importante, fue que se pudo trabajar en los dos semestres en asignaturas integradas en las que en cada una se aplicaron herramientas TIC con buenos resultados. Los estudiantes demostraron sus capacidades de aprendizaje y mediante el uso de la práctica lograron dominar las TIC en la medida necesaria. Esto les permitió alcanzar los buenos resultados esperados en las distintas asignaturas, con calificaciones de excelente en la defensa final de sus Trabajos de Diploma, en los que presentaron todos los gráficos de sus diseños con muy alta calidad.

Para el curso 2024 se inicia el trabajo con estudiantes del Plan E. Se incorporaron cuatro estudiantes, en tres temas de tesis. Se contó con un solo semestre cuyo objetivo fue la elaboración de la Tesis de Diploma. En lo que refiere a las TIC varias estudiantes no conocían el uso de programas CAD, ya que no estuvo incorporado en el plan de estudios, siendo sustituido totalmente por el REVIT en el que aun requerían desarrollar habilidades. Algunas estudiantes tenían un limitado conocimiento y habilidades de Microsoft Office y en la generalidad de los casos tenían limitaciones en el uso de programas más avanzados y en la obtención de buenas imágenes (renders) debido a las características de sus ordenadores.
En estas nuevas condiciones, se desarrolló una etapa inicial de orientación, que les permitiera organizar mejor su trabajo durante el curso. Los estudiantes acudieron a clases y consultas a la universidad y a la entidad de proyecto, de acuerdo al objetivo que tuviera la actividad. Como parte de las medidas para una mejor atención, se incrementó a tres la cantidad de especialistas que fungieron como tutores o cotutores para la revisión y asesoría a cada estudiante, lo que fue superior al curso anterior.
A continuación, se presentan imágenes de maquetas digitales y documento de tesis y planos en distintas etapas de trabajo en que se aprecia el uso de las TIC. Además de presentan fotos de estudiantes durante días de trabajo en la empresa y durante la defensa. (Fig. 1 a la 13)



Fig. 1- Maqueta Digital, Imagen tridimensional. Ideas Preliminares, Centro Cultural. Tesis 2024. Etapa de trabajo en el diseño de la propuesta.





Fig.2 y 3 - Maqueta Digital, Ideas Preliminares, Centro Cultural. Tesis 2024. Imágenes finales de la propuesta

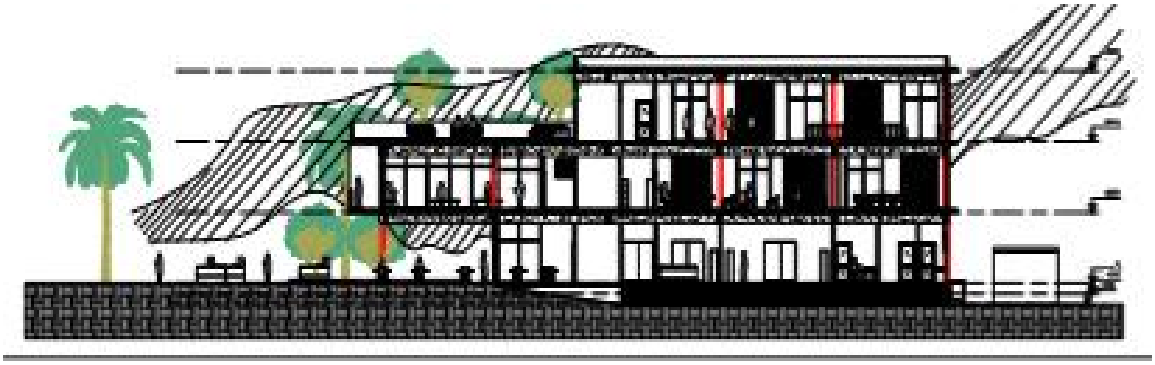


Fig. 4- Dibujo bidimensional. Corte. Ideas Preliminares, Centro Cultural. Tesis 2024. Planos finales de la propuesta.

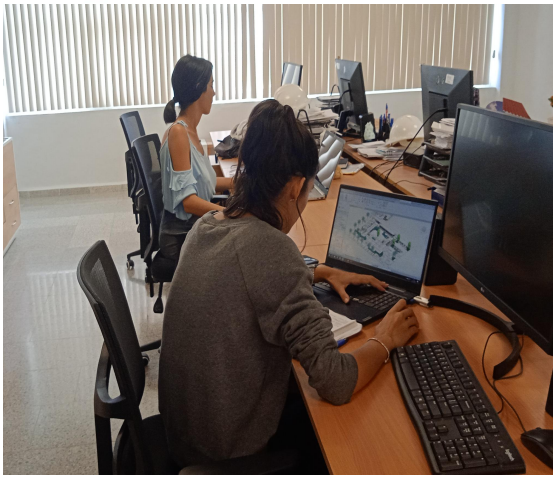


Fig. 5- Diplomantes del Centro Cultural desarrollando sus diseños.




Fig. 6- Caratula. Imágenes tridimensionales de las dos propuestas de diseño. Curso 2024.




Fig. 7- Búsqueda de repertorio de otros proyectos y obras en las redes.

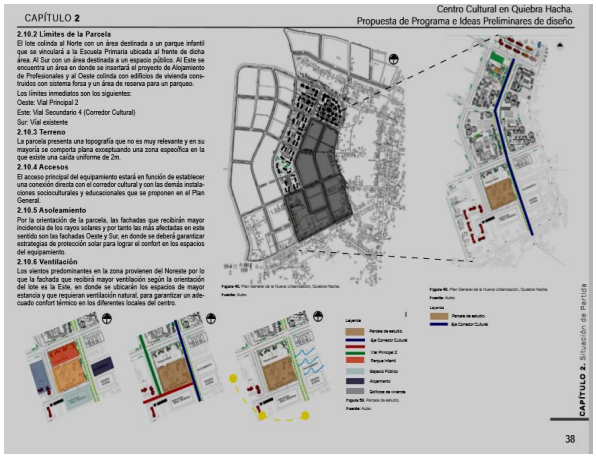



Fig. 8- Caracterización del sitio de estudio. Imágenes bidimensionales en planta.

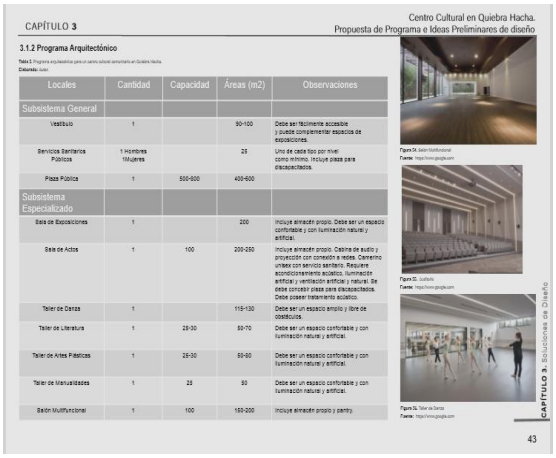



Fig. 9- Propuesta del Programa, imágenes de espacios interiores en la edificación.

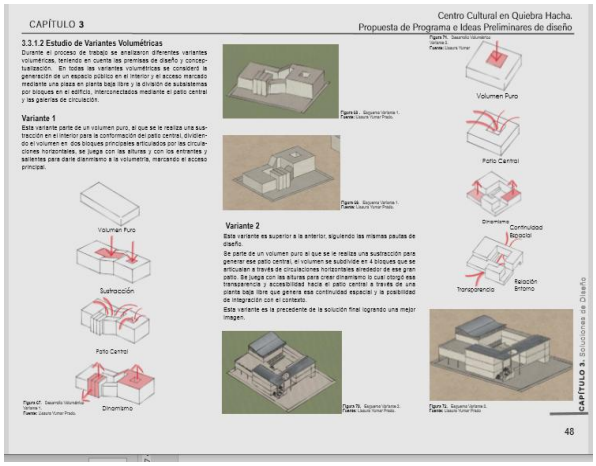



Fig. 10- Conceptualización del modelo. Análisis tridimensional de variantes.

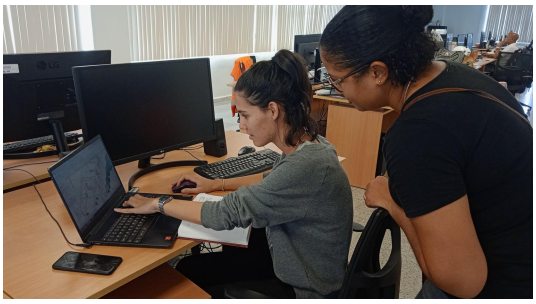
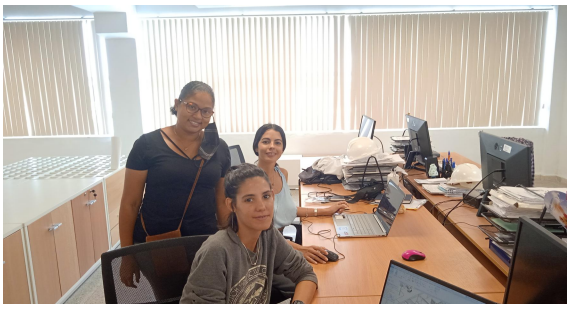



Fig. 11 y 12 Diplomantes con una de las tutoras, en un día de trabajo en la etapa final de ajustes al modelo, en la entidad GEIDOS, Mariel. Curso 2024



Fig. 13 Diplomante del curso 2023 durante la defensa de su variante de Hotel de 120 habitaciones en El Salado. Presenta el modelo en su expresión final. Abajo impresas partes de la tesis, de una segunda variante desarrollada por otro Diplomante.

Dentro de este curso 2024, la asistencia a la empresa se efectuó en la etapa de investigación inicial y más adelante para la etapa de diseño, en que los estudiantes acudieron a consultas con mucho interés. En estas consultas podían contar con la asesoría de tutores y especialistas, a la vez que esto les permitía hacer uso del equipamiento de la entidad y continuar profundizando en el conocimiento y desarrollo de habilidades en las TIC.

Para la etapa final, se fortalecieron las consultas dirigidas al uso de las herramientas de diseño TIC, siendo esta una etapa definitoria, en la que el uso adecuado de las TIC tiene una directa influencia en la calidad de los resultados. A pesar de las diferencias existentes con el curso anterior en cuanto al tiempo de atención, se logró que los estudiantes llegaron a soluciones de diseño y representación de muy buena calidad, y lograron desarrollar un excelente acto de defensa, por lo que todos obtuvieron la máxima calificación. Este resultado permite palpar la importancia que el ejercicio práctico desarrollado con gran intensidad en esos meses, que fue lo que favoreció el aprendizaje en general y en especial el desarrollo de habilidades en el uso de las TIC. Ver imágenes de una de las propuestas, fig. 1 y 2.

Ambos cursos aportaron experiencias en el proceso de enseñanza aprendizaje de las asignaturas de diseño y en las formas de alcanzar habilidades en los estudiantes en el uso de los programas avanzados que requiere esta actividad.

## 3. CONCLUSIONES

Dentro de la formación de amplio perfil en arquitectura, las TIC juegan un papel fundamental debido a su importante aplicación dentro del diseño, que constituye el eje de la profesión.

Los avances en el campo de la tecnología han dado lugar a cambios en la forma de desarrollar el diseño en arquitectura, que está totalmente ligado al uso de las TIC, por lo que el uso de estas herramientas tiene una importancia vital para la formación de profesionales competentes e integrales en esta profesión.

En el aprendizaje de las TIC tiene un alto valor la actividad práctica y dentro de ellos la aplicación de las TIC en la solución de los problemas de la arquitectura, de modo que durante toda la carrera los estudiantes hacen uso de las herramientas de las TIC de forma repetida dentro del proceso iterativo del diseño, siendo este el modo en que logran adquirir estas habilidades profesionales.

La vinculación de los estudiantes a entidades de la producción, brinda la posibilidad de atender problemas de la realidad, de contar con especialistas de experiencia en diseño, y de familiarizarse con equipamiento y tecnologías avanzadas, todo lo que favorece tanto el aprendizaje en el ámbito del diseño como en el uso de las TIC.

Los dos cursos 2023 y 2024, a pesar de sus diferencias, lograron demostrar que se alcanzó un buen desempeño en el uso de las TIC en todos los estudiantes que paulatinamente fueron desarrollando habilidades durante todo el curso. Que entre los factores determinantes en este aprendizaje jugó un papel fundamental la aplicación práctica desarrollada en la solución de los problemas planteados. Además, contaron con personal que los asesorara durante todo el proceso. Los buenos resultados en el uso de las TIC permitieron los excelentes resultados en todos los estudiantes de ambos cursos.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean reconocer y agradecer la colaboración de todos los estudiantes de los cursos 2022-2023 y 2023-2024 que han participado en la elaboración de proyectos destinados a la ZED Mariel. Todos ellos han mostrado verdadero interés y entusiasmo en participar de esta labor, a pesar de las condiciones a veces difíciles y complejas en que vieron inmerso estos cursos, con verdaderas dificultades para poder acceder a la ZED Mariel lo que constituyó un reto para todos. También es necesario reconocer y agradecer la participación de los especialistas que brindaron su aporte a todas las actividades realizadas. A todos los tutores, a los asesores tanto arquitectos, como ingenieros y técnicos, a los oponentes y al personal de la empresa que desde distintos puestos colaboraron con la atención a los estudiantes y favorecieron este proceso. El trabajo desarrollado tuvo en ambos casos muy buenos resultados, y en estos resultados ha estado el esfuerzo de todos y cada uno de los que se sumaron a esta importante labor.

**REFERENCIAS**

1. BELLOCH ORTÍ, Consuelo, Las Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad Tecnológica Educativa, Universidad de Valencia, www.uv.es>pdf>pwtic1

2. MARTÍNEZ GARCÍA, César, CASTRO ESCALANTE, Christian, ROCHA ÁLVAREZ, Delma Esther, NIETO MENDOZA, Isaac. (2020) "Uso de las TIC en Arquitectura: experiencia de un programa tecnólogo de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia" MODULO ARQUITECTURA CUC, 2020, vol. 25, pp.67-84: DOI: 10.17981/mod.aeq.cuc.25.1.2020.03 Disponible en https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/3057/2902

3. ARRAIGA DELGADO, Walter; BAUTISTA GONZALEZ, Judith Karim; MONTENEGRO CAMACHO, Luis. Las TIC y su apoyo en la educación universitaria en tiempos de pandemia: Una fundamentación facto-teórica. Conrado. Cienfuegos, v. 17, n. 78, pp. 201-206, feb. 2021

4. ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. "El aprendizaje basado en problemas, un reto a la enseñanza superior". *Conrado* [online]. 2021, vol.17, n.80, pp.298-303. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php

5. ALBARRÁN-PÉREZ, Daniela F y MILLÁN-HERNÁNDEZ, Manuel. Aprendizaje transformador: oportunidad de la pandemia. *FEM* [online]. 2021, vol.24, n.4, pp. 219-220. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php

**Sobre los autores:**

**Primer Autor:** MSc. Arq. Enrique Irene Baluja Flores
Categoría Científica Master
Filiación y responsabilidades: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. SE desempeña como Director de Operaciones de GEIDOS.
Membresías en Organizaciones: Miembro de la UNAICC
e-mail: balujaenrique@gmail.com; baluja@geidos.cu

**Segundo Autor:** MSc. Arq. Marta María Rubio Tamayo
Categoría Docente: Asistente / Categoría Científica Master
Filiación y responsabilidades:
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Especialista principal de Arquitectura.
Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Profesora Asistente de la Facultad de Arquitectura, en atención a Talleres del último año (5to plan D y 4to extendido plan E).
Membresías en Organizaciones: Miembro de la UNAICC
e-mail: martamaria.rt@gmail.com; marta@geidos.cu

**Tercer Autor:** Arq. Olivia Diago Díaz
Filiación y responsabilidades:
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Se desempeña como Proyectista General.
Membresías en Organizaciones: Miembro de la UNAICC
e-mail: oliviadiago29@gmail.com; olivia@geidos.cu

**Cuarto Autor:** Arq. Ernesto Alejandro Estrada Parrón
Filiación y responsabilidades: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa. Se desempeña como Especialista de Proyectos.
Membresías en Organizaciones: Miembro de la UNAICC
e-mail: alestrada940926@gmail.com; ernesto.estrada@geidos.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL

**Dr. C. Raquel Bermúdez Morris[1], Dr. C. Lorenzo Miguel Pérez Martín[2], Dr. C. Norma González Ruda [3], Dr. C. Misleidy Arzuaga Ramírez[4]**

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, Calle 114 y Ciclovía, Marianao, La Habana [1, 2, 3], Universidad Agraria de la Habana[4]

e-mail: rbmorris@tesla.cujae.edu.cu[1] lmartin@tesla.cujae.edu.cu [2] nruda@tesla.cujae.edu.cu[3] misleidisa@unah.edu.cu[4]

## RESUMEN

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas y las políticas del Estado y del Ministerio de Educación Superior de Cuba exigen a las universidades participar, de modo conjunto con los actores sociales, en la transformación de las comunidades, desde la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación, para contribuir a la construcción de una sociedad más justa y equitativa y a la sostenibilidad de las transformaciones. Para lograrlo, se requiere un cambio en las concepciones, modelos, estrategias y metodologías de la formación de los profesionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje y en los modos de llevar a cabo la integración de la universidad con las empresas y la comunidad. El objetivo de esta ponencia es presentar las características esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas para propiciar la formación de estudiantes innovadores y transformadores del entorno físico y social y de sí mismos, las que constituyen resultado de un proyecto de investigación asociado a Programa Sectorial. Se identifican cuatro características esenciales de esta variable: cooperación entre educadores y estudiantes, facilitación de la apropiación de los contenidos de la profesión, exigencias del modelo del profesional e integración de las tecnologías digitales al proceso; y se presenta, además, su operacionalización, que incluye las dimensiones, subdimensiones e indicadores que permiten la elaboración de los instrumentos para constatar el estado inicial en que se encuentra esta variable, y los cambios que ocurren en ella , a partir de la aplicación de un nuevo modelo.

**PALABRAS CLAVES:** proceso de enseñanza-aprendizaje de ciencias técnicas, estudiantes innovadores y transformadores, transformación del entorno físico y social, formación profesional.

## CHARACTERISTICS OF THE TEACHING-LEARNING PROCESS TO SOCIAL TRANSFORMATION

## ABSTRACT

The 2030 Agenda of the United Nations and the policies of the State and the Ministry of Higher Education of Cuba require universities to participate, together with social actors, in the transformation of communities through the application of science, technology, and innovation, in order to contribute to the building of a more just and equitable society and the sustainability of transformations. To achieve this, a change in the conceptions, models, strategies, and methodologies of professional training in the teaching-learning process is required, as well as in the ways universities integrate with companies and the community. The objective of this study is to introduce the essential characteristics of the teaching-learning process in technical science careers, to promote the training of students as innovators and transformers of their physical and social environment, as well as of themselves, which is the result of a research project associated with a Sectoral Program. Four essential characteristics of this variable are identified: cooperation between educators and students, facilitation of the appropriation of professional content, demands of the professional model, and integration of digital technologies into the process. Additionally, its operationalization is presented, which includes the dimensions, sub-dimensions, and indicators that allow for the development of instruments to verify the initial state of this variable and the changes that occur in it as a result of the application of a new model.

**KEYWORDS**: Teaching-learning process of technical sciences, Innovative and transformative students, Transformation of the physical and social environment, Professional training.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas, exige a la educación superior contribuir a la construcción de una sociedad más justa y equitativa y a la sostenibilidad de las transformaciones del entorno. La educación superior, a su vez, exige a las universidades participar, de modo conjunto con los actores sociales, en la transformación de las comunidades, desde la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación. Las políticas del Estado y las del Ministerio de Educación Superior de Cuba enfatizan en estos aspectos, asignándole a las instituciones universitarias un papel relevante en el logro de estos propósitos.

El proceso de formación de los profesionales desempeña un rol esencial en la preparación del alumnado y de los diferentes actores que participan en esas transformaciones. El modo en que se conciben los planes de estudio, los procesos formativos y el proceso de enseñanza-aprendizaje de cada una de las asignaturas y disciplinas de las carreras es crucial para lograr este fin.

Las investigaciones y experiencias consultadas reflejan un consenso con respecto a la necesidad de un cambio en las concepciones, modelos, estrategias y metodologías de formación de los profesionales y en los modos de llevar a cabo la integración de las universidades con las empresas y la comunidad. La gestión del proceso de integración de lo académico-laboral-investigativo-extensionista demanda una mayor profundización y diferentes maneras de modelar estos procesos, en función de lograr los objetivos del desarrollo sostenible.

Con respecto al proceso de formación profesional, investigaciones realizadas en las carreras de ciencias técnicas [1] [2] [3] [4 [5] e informe de los resultados del proceso docente-educativo del año 2023 [6], de las universidades del país, reflejan insuficiencias en: la interdisciplinariedad, la integración de lo académico-laboral-investigativo-extensionista, la integración de las TIC a los procesos formativos, el protagonismo estudiantil y la cooperación entre estudiantes y educadores, la intencionalidad formativa de las actividades docentes, la atención a las necesidades, problemas y conflictos de los estudiantes, y la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación a la transformación sostenible del ambiente físico y social.

A pesar de los esfuerzos permanentes para lograr la calidad de los egresados de las carreras de ciencias técnicas y para elevar la eficiencia de su gestión, aún se manifiestan dificultades en los resultados del aprendizaje y en la retención de los estudiantes, que no alcanzan los índices y niveles a los que se aspira; lo que se refleja en los bajos resultados alcanzados en los últimos cursos académicos en estas carreras de la Educación Superior.

La disposición de una parte importante de los estudiantes, su compromiso social y la capacidad de dar solución a problemas y tareas emergentes surgidas durante el período de pandemia, vinculados o no a su perfil profesional, constituyen potencialidades que pueden ser desarrolladas intencionalmente en este proyecto de investigación. Para resolver estos problemas y aprovechar estas potencialidades se requiere un abordaje científico, que posibilite la construcción de la teoría y la metodología que oriente una solución efectiva y sostenible,

Esta ponencia es resultado del proyecto de investigación “El proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas para la formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social sostenible”, asociado a Programa Sectorial del CITMA y tiene como objetivo presentar las características esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje que propicia la formación de estudiantes innovadores y transformadores del entorno físico y social y de sí mismos, en las carreras de ciencias técnicas.

## 2. DESARROLLO

La existencia de algunos modelos teórico-metodológicos para lograr los objetivos socialmente deseados, no ha sido suficiente. Pueden referirse los aportes del Aprendizaje Servicio, actualmente concebido como compromiso social o cívico de la universidad con el cumplimiento de los actuales Objetivos de Desarrollo Sostenible y los valores de los derechos humanos, apelando a la educación como bien social y al diálogo participativo. [7]

Se insiste en el carácter curricular del Aprendizaje Servicio, orientado a la adquisición de competencias técnicas y sociales en la realización de acciones dirigidas a la solución de los problemas de la comunidad, que serán evaluados y reconocidos en las actividades académicas. [8]. Conlleva dejar de pensar la educación superior con la universidad como centro, para integrarla al territorio y la realidad, organizando las prácticas de enseñanza y la investigación en diálogo con las necesidades sociales y ambientales. [9].

La Educación 5.0 enfatiza en la formación de estudiantes conscientes, éticos, responsables y comprometidos con la sostenibilidad del entorno y el bienestar de la sociedad. [10] Tecnologías como la inteligencia artificial, la realidad virtual, la realidad aumentada y la gamificación ofrecen nuevas formas de involucrar a los estudiantes y hacer que el aprendizaje sea más fácil, interactivo, personalizado, profundo e inmersivo.

Por otra parte, entre los modelos que se crean para analizar o lograr los vínculos entre las universidades y la sociedad, aparecen el modelo del Triángulo de Sabato, los modelos de Triple Hélice y los Sistemas de innovación. [11].

Los modelos de varias hélices, triples, cuádruples y quíntuples, enfatizan en las relaciones entre el gobierno, las empresas y las estructuras científico-tecnológicas de las universidades como estrategia de desarrollo para cubrir las brechas tecnológicas y de capital social. La triple hélice es la que más ha prosperado, al fomentar la innovación, la cuádruple incorpora la sociedad civil y la quíntuple complementa con los ecosistemas, e integra la innovación con la resolución de problemas transdiciplinarios y el desarrollo sostenible.

En el contexto cubano, [12] propone el modelo de formación de la Educación Superior Cubana, sustentado en las ideas principales de formación integral de los estudiantes e integración universidad-sociedad. La universidad es promotora, preservadora y desarrolladora de la cultura en su entorno y, la investigación científica, constituye el modo más integral de lograrlo. La extensión universitaria se concibe, junto con la formación y la investigación, como uno de los tres procesos sustantivos, que, integrados en sistema, cumple con estas funciones sociales. La vinculación social se realiza mediante la gestión del colectivo de año, que integra a todos los educadores del año y a sus representantes estudiantiles. Han surgido diversos modelos de integración Universidad-Empresa, pero aún la integración de los tres procesos sustantivos dista de ser una realidad.

En esta investigación se asume como fundamento de la formación de estudiantes transformadores del entorno físico y social sostenible en el proceso de enseñanza-aprendizaje, a la concepción materialista dialéctica e histórica de la naturaleza, la sociedad y el ser humano y, consecuentemente con ella, al Enfoque Histórico Cultural desarrollado por L. S. Vigotsky (1987) y su teoría del desarrollo de las funciones psíquicas superiores, como su expresión en el plano psicológico.

Se parte de las leyes y principios del desarrollo psíquico, de la relación entre educación y desarrollo, en la que se plantea que la educación provoca el desarrollo, pero tiene que tenerlo en cuenta para lograr que este se produzca en el proceso de aprendizaje. Se sustenta en el concepto de zona de desarrollo próximo, que expresa la relevancia de las ayudas de los otros para que se produzca el desarrollo psíquico y la necesidad de una evaluación dinámica, en el momento en que se brindan esas ayudas para constatar las potencialidades.

Se tiene en cuenta el nivel de desarrollo actual, así como en el papel mediador de la actividad, la comunicación y los instrumentos culturales, entre ellos el lenguaje y las herramientas TIC, en el aprendizaje y desarrollo humano. El aprendizaje, como proceso de apropiación de la cultura, que se produce en cooperación con los otros durante la formación profesional, implica el desarrollo de los estudiantes y de todos los involucrados en ese proceso.

Desde el punto de vista pedagógico, se parte de las leyes, categorías y principios de la Pedagogía cubana, y dentro de esta, de los aportes más valiosos de la Pedagogía de la Educación Técnica y Profesional [13] y de la Didáctica de las especialidades de la Educación Técnica y Profesional [14] reflejados en sus leyes, regularidades, principios, categorías y metodologías. Las contribuciones de [15] [16] [17] [18] a la concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas y a la mediación de las TIC, las TAC y las TEC en este proceso, constituyen sustentos teórico-metodológicos de esta investigación.

Se asumen los principios de la concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje mediado por las TIC en carreras de perfil técnico: protagonismo de los estudiantes, las Tecnologías de la Información y la Comunicación como mediadores, unidad de lo cognitivo y lo afectivo, esencia económico-productiva del proceso y atención a la diversidad. [17].

**Características esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas**

Se define el proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas de la Educación Superior como: cooperación entre educadores y estudiantes, en la cual se facilita la apropiación de los contenidos de la profesión, a partir de las exigencias del modelo del profesional, mediante la integración de las TIC, con el fin de crear y aplicar conocimientos y tecnologías para la transformación del entorno físico y social sostenible, en el contexto de la relación universidad-empresa-comunidad.

Las características esenciales que se expresan en esta definición son:

a) **Cooperación entre educadores y estudiantes:** se define como colaboración en la toma de decisiones, realización conjunta de las acciones de aprendizaje y responsabilidad compartida.

   *La colaboración en la toma de decisiones* implica la participación de estudiantes y educadores en las decisiones relativas a la planificación, ejecución y valoración de las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.

   *La realización conjunta de las acciones de aprendizaje* significa la ejecución de las tareas con el grupo y los educadores y la solución entre todos de las contradicciones que obstaculizan el proceso.

   *La responsabilidad compartida* se expresa en el establecimiento de acuerdos, de compromisos para su cumplimiento y en la asunción de sus consecuencias, por educadores y estudiantes.

   Las razones por las cuales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas, la interacción entre estudiantes y educadores, adquiere la especificidad de ser un proceso cooperado residen en que a diferencia de otros subsistemas de educación, en la Educación Superior el estudiante se encuentra en el umbral de la vida adulta, a un paso de incorporarse a la vida laboral y el proceso de formación profesional tiene como propósito, prepararlo para su exitosa inserción en ella.

   Esto supone que el egresado de estas carreras haya alcanzado un desarrollo de su autonomía y de su autodeterminación que le permita la toma de decisiones acertadas, tanto en asuntos relativos a la profesión como relacionados con su vida personal.

   Supone, además, que sea capaz de trabajar en equipo, de confrontar con los demás de modo positivo sus opiniones y valoraciones y llegar a acuerdos y compromisos con respecto al accionar más pertinente en las situaciones profesionales y sociales que así lo requieran, tanto en los espacios de intercambio presencial como virtual.

   Por todo esto el proceso de enseñanza-aprendizaje ha de prepararlo para que pueda actuar como un profesional competente, en condiciones de enfrentar exitosamente las contingencias que surjan en la dinámica de la vida laboral.

b) **Facilitación de la apropiación de los contenidos de la profesión:** implica la coordinación de los procesos grupales, la mediación en las acciones de aprendizaje y la comunicación positiva entre educadores y estudiantes.

   *La coordinación de los procesos grupales* se realiza mediante el empleo de recursos para reducir las resistencias al cambio, propiciar el libre intercambio de vivencias e ideas en los debates y enfrentar los conflictos y situaciones grupales difíciles.

   *La mediación en las acciones de aprendizaje* se concreta en las ayudas durante la formación de la base orientadora de las acciones de aprendizaje, durante su ejecución y en el autocontrol mientras se solucionan las tareas y los conflictos personales en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

   Las ayudas para la formación de la base orientadora de la acción (BOA) consisten en brindar los puntos de referencia, mediante una orientación completa, para que el estudiante pueda orientarse correctamente en la ejecución de la tarea, lo que significa que tiene que quedar claro para cada uno:

por qué y para qué se realiza la tarea, qué conocimientos y procederes necesita para realizarla, cómo, es decir, mediante qué vías y métodos se ejecutará, qué recursos o medios necesita, en qué condiciones se llevará a cabo, de qué forma se hará y cómo será evaluada.

Una vez que se comience a ejecutar la tarea se brindan las ayudas a quienes la soliciten,para que puedan autorregular de manera efectiva su marcha, hacer las correcciones pertinentes y valorar la adecuación del resultado alcanzado, lo que es válido para cualquier tipo de tarea.

Se trata de volver a orientar lo que ya se orientó inicialmente, al explicar la tarea; de dar alguna pista que ayude a encontrar la solución; o de realizar conjuntamente con el estudiante la tarea, cuando sea incapaz de hacerlo solo. Lo importante es que interiorice la Base Orientadora de la Acción que es lo que le permitirá la autorregulación y la autogestión del aprendizaje.

*La comunicación positiva entre educadores y estudiantes* se manifiesta en el establecimiento de relaciones auténticas, empáticas y en la aceptación de la diversidad.

c) **Exigencias del modelo del profesional:** se refiere a la profesionalización del proceso de enseñanza-aprendizaje, a la integración de lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista y a la transformación de la realidad social, profesional y personal.

*La profesionalización del proceso de enseñanza-aprendizaje* incluye la correspondencia de los objetivos de las asignaturas con el modelo del profesional, la esencialidad del contenido y la realización de tareas que acerquen al modo de actuación profesional.

*La integración de lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista* refleja la interrelación sistémica entre los componentes didácticos de las asignaturas y de la práctica laboral investigativa, para la solución de los problemas de la comunidad, mediante la ciencia, la tecnología y la innovación

*La transformación de la realidad social, profesional y personal* implica el diseño, ejecución y evaluación de proyectos dirigidos a la creación y aplicación de conocimientos y tecnologías para la transformación del ambiente físico y social comunitario.

d) **Integración de las tecnologías digitales al proceso de enseñanza-aprendizaje:** se define como la articulación de las tecnologías digitales a las tareas de aprendizaje, la mediación de estas tecnologías en las interacciones entre educadores y estudiantes y el aprovechamiento de la infraestructura existente.

*La articulación de las tecnologías digitales a las tareas de aprendizaje* exige la interrelación contextualizada, sistemática y conscientemente intencionada de las tecnologías digitales con los componentes didácticos del proceso de enseñanza-aprendizaje.

*La mediación de las tecnologías digitales en las interacciones entre educadores y estudiantes* expresa la interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.

*El aprovechamiento de la infraestructura existente* implica la accesibilidad, inmediatez y adaptabilidad a los recursos institucionales y personales disponibles.

Las TIC se integran a los métodos de enseñanza que se priorizan como: la modelación, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje por proyectos, los estudios de casos, las dramatizaciones y otros propios de cada especialidad técnica, en correspondencia con los objetivos de cada actividad docente y aprovechan los espacios presenciales y virtuales con los recursos existentes, en especial la plataforma de teleformación institucional, el correo, el *"WhatsApp"* y el *Zapya,* entre otros, como vías de comunicación, fuera de la actividad presencial y dentro de ella. Las aplicaciones digitales para los móviles, tabletas y laptops pueden utilizarse.

Se destaca la necesidad de crear, además de aplicar conocimientos y tecnologías, ya que no es posible transformar, si no se crea algo nuevo y diferente a lo existente. Los estudiantes pueden ser creativos con respecto a la información científica que buscan y procesan, con respecto a la aplicación de lo aprendido y con respecto a la innovación y a la transformación de los objetos, procesos, de los demás y de sí mismos.

Para ello, requieren participar en un proceso de enseñanza-aprendizaje que les plantee retos, exigencias cada vez mayores y que les exija originalidad, responsabilidad y compromiso con las transformaciones en las que está inmerso.

Las situaciones de enseñanza-aprendizaje juegan un papel decisivo, a partir de la influencia de los educadores, mediante las ayudas que se les brinda en los espacios presenciales y virtuales de cooperación, en los que construyen los conocimientos y unido inseparablemente a ellos, interiorizan las acciones que permiten su creación y su aplicación, transitando de la dependencia y la indecisión, a la independencia y a la autodeterminación.

Se necesita de un sistema de influencias coordinado y coherente que permita que todos los educadores (profesores, directivos, profesionales de las empresas, organizaciones estudiantiles y de los trabajadores, grupo escolar y colectivo laboral, familiares y miembros de la comunidad) realicen acciones conjuntas entre sí y con los estudiantes que posibiliten la satisfacción de sus necesidades y el logro del encargo social, para alcanzar las competencias requeridas en el mundo laboral al que se van a incorporar.

Estas influencias no actúan de manera directa, sino que pasan a través de cada uno de los estudiantes que, como sujetos activos y transformadores, las refractan, a partir de su historia de vida y de sus características y recursos personales, es decir, de su desarrollo actual y potencial, por lo que influyen de manera única e irrepetible en cada uno de ellos, posibilitando resultados de aprendizaje y desarrollo diferentes.

Se genera una reacción diferente de acuerdo a las necesidades individuales y grupales; y al modo en que se comprenden y asimilan esas influencias, lo que a su vez modifica el propio sistema de influencias educativas. De ahí la complejidad del proceso de enseñanza-aprendizaje y la difícil labor que corresponde a los educadores llevar a cabo para lograr el fin y los objetivos deseados

Las cuatro características esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas constituyen un sistema, en tanto el cambio en alguna de ellas modifica a las demás. Mantienen relaciones de coordinación entre sí y necesitan estar presentes e interrelacionadas, para lograr su identidad y el logro del objetivo previsto.

Estas características se manifiestan en el contexto de la relación universidad-empresa-comunidad y persiguen el fin de que estudiantes y educadores, de modo cooperado, puedan crear y aplicar conocimientos y tecnologías para la transformación del entorno físico y social sostenible.

**La relación universidad - empresa - comunidad** se define como: interconexión de estos subsistemas para la concertación de acuerdos entre las partes y establecimiento de compromisos para su cumplimiento, en la que se desarrollan acciones coordinadas para dirigir la formación profesional de los futuros profesionales, mediante la planificación, ejecución y evaluación de acciones coherentes en las actividades formativas.

Para lograr esa coherencia se requiere una gestión efectiva de todas las partes, en la que desempeña un papel esencial el colectivo de año, como instancia integradora de los procesos de formación, extensión e investigación, ya que en este colectivo confluyen todos los actores que participan en el proceso de transformación.

Se trata de funcionar de manera conjunta en la planificación, ejecución y control valorativo-proyectivo de los procesos formativos, a partir de un mismo objetivo, desde la participación en el proceso de diagnóstico de los estudiantes y de los procesos, mediante la integración de los contextos, así como en la determinación de las acciones a realizar y de los participantes y responsables de cada una de ellas.

Esto implica mucho más que la realización de las prácticas laborales y preprofesionales en las empresas y que el desarrollo de las actividades comunitarias tradicionales; implica una concepción sistémica de la formación que comienza antes de que el estudiante inicie los estudios en la universidad, se refuerza durante la formación de pregrado y continúa después de egresado. En estas etapas han de participar de modo conjunto, coherente y armónico

los representantes de cada contexto educativo involucrados en la formación profesional y, por supuesto, los estudiantes.

Ni la universidad, ni la empresa, ni la comunidad pueden resolver por sí solas, o de manera independiente, la formación profesional de los estudiantes, por lo que no pueden prescindir de las relaciones entre ellas, las que permiten el aprovechamiento de las potencialidades y fortalezas de cada contexto educativo en el logro de este propósito, pues cada una contribuye y recibe el beneficio de las otras mediante el trabajo cooperado en la dirección de los procesos formativos.

En estos contextos están presentes los estudiantes como una fuerza activa y transformadora, por lo que hay que darles su lugar, junto a los educadores, en la toma de las decisiones relativas a la dirección de los procesos formativos en el proceso de integración. Este es un aspecto novedoso que se incorpora en la concepción asumida y que enriquece las concepciones planteadas por otros especialistas, en las cuales se destaca el trabajo coordinado, conjunto, armónico y coherente de los educadores en la dirección de los procesos formativos, pero no se hace referencia a la participación decisora de los estudiantes en este proceso.

La universidad coordina las influencias educativas y centraliza la dirección del proceso de formación profesional, con la participación cooperada de las empresas y la comunidad, para lograr dar respuesta al encargo social asignado, mediante las acciones conjuntas, armónicas y corresponsables y la toma de decisiones colectivas, para la elaboración, realización, valoración y reestructuración consciente y sistemática

No se trata de que cada contexto educativo proyecte, ejecute y evalúe la contribución que puede hacer en sus espacios de formación profesional, al desarrollo integral de los estudiantes, en correspondencia con sus potencialidades y fortalezas; sino que de manera conjunta, coherente y armónica concilie con el resto de los contextos, bajo la certera dirección de la universidad, cómo puede contribuir al logro de los objetivos fundamentales del modelo del profesional, de los proyectos educativos de la universidad, de los grupos y de cada estudiante, desde las posibilidades que ofrecen las condiciones propias de cada contexto, mediante la planificación conjunta de acciones que faciliten la apropiación de la cultura y el desarrollo profesional integral de los futuros graduados, de acuerdo con las prioridades y exigencias curriculares.

La integración de la universidad, la empresa y la comunidad posibilita la formación en los estudiantes no solo de las habilidades para la creación y aplicación de los conocimientos profesionales en la solución de los problemas, sino el desarrollo de una conciencia ecológica de productor y de consumidor, de desarrollo sustentable y sostenible, de los valores, cualidades y motivaciones propios de la profesión, de la conciencia social, del cuidado y protección del medio ambiente, de la disciplina y responsabilidad social, de valores morales y patrióticos inherentes a su historia local y del compromiso con su participación en los cambios que se llevan a cabo en la sociedad cubana actual.

Se considera al **proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias técnicas como la variable** que requiere ser cambiada, para lograr introducir las modificaciones necesarias que le acerquen a un proceso formativo y transformador.

Se proponen las siguientes dimensiones, subdimensiones e indicadores en la operacionalización de la variable:

| Dimensiones | Subdimensiones | Indicadores |
|---|---|---|
| 1. Cooperación entre educadores y estudiantes | 1.1. Colaboración en la toma de decisiones | • Estudiantes y educadores participan en la planificación de las actividades. académicas, laborales, investigativas y extensionistas<br>• Estudiantes y educadores participan en las decisiones relativas a la ejecución de las actividades.<br>• Estudiantes y educadores participan en la valoración del |

| | | |
|---|---|---|
| | | cumplimiento de las acciones en las actividades. |
| | 1.2. Realización conjunta de las acciones de aprendizaje | • Co-construcción con el grupo y los educadores, de los contenidos y acciones de aprendizaje.<br>• Solución de las contradicciones o conflictos que obstaculizan el proceso<br>• Participación solidaria en las actividades grupales. |
| | 1.3. Responsabilidad compartida | • Establecimiento de acuerdos entre educadores y estudiantes con respecto al rol, los límites y espacios de cada uno.<br>• Establecimiento de compromisos para el cumplimiento de lo acordado entre educadores y estudiantes.<br>• Estudiantes y educadores asumen las consecuencias de las decisiones tomadas. |
| 2. Facilitación de la apropiación de los contenidos de la profesión | 2.1. Coordinación de los procesos grupales | • Empleo de recursos para reducir las resistencias al cambio que entorpecen el logro del objetivo.<br>• Utilización de procedimientos para propiciar el libre intercambio de vivencias e ideas en los debates.<br>• Empleo de recursos para la resolución de los conflictos y situaciones grupales difíciles. |
| | 2.2. Mediación en las acciones de aprendizaje | • Ayudas durante la formación de la base orientadora de las acciones de aprendizaje.<br>• Ayudas durante la ejecución de las acciones de aprendizaje.<br>• Ayudas para el autocontrol en la solución de las tareas y los conflictos personales durante el aprendizaje. |
| | 2.3. Comunicación positiva entre educadores y estudiantes | • Establecimiento de relaciones auténticas<br>• Empatía para la comprensión mutua<br>• Aceptación de la diversidad |
| 3. Exigencias del modelo del profesional | 3.1. Profesionalización del PEA | • Correspondencia de los objetivos con el modelo del profesional<br>• Esencialidad del contenido<br>• Realización de tareas que acerquen al modo de actuación profesional |
| | 3.2. Integración de lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista | • Interrelación entre los componentes didácticos de las asignaturas y los de la práctica laboral investigativa<br>• Interrelación sistémica entre las disciplinas<br>• Solución de los problemas de la comunidad, mediante la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación |
| | 3.3. Transformación de la realidad social, profesional y personal | • Diseño de proyectos dirigidos a la creación y aplicación de conocimientos y tecnologías para la transformación del ambiente físico y social comunitario<br>• Ejecución de los proyectos de transformación diseñados<br>• Evaluación de los proyectos ejecutados |

| | | |
|---|---|---|
| 4. Integración de las tecnologías digitales al proceso de enseñanza-aprendizaje | 4.1. Articulación de las tecnologías digitales con las tareas de aprendizaje | • Contextualización de las tecnologías digitales a las exigencias de las tareas de aprendizaje<br>• Interrelación sistemática de las tecnologías con las tareas de aprendizaje.<br>• Interrelación conscientemente intencionada de las tecnologías digitales con los componentes didácticos del PEA. |
| | 4.2. Mediación de las tecnologías digitales en las interacciones entre educadores y estudiantes | • Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades académicas<br>• Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante la práctica laboral-investigativa<br>• Interacción de educadores y estudiantes mediante los recursos digitales durante las actividades de extensión universitaria |
| | 4.3. Aprovechamiento de la infraestructura existente | • Accesibilidad a los recursos<br>• Inmediatez en el acceso<br>• Adaptabilidad a los recursos disponibles |

Tabla 1. Operacionalización de la variable

No se definen en la tabla las dimensiones y subdimensiones ya que la definición operativa coincide con la expresada en los conceptos presentados anteriormente en esta ponencia.

A partir de la operacionalización, se determinaron la escala de medición y los valores en que pueden encontrarse los indicadores, las dimensiones y la variable según esta escala. Se elaboraron los instrumentos para llevar a cabo el diagnóstico inicial del objeto de estudio y actualmente, el equipo de investigación está trabajando en la aplicación, procesamiento y análisis de los resultados obtenidos, para caracterizar el estado inicial en que se encuentra el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ciencias técnicas en la Cujae y en la Universidad Agraria de La Habana.

## 3. CONCLUSIONES

Es imperioso un cambio en los modelos del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias técnicas en la educación superior y en los modos de llevar a cabo la integración de la universidad con las empresas y las comunidades. La profundización en las características esenciales que debe reunir este proceso para propiciar la formación de estudiantes innovadores y transformadores del entorno físico y social aporta aspectos relevantes para la construcción y aplicación de un modelo que responda a las demandas que se le plantean a las universidades en función de una sociedad más equitativa, justa y sostenible.

## 4. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración del M. Sc. Javier Rodríguez Ramírez y del M. Sc. Reinaldo Gerardo Elósegui Chappotín en la revisión de antecedentes y en la operacionalización de la variable.

## 5. REFERENCIAS

1. COLLAZO, R; MATO, R. M. “Informe del análisis de las asignaturas Estructuras de Datos 1 y 2. Curso 2011-2012”. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Ciudad de La Habana, 2013. 15 pp.
2. DELGADO, M. D; FERNÁNDEZ DE ALAIZA, B; ALFONSO, I; DE LA RÚA, M; ANDRÉ, M; SOCORRO, R; LÓPEZ, I. “Informe del análisis del diagnóstico de la situación de la asignatura Estructuras de Datos 1 en el curso 2013-2014”. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, 2014. 20 pp.

3. ALFONSO, I; TORRES, H; CABRERA, J. F; COLLAZO, R; LÓPEZ, I; LAVANDERO, J; LOPES, I. "Informe del análisis de la situación de la asignatura Investigación de Operaciones en la carrera de Ingeniería Informática". Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, 2015. 10 pp.
4. BERMÚDEZ, Raquel; et al. "Caracterización del proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura Matemática III en las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica". Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Ciudad de La Habana, 2017ª, 64 pp.
5. BERMÚDEZ, Raquel; et al. "Caracterización del proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura Electrónica Analógica II en la carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica". Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Ciudad de La Habana, 2017b. 61 pp.
6. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. "Informe de evaluación del proyecto estratégico del año 2023. MES. La Habana, 2023, 116 pp.
7. GARCÍA, J; CORRALES, C. "Las políticas supranacionales de educación superior ante la «tercera misión» de la Universidad: el caso del aprendizaje-servicio". Revista Española de Educación Comparada, 2021, vol 37, pp. 256-280.
8. MELLA, Í; QUIROGA, A; CRESPO, J. "Aprendizaje-servicio y desarrollo cívico social en titulaciones universitarias del ámbito educativo: preparando al alumnado para la práctica de una educación inclusiva". Educar, 2021, vol 57, núm. 2, pp. 363-377.
9. GARCÍA, D; LALUEZA, J. L. "Procesos de aprendizaje e identidad en aprendizaje servicio universitario: una revisión teórica". Educación XXI. 2019, vol 22, núm. 2, pp. 45-68.
10. OBERER, B; ERKOLLAR, A. "Education 5.0: Using the Design Thinking Process–Aninterdisciplinary view". Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. 2024, vol. 22, núm. 1, pp. 1-17.
11. HERNÁNDEZ, A; ENRÍQUEZ, D. M. "¿Qué es la relación universidad-empresa-gobierno-sociedad y cuál su importancia en la sociedad?" Revista de I+D, 2023, Portal de revistas: http://revistas.utp.ac.pa
12. HORRUITINER, Pedro. *La universidad cubana: El modelo de formación.* Ciudad de La Habana: Editorial Félix Varela, 2006. 249 pp. ISBN 959-258-894-5.
13. BERMÚDEZ, Raquel et al. *Pedagogía de la educación técnica y profesional.* Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2014. 226 pp. ISBN 978-959-13-2706-2.
14. ABREU, Roberto L; SOLER, Jorge. (Compiladores). *Didáctica de las especialidades de la Educación Técnica y Profesional. Primera parte Didáctica general.* Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2015. 192 pp. ISBN: 978-959-13-2980-6.
15. CASTAÑEDA, Ángel Emilio. *Pedagogía, tecnologías digitales y gestión de la información y el conocimiento en la enseñanza de la Ingeniería Civil*. Ciudad de La Habana: Editorial Félix Varela, 2013. 706 pp.
16. MOLINA, Ana Teresa. (2014). "Didáctica de la Ingeniería: Fundamentos teóricos y metodológicos". En Curso 18 de Congreso Internacional de Educación Superior Universidad 2014, Ministerio de Educación Superior, 2014. https://doi.org/10.54808/JSCI.22.01.1 ISSN: 1690-4524.
17. BERMÚDEZ, Raquel; PÉREZ, Lorenzo M; ARZUAGA, Misleidy; ARMAS, Camilo Boris. (2020) "Concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje mediado por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en carreras de perfil técnico". Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. Ciudad de La Habana, 2020. 61 pp.
18. SANTOS, Janette; ARMAS, Camilo Boris. "La integración de las tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento (TAC) en los procesos formativos universitarios". En Curso precongreso. 12mo. Congreso Internacional de Educación Superior "Universidad 2020", Ministerio de Educación Superior.

**Sobre los autores**

**Lorenzo Miguel Pérez Martín:** Doctor en Ciencias Psicológicas; Profesor Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba, de la Cátedra de L. S. Vigotsky de la Universidad de La Habana y de la

Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP), miembro de la directiva del capítulo Cuba.

**Raquel Bermúdez Morris:** Doctora en Ciencias Psicológicas; Profesora Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; Investigadora Titular; Coordinadora del Programa de doctorado en Ciencias de la Educación de la Cujae, Jefe del Proyecto Sectorial de investigación, miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba, de la Cátedra de L. S. Vigotsky de la Universidad de La Habana y de la directiva de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP) y Presidenta del capítulo Cuba.

**Misleidy Arzuaga Ramírez:** Doctora en Ciencias Pedagógicas; Profesora Titular del Centro de estudio de la educación superior agropecuaria de la Universidad Agraria de La Habana; Coordinadora del Diplomado "Formación básica para profesores noveles"; miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba, de la Cátedra de L. S. Vigotsky de la Universidad de La Habana y de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP), miembro de la directiva del capítulo Cuba.

**Norma González Ruda:** Doctora en Ciencias de la Educación; Profesora Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; Investigadora Titular; Coordinadora de eventos científicos pedagógicos; miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, miembro del capítulo Cuba de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP) y Presidenta del Grupo de la Cujae de la Sociedad de Pedagogos de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA DE CONDICIONES DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CARRERAS TÉCNICAS

**Dr. C. Lorenzo Miguel Pérez Martín[1], Dr. C. Raquel Bermúdez Morris[2]**

1Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, Calle 114 y Ciclovía, lmartin@tesla.cujae.edu.cu
[2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, Calle 114 y Ciclovía, rbmorris@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El trabajo es parte del proyecto titulado: "El proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas para la formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social sostenible", perteneciente a un Programa Sectorial del CITMA, el cual se dirige a la determinación de un modelo del proceso de enseñanza-aprendizaje en esas carreras técnicas, que propicie la formación de estudiantes activos y transformadores de su entorno profesional, comunitario-social y personal, con sostenibilidad. Para este propósito, es necesario que se tengan en cuenta un conjunto de condiciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas y disciplinas de su currículo, las que se manifiestan como un sistema y que hacen énfasis en poner al estudiante en el centro del proceso, dándole un papel activo y decisorio, actuando de manera cooperada con los educadores y los otros estudiantes en la determinación conjunta de las actividades curriculares y extracurriculares, para transformar conjuntamente la realidad social, profesional y personal, apoyados en una comunicación positiva. El objetivo del presente trabajo es presentar el sistema de condiciones que propician que los estudiantes sean protagonistas en este proceso y jueguen un papel activo y trasformador, tanto en las actividades académicas, como en las laborales-investigativas y en las extensionistas.

**PALABRAS CLAVES:** Proceso de enseñanza-aprendizaje en carreras técnicas, estudiante activo y transformador, sistema de condiciones, estudiante protagonista.

## CONDITIONS SISTEM OF THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF TECHNICAL CARRERS

**ABSTRAC**

The work is part of the project titled: "The teaching-learning process in technical science careers for the training of students who transform the sustainable physical and social environment", belonging to a CITMA Sector Program, which is aimed at determining of a model of the teaching-learning process in these technical careers, which promotes the training of active students who transform their professional, community-social and personal environment, with sustainability. For this purpose, it is necessary to take into account a set of conditions in the teaching-learning process of the subjects and disciplines of its curriculum, which are manifested as a system and which emphasize putting the student at the center of the process, giving it an active and decision-making role, acting cooperatively with educators and other students in the joint determination of curricular and extracurricular activities, to jointly transform social, professional and personal reality, supported by positive communication. The objective of this work is to present the system of conditions that allow students to be protagonists in this process and play an active and transformative role, both in academic activities, as well as in work-research and extension activities.

**KEY WORDS:** Teaching-learning process in technical careers, active and transformer student, condictions system, protagonist student.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es parte del proyecto titulado: "El proceso de enseñanza-aprendizaje en las carreras de ciencias técnicas para la formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social sostenible", perteneciente al Programa Sectorial Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sostenible, del CITMA. El fin fundamental de este proyecto es la determinación de un modelo del

proceso de enseñanza-aprendizaje en esas carreras, que propicie que se formen en ellas estudiantes activos y transformadores de su entorno profesional, comunitario-social y personal, que posibiliten sostenibilidad en esos cambios.

Los autores asumen como fundamentos teóricos generales del trabajo el Materialismo Dialéctico e Histórico sobre la naturaleza, la sociedad y le pensamiento, así como los postulados del Enfoque Histórico-Cultural de L. S. Vigotsky.

Para alcanzar que los estudiantes sean transformadores, es necesario que se tengan en cuenta un conjunto de particularidades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas y disciplinas de su currículo, las que se manifiestan como sistema. El objetivo del presente trabajo es presentar el sistema de condiciones que propician que los estudiantes sean protagonistas en este proceso y jueguen un papel activo y trasformador, tanto en las actividades académicas, como en las laborales-investigativas y en las extensionistas.

El concepto de **sistema** no es nuevo en la ciencia; según Valle [1], ya Marx, Berthalammy y Levi-Strauss hacían referencia al sistema, resaltando que este es un conjunto de elementos que actúan como un todo único, determinado por un objetivo o fin supremo; estos elementos se encuentran en una relación de interdependencia, de modo que la modificación de uno de ellos implica la modificación de los restantes.

El sistema se caracteriza por la integridad, la acción de sus diferentes componentes entre sí y su estructura, así como por su unidad, determinado por el objetivo o fin que persigue. Este autor [1] define al sistema como: "un conjunto de componentes lógicamente interrelacionados que tienen una estructura y cumple ciertas funciones con el fin de alcanzar determinados objetivos." En este caso, destaca la interacción, la organización y la totalidad como características distintivas del concepto de sistema, así como su función y los objetivos que persigue.

Por coincidir con estos planteamientos, los autores de esta ponencia asumen esta concepción de sistema y, derivada de ella, define al sistema de condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras técnicas de la Educación Superior, como *un conjunto interdependiente de particularidades de la cooperación entre educadores y estudiantes, con una organización que le da carácter de totalidad, cuya función principal es la integración de las necesidades personales con las exigencias del modelo del profesional, en las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas, para lograr su objetivo: la trasformación del entorno profesional, social y personal*.

Este sistema de condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje constituye un conjunto interdependiente de particularidades porque todas están vinculadas e interrelacionadas de modo complejo unas con otras, de tal modo que la acción de una refuerza la de las otras y viceversa.

Al estar organizadas en un todo integrado existe un vínculo estrecho entre el todo y las partes que le da unidad y especificidad al sistema, ya que la acción de una o varias condiciones aisladas no garantiza el cumplimiento de su función principal: la integración de las necesidades personales de los involucrados con las exigencias sociales, concretadas en el modelo del profesional, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es por tanto un requisito esencial, el funcionamiento del sistema como un todo, para lograr su cumplimiento y alcanzar su objetivo, es decir, el crecimiento personal de los sujetos.

## 2. SISTEMA DE CONDICIONES DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CARRERAS TÉCNICAS

Según los resultados de la investigación realizada, el sistema de condiciones está constituido por tres componentes fundamentales:

a. Determinación conjunta de las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas

b. Transformación conjunta de la realidad social, profesional y personal

c. Establecimiento conjunto de una comunicación positiva

A continuación, se analizará cada una de las condiciones, con el fin de profundizar en las características esenciales que las definen y comprender sus funciones en el sistema:

### a. Determinación conjunta de las actividades académicas, laborales e investigativas

Las acciones del proceso de enseñanza-aprendizaje son determinadas en una relación cooperada de educadores y estudiantes, en donde estos últimos tienen un papel protagónico. Por lo general, el protagonismo estudiantil es concebido como el tomar en cuenta las opiniones del alumno o dejar que organice y desarrolle las actividades extradocentes; sin embargo, Avendaño y Minujin [2]; Bermúdez y otros [3]; Rochina, Ortiz y Paguay [4]; entre otros plantean que el alumno no solo debe opinar sobre el proceso y los resultados del aprendizaje, sino además, tomar decisiones comprometidas en todo lo que le compete, de conjunto con los profesores, respondiendo responsablemente por las consecuencias de sus decisiones.

En esta investigación se entiende de esta manera la participación protagónica del estudiante en las decisiones relativas a la orientación, ejecución y control de las acciones de su aprendizaje en el sistema de actividades académicas, laborales e investigativas, en tanto educadores y estudiantes trabajan de modo cooperado para determinarlas.

Si se toman en cuenta el desarrollo alcanzado y las potencialidades que poseen los estudiantes para concebir el proceso y adecuarlo a sus expectativas y posibilidades, resulta importante crear espacios para detectar los referentes, los niveles de preparación previa de estos y su zona de desarrollo próximo, así como para que expresen sus necesidades y expectativas y participen responsablemente en la toma de decisiones con respecto a la planificación, realización y evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje.

También es importante involucrar a todos aquellos que se relacionan con la formación profesional de los estudiantes, tales como: tutores, instructores de las entidades laborales, directivos de las instituciones, entre otros; en los análisis y toma de decisiones curriculares, en particular en la determinación del sistema de actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.

En lo académico predomina la actividad de estudio en sus diferentes formas de ejecución; el alumno trabaja, por lo general, con modelos o representaciones de los objetos o procesos estudiados (como gráficos y esquemas, entre otros) y las interrelaciones se establecen entre el profesor y los estudiantes y entre los miembros del grupo en situaciones modeladas de la realidad. Lo anterior, por lo general, se produce en la clase, en sus variantes: conferencia, clase práctica, seminario, clase encuentro, práctica de laboratorio y taller, lo que implica la creación de un clima adecuado de intercambio y trabajo conjunto [5].

Tanto en el componente laboral, como en el extensionista, predomina la actividad productiva en sus diversas formas de ejecución, el estudiante opera y estudia, en condiciones naturales, los objetos y procesos reales, productivos o sociales. Las interrelaciones rebasan las establecidas en el ámbito de la actividad de estudio, para incorporar la interacción con otros profesionales que forman parte de los centros productivos o de servicios, o con otras personas de las áreas sociales o de la comunidad donde se realiza la práctica. La práctica laboral se produce, generalmente, fuera del aula o de la escuela, en espacios muy diversos, en dependencia del centro de práctica seleccionado.

El componente investigativo se centra en el enfoque científico-investigativo y en la aplicación de la metodología de la investigación científica en la actividad que se lleva a cabo. Puede realizarse en la clase, en cualquiera de las formas de las actividades laborales y extensionistas, o en formas específicas como trabajos extracurriculares, trabajos de curso y diploma u otras. Las interrelaciones que se establecen dependen del contexto en el cual se desarrolle la investigación; en las formas puramente investigativas, las relaciones adquieren el tipo de tutor-diplomante, tutor-investigador, entre otras.

Lo académico, lo laboral, lo investigativo y lo extensionista mantienen una estrecha interdependencia, forman un sistema en donde cada uno de ellos refuerza la acción de los restantes; y todo el proceso de formación del futuro egresado está en función de su inserción en el mundo laboral una vez graduado, por lo que lo académico y lo investigativo se dirigen a alcanzar este fin y a reforzar el componente laboral, aunque lo extensionista resulta importante en función de formar la responsabilidad social de los estudiantes.

Las actividades académicas, desde un enfoque científico-investigativo, deben preparar a los estudiantes, tanto en la teoría como en la práctica, para la realización de la práctica laboral y social y garantizar la discusión y el control de los resultados de las tareas laborales, investigativas y extensionistas. Las actividades laborales pueden constituir pequeñas investigaciones, que se lleven a cabo con todo rigor científico y que permitan comprobar hipótesis previamente trazadas ante el enfrentamiento y solución de los problemas. Los trabajos investigativos, curriculares y extracurriculares, de curso o de diploma deben

surgir en las actividades académicas, laborales y extensionistas y nutrir con sus resultados el proceso de aprendizaje y la práctica social.

La integración armónica de estos aspectos en el proceso de enseñanza-aprendizaje permite establecer una interrelación entre el estudio y el trabajo, que perfecciona la preparación profesional del estudiante y le posibilita enfrentar con éxito su práctica profesional futura, la trasformación sostenible de su entorno social y su vida personal, lo que se manifiesta en su crecimiento personal.

En el presente trabajo, la **determinación conjunta de las acciones del sistema académico-laboral-investigativo-extensionista**, se define como: toma de decisiones conjuntas, armónicas y corresponsables en la orientación, la ejecución y el control valorativo-proyectivo de las acciones, a partir de la formación de sentidos personales, en función de la integración de las necesidades de educadores y estudiantes con las exigencias del modelo del profesional.

Se destacan cuatro características esenciales que distinguen a esta condición. Ellas son:

- ✓ **Formación del sentido personal de las acciones:** reflexión cooperada y la toma de conciencia en torno a la relevancia de las acciones para la formación profesional y a su vínculo con las necesidades personales, que posibilita que adquieran significación personal para estudiantes y educadores.
- ✓ **Determinación conjunta de la orientación de las acciones:** toma de decisiones conjuntas, armónicas y corresponsables durante la formación de la base orientadora de la acción en las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.
- ✓ **Determinación conjunta de la ejecución de las acciones:** toma de decisiones conjuntas, armónicas y corresponsables durante la realización de las acciones en las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.
- ✓ **Determinación conjunta del control valorativo-proyectivo de las acciones:** toma de decisiones conjuntas, armónicas y corresponsables en la valoración del proceso, de su resultado y de las características personales influyentes en ellos; así como en la corrección de los errores y en la proyección del autoperfeccionamiento en las actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.

Propiciar la determinación conjunta por parte de los estudiantes y educadores de la orientación, ejecución y control de las acciones en el sistema integrado de actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas, posibilita el desarrollo de la autorregulación del estudiante durante el aprendizaje, así como que se establezcan vínculos de una gran carga afectiva con el contenido y el proceso de aprender que ayudan a la formación del sentido personal de estos, lo cual evita a su vez, el formalismo y el mecanicismo en este proceso. El conceder protagonismo a los estudiantes en las decisiones relativas a la planificación, realización y valoración del proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la cooperación con los educadores, refuerza la influencia de esta condición en el crecimiento personal.

**b. Transformación conjunta de la realidad social, profesional y personal**

El papel activo del estudiante y la necesidad de hacerlo transformador ha sido destacado por distintos autores [3], [5], [6], entre otros, lo cual demuestra la importancia de este aspecto en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se puede asumir una postura activa y no transformadora. Los autores de este trabajo [3] señalan que el estudiante: "…es activo cuando participa, busca, analiza, valora y comprueba la información obtenida; cuando busca, detecta, analiza, determina causas y alternativas para enfrentar y resolver problemas desde lo conocido y realizado en las actividades docentes o desde lo expresado en la bibliografía estudiada. Pero para lograr una postura transformadora, debe rebasar los límites de lo conocido o dicho y hecho por otros, para aportar algo nuevo."

Para lograr la transformación de la realidad social, profesional y personal es importante que en la acción cooperada de educadores y estudiantes se descubran, enfrenten y solucionen los problemas que se encuentran en su entorno profesional, social y personal. El descubrimiento de problemas reales del entorno y su enfrentamiento y solución a partir de la conciencia de lo necesario para su formación profesional y de su compromiso personal, tiene una influencia importante en los alumnos.

La contradicción es un elemento esencial que define al problema profesional, contradicción que está centrada en la necesidad de la solución y el no conocimiento de las vías que lo permiten, lo cual resulta un elemento dinamizador de la acción del sujeto en busca de las alternativas necesarias para resolverlo. Esto provoca un reto que hace que se implique en el proceso de solución, lo que, en opinión de los autores de este trabajo, resulta fundamental para lograr que sean transformadores.

Las exigencias que esto plantea tanto al educador, como a los estudiantes, son elevadas, ya que se requiere que asuman el descubrimiento de problemas, la elaboración de proyectos para su solución y su puesta en práctica en las actividades académicas, laborales e investigativas, así como en las extensionistas.

De lo anterior se desprende la importancia de que los estudiantes participen con los educadores, en proyectos de investigación, asumiendo la responsabilidad de la realización de distintas tareas dentro de esas investigaciones, vinculadas a los problemas detectados en las actividades laborales y de extensión universitaria.

A partir de las consideraciones anteriores, la **transformación conjunta de la realidad social, profesional y personal** se define como: acciones conjuntas de estudiantes y educadores dirigidas al descubrimiento de problemas de la realidad social, profesional y personal, así como a la elaboración y la ejecución de proyectos para su solución.

En esta definición se distinguen las siguientes características esenciales:

- ✓ **Descubrimiento conjunto de problemas de la realidad social, profesional y personal:** acciones conjuntas de estudiantes y educadores para la detección de problemas reales a los que se les puede dar solución a partir de los contenidos de las asignaturas.
- ✓ **Elaboración conjunta de proyectos de transformación:** acciones conjuntas de estudiantes y educadores para el diseño de proyectos dirigidos a la solución de los problemas sociales, profesionales y personales detectados.
- ✓ **Ejecución conjunta de los proyectos de transformación:** acciones conjuntas, de los estudiantes y los educadores para la solución de los problemas sociales, profesionales y personales detectados, mediante la realización de los proyectos elaborados.

Esta condición se encuentra estrechamente vinculada a la determinación conjunta de las acciones del sistema académico-laboral-investigativo. Es justamente en las actividades docentes, a partir de la interdependencia de las asignaturas, en la realización de tareas integradoras, en espacios de cooperación entre educadores y estudiantes, donde se produce la transformación social, profesional y personal, es decir, donde ocurre el descubrimiento de problemas reales, la elaboración de proyectos de transformación y su ejecución para lograr la solución de los problemas detectados.

A su vez la transformación social, profesional y personal le confiere un valor intrínseco a las actividades docentes, dado por su contenido profesional, por su expresión en la práctica social, y su connotación personal, lo que refuerza su sentido personal y posibilita la relación teoría-práctica y el autoperfeccionamiento tanto del proceso como de sus participantes; lo que genera vivencias relevantes que contribuyen a elevar la sensibilidad ante los problemas sociales, la motivación por la profesión, el desarrollo de la autoconciencia, de la autovaloración y de la responsabilidad, y la asunción de compromisos con el cambio y con la ejecución de las tareas investigativas, a partir de la formación del sentido personal de estas tareas.

**c. Establecimiento conjunto de una comunicación positiva**

Por último, esta tercera condición se define como: acciones conjuntas de educadores y estudiantes, que propicien el libre intercambio de vivencias e ideas; la autenticidad, la comprensión empática y la aceptación incondicional; el esclarecimiento de los roles; y la reducción de las resistencias al cambio; en las actividades académicas, laborales, extensionistas e investigativas. Esta condición se concreta en cuatro características esenciales:

- ✓ **Estimulación del libre intercambio de vivencias e ideas:** consiste en acciones conjuntas de educadores y estudiantes que promuevan la libre expresión y el debate en torno a lo que se piensa, se siente y se hace, sin temor a ser atacado y sin agredir a los demás.

- ✓ **Potenciación de relaciones auténticas, empáticas y de aceptación incondicional:** se define como acciones conjuntas de educadores y estudiantes que promuevan el mostrarse tal cual se es, ponerse en el lugar del otro, entender lo que piensa y siente y aceptarlo como es, respetando su modo de pensar, sentir y actuar.
- ✓ **Esclarecimiento de los roles de los participantes en el proceso:** son las acciones conjuntas dirigidas a esclarecer los roles de cada uno, sus alcances y límites en relación con los roles de los demás.
- ✓ **Reducción de las resistencias al cambio:** consiste en acciones conjuntas de educadores y estudiantes dirigidas a minimizar las amenazas y los temores generados por el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Esta condición se encuentra en estrecha interdependencia con las dos condiciones anteriores. Para que el proceso de enseñanza-aprendizaje propicie que los estudiantes sean transformadores, ha de lograrse una comunicación positiva y la transformación de la realidad social, profesional y personal, en un proceso en el que se determinen de manera conjunta las acciones del sistema de actividades académicas, laborales, investigativas y extensionistas.

Esto significa que para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea formativo es necesario que los estudiantes determinen, conjuntamente con los educadores, las actividades que se desarrollarán en el proceso, participando responsablemente, con voz y voto, en las decisiones que se tomen durante su planificación, ejecución y valoración. Es necesario, además, que estas actividades posibiliten la transformación de la práctica social y profesional, así como la autotransformación de cada estudiante y educador, lo que le confiere un sentido personal para cada cual.

Asimismo, es importante que esto se produzca en un proceso en el que se logre una comunicación positiva, a partir del libre intercambio y debate de ideas, vivencias y experiencias, en un ambiente de autenticidad, comprensión empática y aceptación incondicional, en el cual cada quien cumpla el rol que se le ha asignado y que ha asumido; venza las resistencias que puedan surgir; y enfrente y resuelva, con las ayudas pertinentes, los conflictos que emerjan durante el proceso.

Las tres condiciones mantienen relaciones de coordinación e interdependencia y son igualmente relevantes para lograr el cumplimiento de la función principal del sistema y su objetivo: la formación de estudiantes trasformadores de su entorno profesional, social y personal en correspondencia con sus necesidades y con las exigencias del Modelo del profesional.

Las tres condiciones se organizan estructuralmente y funcionan como un todo único, configurándose de manera particular en los diferentes momentos del proceso, en dependencia de la dinámica de las relaciones que se producen entre los participantes durante las acciones cooperadas que desarrollan en las actividades, mediante la transformación de la realidad social, profesional y personal. Cualquier cambio en alguna de las condiciones provoca transformaciones en todo el sistema. Precisamente, aun cuando otros autores han estudiado la influencia aislada de algunos elementos de estas condiciones en el desarrollo de los sujetos, una contribución de la investigación que se muestra en el trabajo es su concepción en sistema.

Gráficamente, el sistema se representaría así:

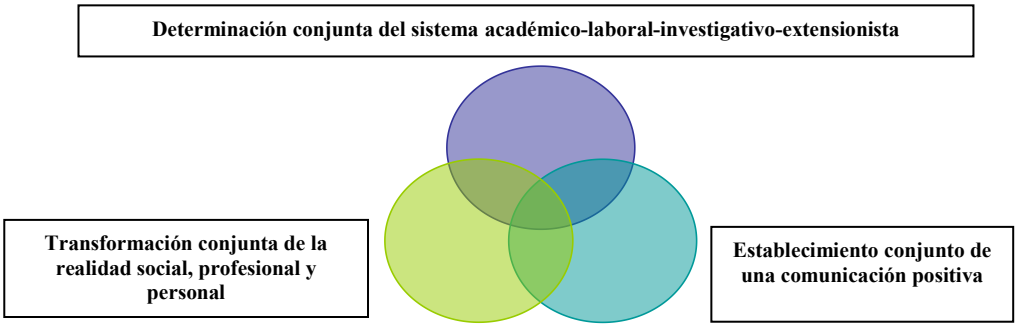


Fig. 1- Sistema de condiciones del proceso de enseñanza-aprendizaje formativo en la Educación Superior

El sistema que se presenta en el presente trabajo ha sido aplicado en las carreras técnicas de la Licenciatura en Educación de la antigua Universidad de Ciencias Pedagógicas de la Educación Técnica y Profesional "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar" y en carreras de ingeniería y arquitectura de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, con resultados que indican que se ha propiciado la formación de estudiantes protagonistas, activos y transformadores

El sistema de condiciones, como se infiere de lo tratado hasta aquí, no puede verse aislado de otros sistemas en los que está incluido y de otros con los que se vincula. El proceso de enseñanza-aprendizaje en sí mismo es un sistema que contiene los principios que lo rigen, el sistema de componentes y de funciones didácticos, sus ejecutantes (educador-estudiante-grupo) y el sistema de relaciones con el resto de la institución (otros grupos-clase, directivos), entre otros aspectos.

Con respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje, el sistema de condiciones está en una relación de inclusión y su función es la de propiciar la formación de estudiantes trasformadores de su entorno social, profesional y personal de un modo sostenible; mientras que con el resto de los subsistemas que están contenidos en ese proceso se encuentra en relaciones de coordinación, reforzándose e influyéndose mutuamente.

## 3. CONCLUSIONES

Para lograr que en las carreras se formen estudiantes transformadores de su entorno comunitario-social, profesional y personal, es importante que se conviertan en protagonistas activos en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se hace necesario transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje, a partir de tener en cuenta un conjunto de particularidades que se convierten en condiciones que propician el protagonismo de los estudiantes en la cooperación entre sí y con los educadores en busca de integrar las necesidades personales con las exigencias del modelo del profesional.

Los resultados de la aplicación de las condiciones que en este trabajo se reflejan, han mostrado su pertinencia y el cumplimiento de la finalidad del sistema.

## REFERENCIAS

1. VALLE, Alberto D. *La investigación pedagógica. Otra mirada*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2012. p. 84.
2. AVENDAÑO, Rita y MINUJIN, Alicia *Una escuela diferente*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988.
3. BERMÚDEZ, Raquel et al. "Concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje mediado por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en carreras de perfil técnico". Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría-Cujae. La Habana. 2020.
4. ROCHINA, Segundo C.; ORTIZ, Juan C.; PAGUAY, Lilián V. "La metodología de la enseñanza aprendizaje en la educación superior: algunas reflexiones". Universidad y Sociedad, 2020, vol.12 no.1.
5. GONZÁLEZ, Viviana L.; LÓPEZ, Alejandro; VALDIVIA, Jorge E.; CARVAJAL, Karina. "Clima de enseñanza favorecedor del aprendizaje. Un estudio en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama". Revista Educación, 2019, vol. 43, núm. 2, pp. 1-34.
6. VIGOTSKY, Lev Semiónovich. (1987) *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1987.
7. CORRAL, Roberto. "Formación basada en competencias en la educación superior cubana: una propuesta". *Revista Cubana de Educación Superior*. 2021, Vol. 40, N° 2.

**Sobre los autores**

**Lorenzo Miguel Pérez Martín:** Doctor en Ciencias Psicológicas; Profesor Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; miembro fundador de la Cátedra Vigotsky de la facultad de Psicología de la Universidad de La Habana, miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba y de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP), capítulo Cuba.

**Raquel Bermúdez Morris:** Doctora en Ciencias Psicológicas; Profesora Titular del Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE; Investigadora Titular; Coordinadora del Programa de doctorado en Ciencias de la Educación de la Cujae, Jefe del Proyecto Sectorial de investigación, miembro fundador de la Cátedra Vigotsky de la facultad de Psicología de la Universidad de La Habana, miembro de la Sociedad Cubana de Psicología, de la Sociedad de Pedagogos de Cuba y de la directiva de la Organización Internacional para el Fomento y Desarrollo del Pensamiento (OFDP) y Presidenta del capítulo Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# FORMACIÓN DE ESTUDIANTES TRANSFORMADORES DEL AMBIENTE FÍSICO Y SOCIAL EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Aliuska Xiomara Pino Rodríguez** [1]

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.
**e-mail: aliuska@automatica.cujae.edu.cu**

**RESUMEN**

Los estudiantes transformadores tienden a modificar el entorno. Se enfrentan a la realidad, son visionarios y originales al generar nuevas ideas. renuevan las existentes a partir de la búsqueda heurística, indagación personal, y orientados a lo diferente. En el área de Ciencias biológicas, en contextos anteriores, eran más pasivos y dedicados exclusivamente a almacenar información, para evaluarse posteriormente. Es por ello que el objetivo de este estudio es diseñar acciones para formar estudiantes que transformen el ambiente físico y social, en el área de Ciencias Biológicas. Es importante aportar ideas novedosas al quehacer pedagógico y educativo, en general. En tal sentido, los Profesores juegan un rol importantísimo, como agentes de cambios. Para desarrollar una educación de calidad, se necesita cultivar las capacidades de los estudiantes activando su pensamiento lógico y profundo. Ambas formas de pensamiento se complementan y son muy necesarias en el aprendizaje global de los estudiantes. Es pertinente porque estimula la indagación crítica dentro de la dinámica central de la docencia y del aprendizaje. A partir de la necesidad planteada, la investigación se ajusta a la siguiente idea: " Para el éxito del ambiente de aprendizaje es necesario que existan el suficiente espacio, ventilación, e iluminación para el desarrollo armónico de las diferentes actividades ya que estos elementos influyen en la conducta de nuestros estudiantes para su aprendizaje" [1]. Todos los elementos mencionados mejoran las condiciones del ambiente físico social en el que se desenvolverán los autores del proceso docente educativo, pues ello responde a la higiene escolar.

**PALABRAS CLAVES:** Proceso de formación; Estudiantes transformadores; Ambiente físico. Ambiente social.

## TRAINING STUDENTS TO TRANSFORM THE PHYSICAL AND SOCIAL ENVIRONMENT IN BIOLOGICAL SCIENCES

**ABSTRAC**

Transformative students tend to modify the environment. They face reality, are visionary and original when generating new ideas. Likewise, they renew existing ones based on heuristic search and personal inquiry, they are creative, and they are oriented towards what is different. In the area of Biological Sciences, in previous contexts, they were more passive and dedicated exclusively to storing information, to be evaluated later. That is why the main objective is to train students who transform the physical and social environment, in the area of Biological Sciences. It is important to contribute new ideas to pedagogical and educational work, in general. In this sense, Teachers play a very important role, as agents of change. To develop quality education, it is necessary to cultivate students' abilities by activating their logical and deep thinking. Both ways of thinking complement each other and are very necessary in the global learning of students. It is pertinent because it stimulates critical inquiry within the central dynamics of teaching and learning. Based on the stated need, the research adjusts to the following idea: "For the success of the learning environment, it is necessary that there be sufficient space, ventilation, and lighting for the harmonious development of the different activities since these elements influence the behavior of our students for their learning" (1). All the mentioned elements improve the conditions of the social physical environment in which the authors of the educational teaching process will operate, since this responds to school hygiene.

**KEY WORDS:** Formation process, Transformative students, Social environment, Physical environment

## 1. INTRODUCCIÓN

Formar estudiantes transformadores del ambiente físico y social constituye un reto en la actualidad. Este proceso lleva implícito diversas y complejas acciones, que se mencionan brevemente en este artículo, en especial, la relación entre entorno, aprendizaje y estimulación del pensamiento lógico de los estudiantes.

"El aprendizaje puede tener lugar en aulas, espacios al aire libre y cualquier entorno que favorezca la adquisición de conocimientos. Comprender en qué consiste un ambiente favorable de aprendizaje puede ayudarte a integrar las características en las aulas o a emplear técnicas de enseñanza para que los alumnos comprendan mejor las materias [2].

Asimismo, Ambiente favorable, encierra en sí: que el estudiante siempre domine el objetivo por el cual se encuentra en cada clase, tono de voz adecuado, colores adecuados del escenario donde se desarrollan las actividades, contenido accesible, utilización de medios de enseñanza, adecuado método, en correspondencia con el contenido, iluminación del lugar, buena temperatura ambiental, buena relación Profesor- alumno y buena atmósfera afectiva cognitiva.

Lo más importante en la formación de estudiantes transformadores en el área de Biología, se basa en que conozcan cuáles son los principales escenarios de la Disciplina, y garantizar un ambiente favorable para ello. Esto incluye: el salón de clases, los laboratorios, las áreas de organismos vivos y conservados, las prácticas de campo, así como las visitas a los centros científicos. Ellos necesitan de un intercambio permanente con la naturaleza. Simultáneamente, se vinculan con la protección de las áreas naturales, lo cual se concatena con el ambiente social. Ambos constituyen, a su vez: entornos de aprendizaje, que conllevan al estudiante a un nivel superior de formación.

Los entornos de aprendizaje son espacios bien organizados y administrados. Ofrecen horarios apropiados para el desarrollo, currículos y oportunidades en espacios interiores y exteriores a elección para jugar explorar y experimentar. Los entornos de aprendizaje incluyen equipos, materiales y suministros apropiados de acuerdo a la edad. Integran las culturas del hogar y son lo suficientemente flexibles para apoyar los cambios de edad, intereses y características de un grupo de niños a través del tiempo [3].

En Cuba existe un compromiso permanente con el cuidado de la naturaleza y se trabaja por formar valores en tal sentido. Los estudiantes transformadores deben comprender su impacto en el ambiente físico y social. Este tema es objeto de investigación, y tiene varias líneas de pesquisa en los centros pedagógicos, especialmente. Además, se refleja en el Reglamento del trabajo docente metodológico, destacando el papel del profesor como facilitador de la información. Muchos son los estudios relacionados con su aplicación, pero tadavia existen muchas falencias Entre ellas podemos señalar:

Insuficiente formación investigativa en los estudiantes transformadores.

Deficiencias en la preparación personal de los estudiantes transformadores con respecto al ambiente físico y social

Pocas acciones están encaminadas a estimular el pensamiento lógico de los estudiantes transformadores.

Es por ello, que el objetivo del presente estudio se centra en diseñar diseñar acciones para formar estudiantes que transformen el ambiente físico y social, en el área de Ciencias Biológicas

## 2. METODOLOGÍA

Para la realización de la investigación se tuvo en cuenta el método dialéctico materialista e histórico, pues se efectuó un análisis histórico-dialéctico de la foramación de estudiantes transformadores en el contexto actual. En tal sentido se fusionaron la unidad dialéctica con lo cuantitativo y lo cualitativo.

Los métodos del nivel teórico; el histórico-lógico, se aplicaron para el estudio evolutivo de la estimulación del pensamiento lógico de los estudiantes transformadores. También, la modelación facilitó la representación de las acciones, para establecer de relaciones entre el ambiente físico y social. El

método sistémico estructural-funcional permitió la determinación de todos los vínculos y las relaciones entre el pensamiento lógico, el aprendizaje y los cambios a producir en los ambientes: físico y social.

Como parte de los métodos de nivel empírico se empleó la revisión documental para revisar y procesar documentos oficiales relacionados con el análisis metodológico de la formación de estudiantes transformadores; además se analizó su influencia en los diferentes ambientes mencionados anteriormente.

El método de observación se empleó para comprobar en el cumplimiento de todas las acciones que estimulan el pensamiento lógico.

## 3. ACCIONES PARA LA FORMACIÓN DE ESTUDIANTES TRANSFORMADORES DEL AMBIENTE FISICO Y SOCIAL

En estos tiempos se hace inminente el uso de los programas basados en el hogar y el entorno de aprendizaje, los cuales incluyen espacios de socialización en el hogar, la comunidad y a nivel grupal. Con esta teoría se aprovecha la productividad de los adolescentes, según sus intereses, y el tiempo que dedican al empleo de la tecnología. En las áreas biológicas, se trabaja en función de que el estudiante aporte y transforme el ambiente físico y social, desde su perspectiva personal, para estimular su pensamiento lógico.

“El pensamiento lógico alude a la capacidad para resolver problemas, conceder ideas y formalizar conclusiones de manera coherente y sin contradicciones. Es un modo de pensamiento que relaciona las ideas, hechos, acciones o cosas de forma congruente" [4].

A partir de la definición dada, se analizan sus características esenciales, y se planifican las siguientes acciones:

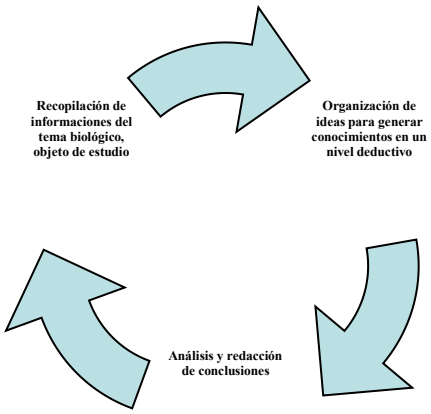



**Fig. 1. Acciones para estimular el pensamiento lógico**.

En Biología, al estudiar los procesos tales como: fermentación, fertilización, germinación, tropismo, hibridación, metamorfosis, fotosíntesis, transpiración, entre otros, se ponen de manifestación los procesos del pensamiento;... "los que se pueden agrupar de acuerdo con sus niveles de complejidad y abstracción, a saber: procesos básicos como: la observación, comparación y clasificación; así como los procesos

integradores: análisis, síntesis y evaluación" [5].



**Fig. 2 Proceso del pensamiento en Biología: la observación.**

La relación estrecha, que existe entre todas las acciones manifestadas, genera una incidencia directa en el ambiente social de los individuos. Ello se evidencia en el amor a la Naturaleza y en la protección de la misma, en medio de la sociedad.

" El entorno social, representa una serie de elementos que hacen referencia al ambiente en el que se desenvuelve el individuo (social y cultural), los cuales tienen una influencia en su conducta ya que son parte de sus costumbres y modos de vida" [6].

¿Qué ideas novedosas podrán aportar los estudiantes transformadores, al quehacer pedagógico y educativo?

Ellos podrán aportar características según las condiciones en las que vive una persona. Esto determinará algunos elementos a tener en consideración, desde el punto de vista social.

Describirán algunas características del lugar donde se desarrolle, lo cual hará alusión a flora, fauna, costumbres, y condiciones de vida.

Lo harán, explicando algunas características vividas, en su entorno y refiriéndose a los procesos, durante sus primeros años, pues este ambiente marcó las características de su condición de vida, y después pudo ampliarse.

Les corresponde a los Profesores trabajar arduamente en facilitar el aprendizaje de los estudiantes, y a su vez, ser receptivos en los aportes que ellos harán al ambiente social, desde su experiencia personal.

Asimismo, y teniendo en consideración, que el hombre es un ser biopsicosocial, se valoran los elementos psicológicos, biológicos y su relación con el entorno[7-8].

La implementación se propone atendiendo a cuatro etapas fundamentales:

Etapa 1- Valoración de las necesidades de los estudiantes transformadores; con la intencionalidad de aprovechar las ideas que ellos aportan en función de los procesos biológicos.

Etapa 2- Planificación de actividades metodológicas, científico-investigativas para la estimulación del pensamiento lógico.

Etapa 3- Preparación de los profesores y ejecución de las acciones de formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social.

Etapa 4- Evaluación del proceso de formación.

## 4. CONCLUSIONES

Los análisis realizados demuestran la necesidad de formar estudiantes transformadores del ambiente físico y social.

Se constataron las deficiencias y carencias teórico-metodológicas que afectan la estimulación del pensamiento lógico de los estudiantes, lo que evidencia la necesidad de transformación en correspondencia con las exigencias del contexto actual.

Las acciones que se presentan en este estudio constituyen la propuesta de solución a la necesidad declarada con anterioridad. Su esencia permite relacionar: la metodología con su implementación y evaluación.

## RECONOCIMIENTOS

La autora desea agradecer a todos los estudiantes y Profesores de la CUJAE, y de Uige (Angola), especialmente del CEBIO e ISCED, respectivamente, que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

1. Duarte, J. (2019). Ambientes de Aprendizaje. Una Aproximación Conceptual. Antioquia, Colombia.
2. García, L. (2021). ¿Qué es un ambiente de aprendizaje? Universidad Javeriana
3. Marzano, R. (2018). Dimensiones del pensamiento: un marco para el plan de estudios e instrucción.[a]Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
4. Editorial Equipo (2023). "Pensamiento". Disponible en: https://www.significados.com/pensamiento.
5. ... https://es.m.wikipedia.org › Wikipedia.(2022). Estudiantes transformadores.
6. Ministerio de Educación Superior. *Bases conceptuales para el diseño de los planes de estudio*. MES. Web oficial. La Habana. Cuba. 2021.
7. Ministerio de Educación Superior. *Plan de estudios E. Carreras de Ingeniería. Documento Ejecutivo*. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". La Habana. Cuba. 2018

8. CASTAÑEDA, Ángel Emilio. *Pedagogía, tecnologías digitales y gestión de la información y el conocimiento en la enseñanza de la Ingeniería Civil*. La Habana: Editorial Félix Varela. 2013.

**SOBRE LA AUTORA:**

Aliuska Xiomara Pino Rodríguez. Doctora en Ciencias Pedagógicas. Licenciada en Biología. Profesora en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" y Jefa de Departamento de Bioingeniería. Imparte docencia de pregrado y postgrado Anatomía y fisiología humana, Microbiología y Biologia Celular y Molecular. Ha desempeñado funciones como tutor y tribunal en Tesis de Grado, Especialidad, Maestría y Doctorado. Ha participado como ponente en eventos y seminarios nacionales e internacionales. Tiene publicaciones en Cuba y en el extranjero. Se desempeña como árbitro de la Revista Referencia Pedagógica de la Universidad Tecnológica de la Habana. Miembro del Proyecto: miembro del Proyecto sectorial que responde a la Formación de estudiantes transformadores del ambiente físico y social. Está cumpliendo misión y aplicando la investigación en la Republica de Angola desde diciembre del 2023.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EXPERIENCIAS EN INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN PARA ELABORAR EL PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

**Mariam Páez Vázquez[1], Ernesto Alejandro Estrada Parrón[2], Elio Santana Estrada[3], Marta María Rubio Tamayo[4]**

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS
mariampv1101@gmail.com

## RESUMEN

El presente trabajo recoge experiencias recientes en la investigación para la elaboración del programa arquitectónico de una residencia para maestros. La investigación tuvo como punto de partida, cursar la asignatura optativa Zona Especial de Desarrollo Mariel, con el objetivo de conocer la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM) y familiarizarse con los usos preferenciales previstos para los diferentes sectores que la componen, con énfasis particular en la elaboración del programa arquitectónico, ya que también se analizaron distintos tipos de programas arquitectónicos, de obras para el turismo y de obras sociales, utilizando como ejemplos obras de la Zona Especial de Desarrollo Mariel.
La investigación estuvo sustentada por un fuerte vínculo Universidad-Empresa bajo la guía de un Tutor Principal, (profesor de la Facultad de Arquitectura) y el apoyo de cotutores, todos arquitectos de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel. La investigación no se limitó a la recopilación de datos técnicos y funcionales, ya que también se llevó a cabo un diálogo con la comunidad y con directivos del departamento de educación, inversión y planificación del consejo de administración municipal del municipio Mariel, provincia Artemisa. Estas entrevistas con actores se facilitaron la elaboración del programa. El trabajo conjunto con la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel fue crucial en la configuración del diseño. Su experiencia y conocimiento técnico permitió traducir las necesidades de la comunidad educativa en soluciones arquitectónicas innovadoras y sostenibles.

**PALABRAS CLAVES:** Formación profesional, Proyectos de Alta Pertinencia, Extensionismo Académico, Vínculo Universidad-Empresa.

# EXPERIENCES IN RESEARCH AND EXTENSION FOR THE PREPARATION OF THE ARCHITECTURAL PROGRAM

## ABSTRACT

The present work collects recent experiences in research for the development of the architectural program of a residence for teachers. The research had as a starting point, taking the optional subject Mariel Special Development Zone, with the objective of knowing the Mariel Special Development Zone (ZEDM) and becoming familiar with the preferential uses planned for the different sectors that make it up. The research was supported by a strong University-Company link under the guidance of a Principal Tutor (professor of the Faculty of Architecture) and the support of co-tutors, all architects from the Mariel Architecture and Engineering Projects Company. The investigation was not limited to the collection of technical and functional data, since a dialogue was also carried out with the community and with directors of the education, investment and planning department of the municipal administration council of the Mariel municipality, Artemisa province. This interviews with actors facilitated the development of the program. The joint work with the Mariel Architecture and Engineering Projects Company was crucial in shaping the design. Their experience and technical knowledge made it possible to translate the needs of the educational community into innovative and

sustainable architectural solutions, shaping a space that not only fulfills the basic functions, but also encourages interaction, collaboration and a sense of belonging.

KEYWORDS: Professional training, Highly Relevant Projects, Academic Extensionism, University-Business Link.

## 1. INTRODUCCIÓN

El extensionismo académico es una forma de transferencia de conocimiento que consiste en la aplicación práctica de los conocimientos y habilidades generados en la academia, a través de la interacción con la comunidad y el sector productivo. Es decir, es un puente entre la investigación, la enseñanza y la aplicación práctica en la sociedad. Implica una relación de intercambio entre la academia y la comunidad, no solo un flujo unidireccional de información desde la universidad, fomentando la participación activa de la comunidad en la identificación de necesidades, la co-creación de soluciones y la evaluación de los resultados. Busca resolver problemas reales de la comunidad, contribuyendo al desarrollo social, económico y cultural y promoviendo la sostenibilidad de los proyectos de extensión, asegurando su impacto positivo a largo plazo. Genera un mayor impacto social, permitiendo que el conocimiento generado en la academia tenga un impacto real en la vida de las personas, de esta forma se promueve la participación ciudadana y el desarrollo de la comunidad. Fomenta la vinculación de la universidad con el sector productivo y social, por lo que se crea un mayor reconocimiento social de la universidad en la sociedad.

Una de las formas más comunes del extensionismo académico es el vínculo universidad-empresa el cual se refiere a la relación colaborativa y estratégica que se establece entre las instituciones de educación superior y las empresas del sector productivo. Esta relación busca generar un intercambio de conocimientos, recursos y experiencias que beneficie a ambas partes, promoviendo la innovación, el desarrollo tecnológico y la competitividad. Busca generar beneficios para ambas partes, como la generación de nuevas tecnologías, la formación de talento humano, la mejora de la competitividad empresarial y la generación de impacto social. Se puede manifestar a través de diferentes mecanismos, como la investigación conjunta, la transferencia tecnológica, la formación de personal y la consultoría empresarial. Trae múltiples beneficios, para la universidad: mayor relevancia social de la investigación, acceso a recursos para financiar proyectos de investigación, formación práctica de estudiantes en entornos reales, mayor visibilidad y reconocimiento en el sector productivo y oportunidades de desarrollo de tecnologías innovadoras; para la empresa: acceso a conocimientos y tecnologías de vanguardia, desarrollo de soluciones innovadoras a sus desafíos, atracción de talento humano altamente cualificado, impacto social positivo a través de la innovación, y mejora de la competitividad y el desarrollo sostenible.

La ubicación de las universidades en las principales urbes hace que sus conexiones con las necesidades locales y los conocimientos que en esos espacios circulan suelan ser muy limitadas y en la mayoría de las veces inexistentes. Al respecto, Díaz-Canel & Fernández (2020) reflexionan acerca de que, para acompañar el desarrollo territorial, las universidades, deben modificar sus modos tradicionales de relacionarse con el entorno y avanzar hacia mejores diálogos con los actores y necesidades locales, desplazando el clásico modelo de oferta de conocimientos, por procesos de construcción conjunta de saberes.[1] Esta reflexión, quizás pudiera parecer una tarea simple de lograr, pero en realidad, supone cambios en las prácticas científicas y tecnológicas más tradicionales, las cuales están muy arraigadas en las comunidades académicas.

La experiencia que se expone tuvo su germen en el desarrollo de la asignatura optativa Zona Especial de Desarrollo Mariel donde se combinaron tareas de investigación, formación y extensión, para la obtención de un programa arquitectónico para una residencia para maestros con espacios de estudio y formación profesional en Quiebra Hacha. Para dar seguimiento a esta investigación, se decide realizar el ejercicio de culminación de estudios, sobre este mismo tema, donde el extensionismo se consolida aún más, a través de un trabajo conjunto con la Zona Especial de Desarrollo Mariel, (ZED Mariel), obra de suma importancia, que ofrece grandes potencialidades de aprendizaje para los estudiantes, con objetivos de alta pertinencia, y una visión de desarrollo sostenible en sus criterios de diseño, todo lo que constituye un gran estímulo para la participación de los estudiantes.

La Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS, constituye la entidad de proyecto designada para la atención de la ZED Mariel, como Proyectista Principal, y cuenta con una cantidad de especialistas con mucha experiencia y con una base tecnológica muy avanzada en su equipamiento, lo que permitió contar con la participación de un grupo de especialistas que colaboran con el proceso de enseñanza aprendizaje, y que los estudiantes se vinculen a trabajos de total actualidad, interesantes y pertinentes dentro de la comunidad y de la entidad empresarial.

## 2. PROCESOS Y MÉTODOS

La investigación se sustenta en una fuerte actividad investigativa y extensionista, expresado dentro de actividades prácticas, como parte de la aplicación de herramientas investigativas, que permiten llegar a conocer mejor el problema y las potenciales soluciones, en este sentido se realizaron, constantes visitas al sitio de intervención , entrevistas con actores estatales y algunos docentes, futuros beneficiarios del proyecto para un Corredor Cultural en Quiebra Hacha y el desempeño de un proceso de diseño, donde se contó con la opinión personal de maestros que estuvieran albergados en residencias académicas, y con la colaboración de arquitectos, ingenieros civiles e hidráulicos, de la EMPAI Mariel. En este proceso de diseño se desarrollaron capacidades reflexivas, predictivas, creativas, e innovativas, que a modo de resumen se interpreta como un proceso de "aprender aprendiendo"

Se puede afirmar que se está en presencia de la interrelación de tres elementos fundamentales: el Gobierno, la Industria y la Universidad, tríada que se denomina "Triángulo de Sábato" (ver figura 1). Uno de sus vértices representa la infraestructura científico-tecnológica.

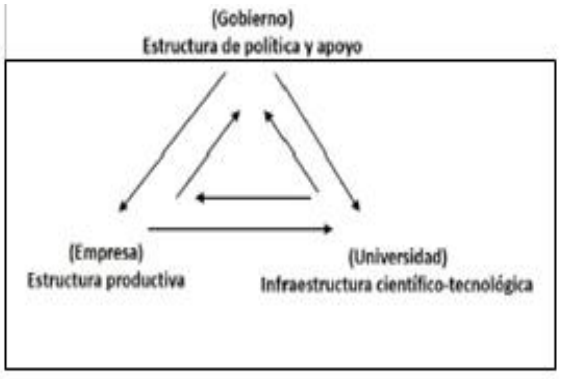



Fig. 1. Esquema del modelo "Triángulo de Sábato"

Esta contiene el conglomerado de instituciones del sector educativo, los centros
de desarrollo tecnológicos, laboratorios y demás instituciones que se dedican a la investigación. Por tanto, hace alusión a la academia, simbolizando a la vez, la creatividad de la mente humana. Por otra parte, el vértice estructura productiva, es el conjunto de bienes y servicios que pertenecen a los sectores de la economía de una región determinada. O sea, son aquellas empresas que ofrecen alternativas de consumo para mejorar su productividad y competitividad, son el motor de empleo y desarrollo de un país.

El vértice gobierno refleja el conjunto de instituciones publica que tienen por objetivo formular políticas y moviliza recurso desde y hacia los vértices de estructura productiva y estructura científico tecnológica.
Como se puede observar, la dinámica de este modelo hace que la información fluya en los dos sentidos. Esto significa que cada organización involucrada –de acuerdo a sus funciones– interactúa con las demás. Y, lo principal, a decir de Rodríguez (2016) es que engrana los mecanismos que permiten el avance científico y tecnológico, en beneficio del desarrollo de un país [3].
La Universidad, la Empresa y el Gobierno, han interactuado de manera complementaria, buscando acuerdos de beneficio mutuo para sus planes y objetivos. Este modelo permite observar la vinculación como un proceso libre de diferencias entre disciplinas y tipos de conocimiento, en donde la universidad tiene un papel estratégico y es la base para generar las relaciones con la industria.

Dentro de esta experiencia se ha podido evidenciar la necesidad de la construcción de entornos colaborativos, estableciendo relaciones y alianzas efectivas que permitan la transferencia de

conocimientos y la obtención de un resultado práctico que satisfagan necesidades o aprovechen oportunidades actuales del entorno.

En este sentido, se coincide con Barrios & Olivero (2020), en que, en la medida que las organizaciones involucradas tengan claridad acerca de su propia estrategia y conciban la colaboración como algo más que un instrumento para alcanzar fines y conseguir ventajas individuales u objetivos en el corto plazo, los esfuerzos compartidos les permitirán alcanzar metas a largo plazo [4]. Esta experiencia permitió alcanzar un nivel profesional mucho más alto durante el proceso, tanto para estudiantes como para los especialistas participantes, que también resultaron favorecidos con la interacción en el campo de lo académico y de lo investigativo dentro de la actividad del diseño, que les ha generado nuevas experiencias y conocimientos, lo que ha resultado en un constante proceso de superación profesional.

## 3. RESULTADOS

### Primera etapa de la asignatura optativa

| Subsistema | Espacios | Cantidad |
|---|---|---|
| Alojamiento | Local de ama de llaves | 1 |
| | Cuarto de camareras | 1 |
| | Habitación simple | 15 |
| | Habitación doble | 6 |
| | Habitación triple | 5 |
| | Mini suite | 4 |
| | Baños | 1 x hab |
| Administración, técnico y de mantenimiento | Oficina administrativa | 1 |
| | Oficina gerente | 1 |
| | Local de mantenimiento | 1 |
| | Local de corrientes débiles | 1 |
| | Local de climatización | 1 |
| | Local de bombas | 1 |
| | Local de PGD | 1 x nivel |
| | Lavandería | 1 |
| Estudio y recreación | Cibercafé | 1 |
| | Biblioteca | 1 |
| | Coworking | 2 |
| | Sala de estar | 1 x nivel |
| Gastronómico | Restaurante | 1 |
| | Bodega general | 1 |
| | Almacén seco | 1 |
| | Andén | 1 |
| | Cámara fría | 1 |
| | Baños | 1 |
| | Cafetería | 1 |
| | Cocina | 1 |
| Subsistema público comercial | Patio interior | 2 |
| | Tienda | 1 |
| | Punto de ETECSA | 1 |
| | Baños | 1 |
| | Vestíbulo principal | 1 |
| | Registro | 1 |
| | Información al cliente | 1 |
| | Baños | 1 |
| | Cajeros automáticos | 4 |
| | Espacios de estar | 1 x nivel |
| | Estacionamiento | 1 |
| | Espacio multifuncional | 2 |

Tabla 1. Programa arquitectónico obtenido en la asignatura optativa

La actividad extensionista durante la asignatura optativa Zona Especial de Desarrollo Mariel, hizo posible el desarrollo de un programa arquitectónico para un hostal académico en Quiebra Hacha, el cual se sometió a cambios en el transcurso de la investigación. Se obtuvo un programa arquitectónico que tiene como línea principal, un programa de formación y desarrollo profesional diseñado para brindar a los docentes tanto expertos como principiantes la oportunidad de observar y participar activamente en la enseñanza, planificación de lecciones, evaluación de estudiantes y otras responsabilidades docentes. Fue concebido a partir del estudio de los diferentes subsistemas que conforman las instalaciones que ofrecen servicios de alojamiento académico. Teniendo esto en cuenta, la instalación se dividió en los siguientes subsistemas: subsistema de alojamiento, subsistema administrativo, técnico y de mantenimiento, subsistema de estudio y recreación, subsistema gastronómico y subsistema público comercial.

Cuenta con diversas opciones de habitaciones, espacios para el estudio, variadas ofertas gastronómicas, así como espacios para la recreación. Debe ser una instalación que de respuesta a las necesidades del mercado académico a la vez que incorporen las tecnologías y el confort que demanda la vida actual.

**Capacidades:**

Total de habitaciones: 30
Habitación simple: 15
Habitación doble: 6
Habitación stripple: 5
Mini suite: 4

**Segunda etapa, informe para las asignaturas herramientas avanzadas profesionales**

En el Plan E, se incorpora una nueva asignatura, "Herramientas avanzadas profesionales", que es parte de la malla curricular del último año, para este plan. Y a pesar de que esta etapa no contara con la consultoría directa de los profesionales de la EMPAI Mariel, sirvió como una experiencia en la investigación y extensión para la obtención del programa arquitectónico, con la posibilidad de utilizar en los ejercicios temas propuestos por cada estudiante. Esta asignatura pretende profundizar en los procedimientos, métodos y herramientas utilizados como parte de los diferentes modos de actuación del profesional de Arquitectura, integrando diferentes aristas y variables con un mayor nivel de complejidad, sobre el proceder del trabajo del arquitecto en pos de la solución de problemas de la realidad, siendo el objetivo general la elaboración de un informe resultado de una investigación bibliográfica de temática libre que discuta alguna herramienta o modo de hacer de la profesión.

A partir de que era decisión del autor el tema a plantear en el programa, se opta por continuar con el tema de la optativa, con una mirada hacia los requerimientos de diseño para una residencia para maestros en la Zona Especial de Desarrollo Mariel, (que estaba planteado como posible tema para el trabajo de diploma). con el objetivo de definir las características que deben tener las edificaciones a construir en la Zona Especial de Desarrollo Mariel que puedan albergar de forma eficiente las funciones que les corresponden como residencia para maestros, dando como resultado la elaboración de un programa de proyecto, que sentará las bases para la realización futura del ejercicio de culminación de estudios.

- **Propuestas en líneas generales, programa y zonificación.**



Fig. 2. Áreas comunes como salas de estudio




Fig. 3. Habitaciones privadas y compartidas



Fig. 4. Ubicación de espacios alrededor de patios interiores



Fig. 5. Espacios sociales



Fig. 6. Áreas tranquilas y bien iluminadas



Fig. 7. Volumen grecado para facilitar la ventilación interior



Fig. 8. Buena expresión formal



Fig. 9. Utilización de texturas y color para enfatizar accesos y



Fig. 10. Aljibes para recolectar agua de lluvia



Fig. 11. Diseño rentable

- **Propuesta en líneas generales. Estética formal y espacial**

- **Propuesta en líneas generales. Estrategias de sostenibilidad**



Fig. 12. Instalación de sistemas fotovolta circulaciones



Fig. 13. Instalación de sistemas fotovolta circulaciones

- **Propuesta de programa arquitectónico**

| Subsistema | Espacios | Cantidad | Área($m^2$) | Superficie total($m^2$) |
|---|---|---|---|---|
| Alojamiento | Local de ama de llaves | 1 | 10 | 10 |
| | Cuarto de camareras | 1 | 12 | 12 |
| | Habitación simple | 15 | 12 | 180 |
| | Habitación doble | 6 | 21 | 126 |
| | Habitación triple | 5 | 28 | 140 |
| | Mini suite | 4 | 10 | 40 |
| Administración, técnico y de mantenimiento | Oficina administrativa | 1 | 18 | 18 |
| | Oficina gerente | 1 | 20 | 20 |
| | Servicio sanitario | 1 | 6.50 | 6.50 |
| | Local de mantenimiento | 1 | 20 | 20 |
| | Local de corrientes débiles | 1 | 10 | 10 |
| | Local de bombas | 1 | 8 | 8 |
| | Local de PGD | 1 x nivel | 1 | 1 |
| | Lavandería | 1 | 50 | 50 |
| | Servicio sanitario (Taquillas, Duchas) | 1 | 40 | 40 |
| Estudio y recreación | Cibercafé | 1 | 100 | 100 |
| | Biblioteca | 1 | 60 | 60 |
| | Coworking | 2 | 40 | 80 |
| | Sala de estar | 1 x nivel | 30 | 30 |
| Gastronómico | Restaurante | 1 | 80 | 80 |
| | Bodega general | 1 | 50 | 50 |
| | Almacén seco | 1 | 10 | 10 |
| | Andén | 1 | 15 | 15 |
| | Cámara fría | 1 | 10 | 10 |
| | Servicio sanitario | 1 | 25.50 | 25.50 |
| | Cafetería | 1 | 70 | 70 |
| | Cocina | 1 | 150 | 150 |
| Subsistema público comercial | Patio interior | 2 | 100 | 200 |
| | Tienda | 1 | 40 | 40 |
| | Punto de ETECSA | 1 | 30 | 30 |
| | Servicio sanitario | 1 | 35 | 35 |
| | Vestíbulo principal | 1 | 30 | 30 |
| | Registro | 1 | 10 | 10 |
| | Información al cliente | 1 | 10 | 10 |
| | Cajeros automáticos | 4 | 2.5 | 10 |
| | Espacios de estar | 1 x nivel | 30 | 30 |
| | Estacionamiento | 1 | 400 | 400 |
| | Espacio multifuncional | 2 | 100 | 200 |

Tabla 1. Programa arquitectónico propuesto en la asignatura Herramientas.

En esta asignatura se trabaja en base a lo propuesto en la optativa, y en lo que sería el tema de tesis. En esta nueva versión se realizan cambios en los espacios de los diferentes subsistemas, y se estiman las áreas de estos espacios, a partir del análisis de repertorio y de los requerimientos funcionales de cada espacio de la residencia, se estima que el conjunto ocupe un área de aproximadamente 2 357 $m^2$, contemplando los espacios básicos, que debe tener este tipo instalación.

**Tercera etapa, Ejercicio de Culminación de Estudios (ECE)**

Cursar la optativa de la ZED Mariel hizo posible que anterior al ejercicio de culminación de estudios fuera posible, familiarizarse con algunos conocimientos de la ZED Mariel, de forma muy preliminar. Para el ejercicio de culminación de estudios se trazó un cronograma de trabajo por etapas con un alto nivel de detalles a ir cumplir de forma periódica y sistemática, trabajando intensamente, con márgenes de tiempo muy cortos y controlados en cada paso del proceso.
Se comenzó con un estudio bibliográfico y la realización de entrevistas y visitas a objetivos relacionados con el tema. En este sentido se entrevistó a un grupo de profesores del IPU José Miguel Pérez, ubicado en el municipio Plaza de la Revolución, profesores que se encuentran albergados en la

residencia para maestros, "Los Ocujes", en el municipio El Cerro. La entrevista trató temas referentes a las necesidades y requerimientos de la residencia.



Fig. 15. Residencia para maestros, “Los Ocujes”



Fig. 17. Comedor



Fig. 16. Habitación

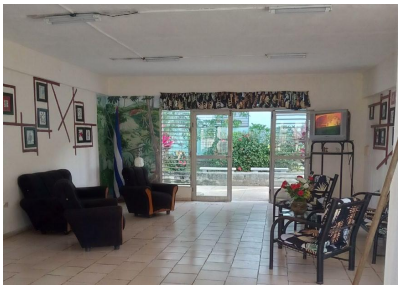


Fig. 18. Lobby

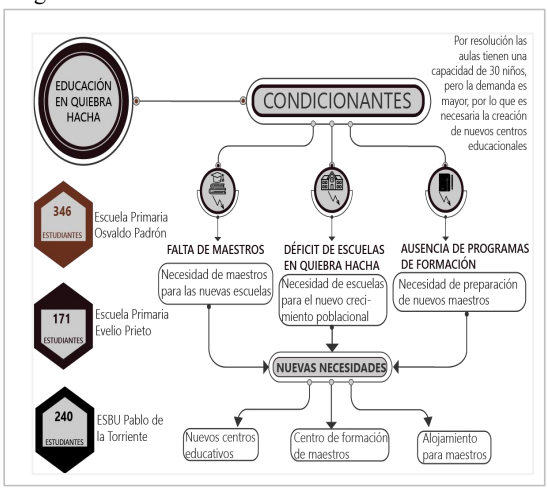
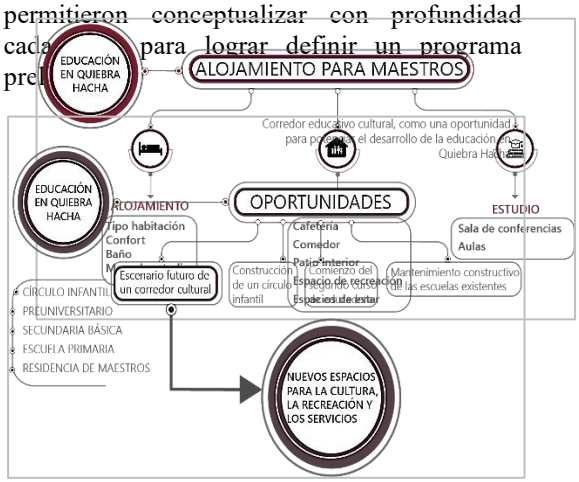



Fig. 19, 20, 21. Resultado de entrevista realizada a Marilyn Torres Santana, jefa del departamento de educación, inversión y planificación del consejo de administración municipal del municipio Mariel, provincia Artemisa

Posteriormente se realizó el análisis del área de estudio, beneficiado de que la localización de las obras fuera dentro del mismo asentamiento, (Quiebra Hacha), y que formaran parte de un conjunto de edificios dentro de la misma zona de esa comunidad, (El Corredor Cultural). Esto favoreció la caracterización del sitio y el trabajo en equipo que permitió avanzar con mayor rapidez. Se realizaron visitas al sitio y a la comunidad de forma directa y presencial, pudiendo tomar personalmente los datos necesarios, además de contar con la necesaria información técnica que se utiliza para el diseño, como son la información topográfica y otros documentos de base. Los aspectos analizados permitieron conceptualizar con profundidad cada [illegible] para lograr definir un programa pre[illegible]



| OBRA | LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO | SOLUCIÓN VOLUMÉTRICO-FORMAL | PROGRAMA ARQUITECTÓNICO | SOLUCIONES DE SOSTENIBILIDAD | IMAGEN |
|---|---|---|---|---|---|
| Residencia de estudiantes París XVIII | La Chapelle, al este del distrito 18 de París, Francia | Volúmenes dispuestos alrededor de un patio interior | Todos los espacios comunes se abren a un patio central | Estrategias pasivas |  |
| Dormitorios para estudiantes y profesores en la ciudad del saber | Rodeado de árboles. Ciudad de Panamá | Nueve bloques conectados por una pasarela lineal | Planta baja libre como un espacio público de reunión, sociabilidad y acceso | Estrategias pasivas y activas |  |
| Colegio Mayor Gregorio Marañón | Centro histórico de Toledo, España | Volumen dispuesto alrededor de una plaza | No se sirve ningún servicio de restauración. Dos cocinas equipadas para preparar y guardar comidas | Estrategias pasivas |  |

Tabla 3. Fundamentación del programa arquitectónico, basada en el análisis de referentes internacionales

| OBRA | LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO | SOLUCIÓN VOLUMÉTRICO-FORMAL | PROGRAMA ARQUITECTÓNICO | SOLUCIONES DE SOSTENIBILIDAD | IMAGEN |
|---|---|---|---|---|---|
| Residencia para maestros "Los Ocujes" | Zona dispersa y de mucha vegetación. El Cerro, La Habana | Cuatro bloques; dos residenciales, uno público-administrativo y otro gastronómico | Presencia de un área deportiva | Estrategias pasivas |  |
| Residencia estudiantil, Universidad de Ciencias Informáticas | Zona dispersa, caracterizada por la vegetación. La Lisa, La Habana | Bloques habitacionales de 3 a 5 niveles | Servicios gastronómicos y recreativos en apartamentos adaptados para esa función | No es sostenible, entre otras causas debido a un consumo de agua que sobrepasa lo normado y al consumo energético elevado de 50-60 MW diarios |   |
| Hotel de la Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE | Zona dispersa, caracterizada por la vegetación. Marianao, La Habana | Volumen rectangular de 5 niveles | El restaurante ofrece a los huéspedes desayuno, almuerzo y comida | Estrategias pasivas |  |

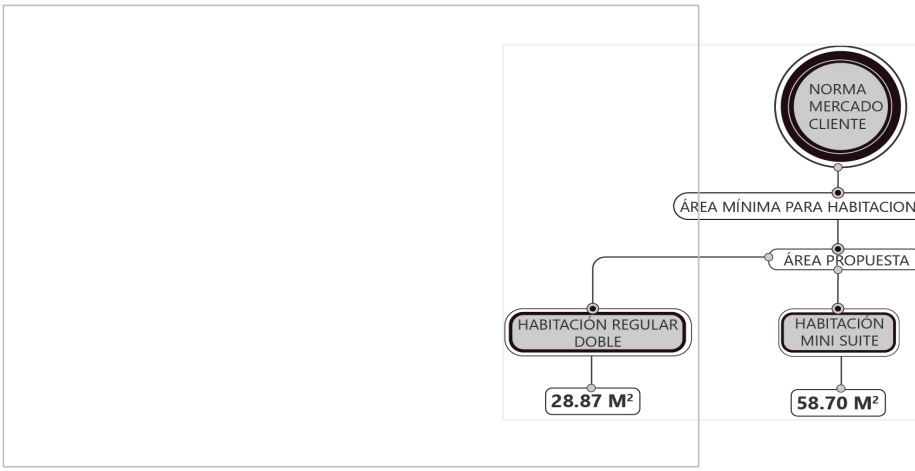
Integración de manera armoniosa con el entorno circundante
Desde diseños tradicionales hasta propuestas contemporáneas
Implementar estrategias sostenibles en el diseño y operación

GENERALIZACIÓN

Tabla 4. Fundamentación del programa arquitectónico, basada en el análisis de referentes nacionales




Fig.22. y Fig. 23. Fundamentación del programa arquitectónico



**PROPUESTA DE PROGRAMA ARQUITECTÓNICO**

| SUBSISTEMAS | CANTIDAD | SUPERFICIE (m²) | |
|---|---|---|---|
| SUPERFICIE TOTAL ALOJAMIENTO | | | |
| Habitación regular doble | 36 | 28.87 | 1039.32 |
| Mini Suite | 8 | 58.70 | 469.60 |
| Junior Suite | 8 | 54.25 | 434 |
| Oficina de ama de llaves | 1 | 20.37 | 20.37 |
| Equipos e insumos de limpieza | 1 | 15.30 | 15.30 |
| Ropa limpia | 1 | 20.40 | 20.40 |
| Lavandería | 1 | 30.54 | 30.54 |
| Local de camareras | 8 | 12.94 | 103.52 |
| Elevador de servicio | 1 | 2.22 | 2.22 |
| TOTAL | | | 2135.57 |
| PÚBLICO/DOCENTE | | | |
| Lobby | 1 | 281.06 | 281.06 |
| Recepción | 1 | 8.22 | 8.22 |
| Jefe de carpeta | 1 | 6.75 | 6.75 |
| Custodia de equipajes | 1 | 6.28 | 6.28 |
| Escaleras públicas | 1 | 13.20 | 13.20 |
| Ascensores públicos | 2 | 2.22 | 4.44 |
| Escaleras de escape | 2 | 9.41 | 18.82 |
| Servicio sanitario femenino | 1 | 23.11 | 23.11 |
| Servicio sanitario masculino | 1 | 21.92 | 21.92 |
| Sala de documentación | 1 | 58.80 | 58.80 |
| Salón de conferencias | 1 | 75.28 | 75.28 |
| Aulas | 2 | 40.70 | 81.40 |
| Coworking | 1 | 39.50 | 39.50 |
| TOTAL | | | 638.78 |
| GASTRONÓMICO | | | |
| Cafetería | 1 | 47.28 | 47.28 |
| Restaurante/Comedor | 1 | 96.89 | 96.89 |
| Cibercafé | 1 | 61.87 | 61.87 |
| Comedor de servicios | 1 | 53.72 | 53.72 |
| Andén | 1 | 37.08 | 37.08 |
| Oficina jefa de abastecimiento | 1 | 12.56 | 12.56 |
| Andén sucio | | | |
| Basura | 1 | 17.29 | 17.29 |
| Materia Prima | 1 | 11.31 | 11.31 |
| Almacenes | | | |
| Bebidas y licores | 1 | 18.75 | 18.75 |
| Víveres secos | 1 | 20.53 | 20.53 |
| Cámara fría | 1 | 26.57 | 26.57 |
| Insumos | 1 | 39.03 | 39.03 |
| Viandas, frutas y vegetales | 1 | 21.58 | 21.58 |
| Cocina | 1 | 123.49 | 123.49 |
| Preparaciones | 2 | 10.33 | 20.66 |
| Cocción | 1 | 6.57 | 6.57 |
| Fregado de cocción | 1 | 4.32 | 4.32 |
| Entrega del servicio | 1 | 14.92 | 14.92 |
| Fregado del servicio | 1 | 17.66 | 17.66 |
| Closet de limpieza | 1 | 1.34 | 1.34 |
| Montacargas | 2 | 2.22 | 4.44 |
| Stock de alimentos | 1 | 16.17 | 16.17 |
| Servicio sanitario y taquillas | 1 | 7.13 | |
| 7.13 femenino | | | |
| Servicio sanitario s taquillas masculino | 1 | 7.13 | 7.13 |
| TOTAL | | | 587.95 |
| | | | |
| Gerencia | 1 | 10.94 | 10.94 |
| Administración | 1 | 14.24 | 14.24 |
| Recursos humanos | 1 | 13.85 | 13.85 |
| Economía | 1 | 13.85 | 13.85 |
| Comercial | 1 | 9 | 9 |
| Salón de reuniones | 1 | 16.68 | 16.68 |
| Pantry | 1 | 5.82 | 5.82 |
| Recepción | 1 | 14.58 | 14.58 |
| TOTAL | | | 94.96 |
| TECNICO-MANTENIMIENTO | | | |
| Local de mantenimiento | 1 | 41.30 | 41.30 |
| | | | |
| Pañol de herramientas | 1 | 19.61 | 19.61 |
| Almacén | 1 | 19.72 | 19.72 |
| Servicio sanitario y taquillas femenino | 1 | 14.21 | 14.21 |
| Servicio sanitario y taquillas masculino | 1 | 14.21 | 14.21 |
| **Áreas técnicas** | | | |
| Corrientes débiles | 1 | 11.35 | 11.35 |
| Local de bombas | 1 | 28.68 | 28.68 |
| Centro general de distribución y planta de emergencia | 1 | 42.16 | 42.16 |
| Subestación de transformadores principales | 1 | 20.51 | 20.51 |
| **Depósitos** | | | |
| Cisterna | 1 | 48.96 | 48.96 |
| Aljibe | 1 | 33.89 | 33.89 |
| **TOTAL** | | | 294.60 |
| **TOTAL DE TODOS LOS SUBSISTEMAS** | | | **3879. 35** |

Tabla 5. Programa arquitectónico propuesto para el ECE.

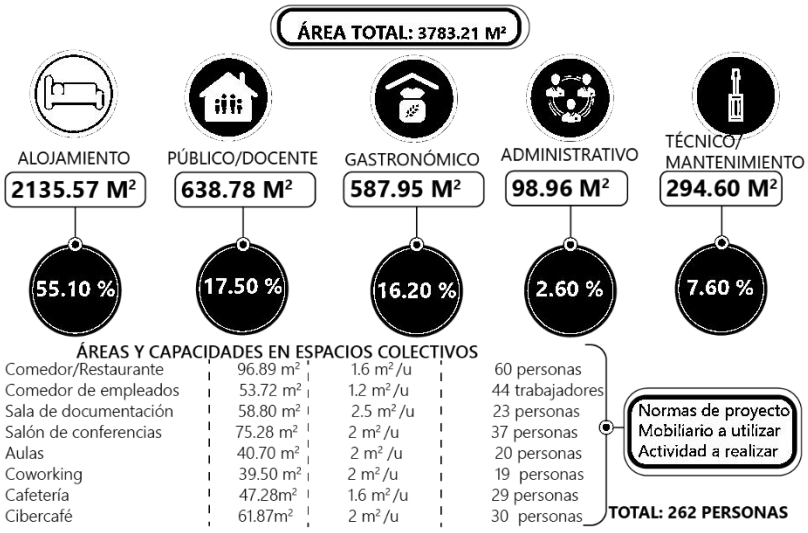



Fig.24. Relación de áreas y subsistemas



Fig. 25. Actividad de predefensa de tesis, presentaciones y consultas. Grupo de Investigaciones de Diseño



Fig. 26. Asesoría de tutores en la empresa Diseño, GEIDOS



Fig. 27. Presentación a modo de seminario en la empresa

Se obtuvo como resultado una propuesta basada en criterios de diseño sostenible. En la etapa final se realizaron consultas frecuentes; y presentaciones periódicas a modo de seminarios ante el colectivo de tutores, especialistas y otros compañeros de estudio. También resultó importante la posibilidad del uso de tecnologías dentro de la empresa con asesoramiento de especialistas con experiencia en diseño y presentación. Resulto de mucha importancia el apoyo de tutores, cotutores y otros especialistas de GEIDOS. Paralelamente se unieron esfuerzos a partir de la actividad de predefensa, con uno de los grupos de investigación de la Facultad de Arquitectura, (Grupo de Diseño), para realizar presentaciones y consultas. Todas estas actividades en su conjunto contribuyeron a la comprensión de los del proceso de diseño y a la obtención de un correcto programa arquitectónico. De esta forma, el uso de las herramientas de investigación adecuadas, el vínculo directo con la empresa, la población y sus actores, la consulta con múltiples especialistas y la posibilidad del uso de tecnologías mediante el vínculo con la Empresa, los ejercicios repetidos de defensa, y el esfuerzo realizado, hicieron posible que en un período de cuatro meses se pudiera desarrollar un muy buen trabajo.



## VALORACIÓN ECONÓMICA Y APORTE SOCIAL

La colaboración interdisciplinaria y la participación comunitaria pueden estimular la innovación en el diseño arquitectónico, lo que genera un producto único y adaptable a las necesidades específicas de los maestros. La integración de criterios de sostenibilidad en el diseño, como la eficiencia energética, el uso de materiales ecológicos y la gestión de residuos, minimiza el impacto ambiental de la residencia, de conjunto con la investigación y la colaboración con la comunidad, que hacen posible impulsar la concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en el diseño arquitectónico. La investigación puede contribuir al desarrollo de metodologías innovadoras para la participación comunitaria en el diseño arquitectónico.

Fig. 28. Alojamiento pa
de formación profesio
Vista general del alo
habitación

## CONCLUSIONES

La interacción de varios procesos sustantivos como fueron la academia, lo extensionista y la investigación, trajo como resultado, un programa arquitectónico basado en las características de Quiebra Hacha, como asentamiento urbano e influyó considerablemente en el proceso de formación de los estudiantes, que transformaron el entorno, a la vez que se fueron transformando hacia un crecimiento profesional, y que dejaron una gran cantidad de proyectos de mucha utilidad para la entidad receptora.

La actividad extensionista, tuvo como misión contribuir a obtener la información necesaria en cada tema a la vez que contribuyó a la formación y desarrollo de habilidades profesionales en los diplomantes

## REFERENCIAS

1.Díaz-Canel, M. & Fernández, A. (2020). Gestión de gobierno, educación superior, ciencia, innovación y desarrollo local. Revista Retos de la Dirección, 14(2), 5-32. Acceso: 19/01/2021. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v14n2/2306-9155-rdir-14-02-5.pdf

2.Ramírez, M. P. & García, M. (2010). La alianza Universidad-Empresa-Estado: una estrategia para promover innovación. Escuela de Administración de Negocios, 68, 112-133. Acceso: 24/03/2021. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n68/n68a09.pdf

3.Rodríguez, M. A. (2016). Políticas y estrategias para la vinculación Universidad- Empresa-Estado aplicables en Nicaragua. Tesis doctoral inédita. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Acceso: 19/01/2021. Disponible en: https://repositorio.unan.edu.ni/3943/1/17522.pdf

4.Barrios, K. C. & Olivero, E. (2020). Relación universidad-empresa-estado. Un análisis desde las instituciones de educación superior de Barranquilla-Colombia, para el desarrollo de su capacidad de innovación. Revista

Formación Universitaria, 13(2), 21-28. Acceso: 15/03/2021. Disponible en: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000200021

**Sobre los autores:**

Primer Autor: Arq. Mariam Páez Vázquez (Recién graduada, pendiente de incorporación) → Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. e-mail: mariampv1101@gmail.com;

Segundo Autor: Arq. Ernesto Alejandro Estrada Parrón
- Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa.
-e-mail: alestrada940926@gmail.com; ernesto.estrada@geidos.cu;

Tercer Autor: Arq. Elio Santana Estrada
- Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa.
-e-mail: eliosantana0321@gmail.com elio@geidos.cu;

Cuarto Autor: MSc. Arq. Marta María Rubio Tamayo
- Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Mariel, GEIDOS. Carretera a Quiebra Hacha, Sector A, Zona A-5, Zona Especial de Desarrollo, municipio Mariel, provincia Artemisa.
-Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE.
e-mail: martamaria.rt@gmail.com: marta@geidos.cu;

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA REHABILITACIÓN HIDRÁULICA EN CUBA: TRANSFORMADORA DEL AMBIENTE FÍSICO Y SOCIAL SOSTENIBLE

**Edelsy Ramos Guilarte[1], Mailén Virgen Gutierrez Herrera[2]**

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", cujae. Calle 114 No. 11901. e/ Ciclovía y Rotonda. Marianao 15. La Habana, Cuba. CP 19390.

e-mail: edelsy142@gmail.com

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo explicar con un enfoque de ciencia, tecnología y sociedad (CTS), los principales problemas sociales que están incidiendo actualmente en la rehabilitación hidráulica en Cuba, de manera que minimice la insatisfacción en el servicio de agua potable y propicie la preparación para el empleo del ingeniero hidráulico recién graduado en la OSDE Agua y Saneamiento; este objetivo general se va a desarrollar a través de tres objetivos específicos: contextualizar socialmente la rehabilitación hidráulica en Cuba; determinar los principales problemas sociales actualmente de la rehabilitación hidráulica en Cuba; y explicar la preparación del ingeniero hidráulico recién graduado en perspectiva CTS. Se trata de una investigativa cualitativa con un alcance descriptivo, en el que se emplearon los métodos análisis histórico-lógico, análisis documental, análisis-síntesis e inducción-deducción. La preparación del ingeniero hidráulico en perspectiva ciencia, tecnología y sociedad posibilita ejecutar la rehabilitación hidráulica de forma planificada y organizada, minimizando los impactos negativos al hombre, la naturaleza y la sociedad.

**PALABRA CLAVE**: bioética; ciencia, tecnología y sociedad; democratización de la ciencia; holismo ambientalista; política pública; y rehabilitación hidráulica.

## HYDRAULIC REHABILITATION IN CUBA: TRANSFORMING THE SUSTAINABLE PHYSICAL AND SOCIAL ENVIRONMENT

**ABSTRAC**

The objective of this research was to explain, with a science, technology and society (STS) approach, the main social problems that are currently affecting hydraulic rehabilitation in Cuba, in a way that minimizes dissatisfaction in the drinking water service and promotes the preparation for employment of the recently graduated hydraulic engineer in the OSDE Water and Sanitation; this general objective will be developed through three specific objectives: to socially contextualize hydraulic rehabilitation in Cuba; to determine the main current social problems of hydraulic rehabilitation in Cuba; and explain the preparation of the recently graduated hydraulic engineer in CTS perspective. It is a qualitative research with a descriptive scope, in which the methods historical-logical analysis, documentary analysis, analysis-synthesis and induction-deduction were used. The preparation of the hydraulic engineer in science, techno perspective

**KEYWORDS :**bioethics; science, technology and society; democratization of science; environmental holism; public policy; and hydraulic rehabilitation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos tienen en cuenta agua dulce y salobre, independientemente de su calidad, incluidas las aguas superficiales y subterráneas; es uno de los recursos naturales renovables más importantes lo que conlleva a investigaciones en las más diversas áreas, relacionadas con: la geografía, la hidrología, la hidráulica, la ingeniería, la ecología, la administración pública, el derecho y la defensa civil.

Las actividades humanas pueden afectar gravemente los recursos hídricos a través de la contaminación; la sobreexplotación; el cambio climático; el crecimiento urbano y cambios en el paisaje como la deforestación. Actividades mal gestionadas como la agricultura, la industria y usos domésticos, pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

El agua es un recurso vital que tiene diferentes usos en la población, pues sirve para consumo humano, en el aseo personal, en actividades como la limpieza doméstica y en la cocción de los alimentos. Se utiliza también para fines comerciales, públicos e industriales, así como, en la agricultura, la generación de energía eléctrica, la navegación e incluso para fines recreativos.

En Cuba, se gestionan los recursos hídricos a nivel de gobierno, a través de la Ley de las aguas terrestres, la cual regula y controla los servicios públicos de agua potable [1], existe marcada incidencia en la Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista, específicamente en el lineamiento No.181 “Consolidar el reordenamiento de los servicios de agua y saneamiento, incluida su infraestructura hidráulica y tecnológica, dirigido al incremento de la población que recibe los servicios gestionados de forma segura” [2]. En este sentido, se percibe una adecuada política pública teniendo en cuenta la preocupación y ocupación de la alta dirección del país en función de desarrollar la infraestructura hidráulica, para mejorar la calidad de vida de la población.

Se percibe una democratización de la ciencia cuando se instala una verdadera democracia económica con un modelo que atienda las necesidades del conjunto de la población en relación con la alimentación, vivienda, salud, transporte y educación, donde el agua es un factor común [3].

Los grandes desafíos de la democratización se refieren a la posibilidad de producir una ciencia más orientada a las razones que dicta la justicia y la equidad social; el autor manifiesta, que el modelo social que alienta la injusticia y la inequidad está incapacitado para alentar la verdadera democratización del conocimiento, entendida ésta en su sentido esencial: como procesos de producción, distribución, adaptación y aplicación de conocimientos que favorecen la ampliación del conjunto de seres humanos que participan en la producción de sus avances y se benefician directamente de ellos; como expansión del acceso a la ciencia como bien cultural y como auténtico control social sobre su orientación y usos[3].

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) creado el 10 de agosto de 1962, es el encargado de dirigir, ejecutar y controlar la aplicación de la política del Estado y el Gobierno relativa con la actividad de los recursos hidráulicos en Cuba. Cuenta con un área de investigación y desarrollo dedicada a desarrollar, transferir y adoptar tecnologías y procesos que permitan una mayor eficiencia y sostenibilidad en la gestión de los recursos del agua, logrando la vinculación adecuada, efectiva y creciente entre la ciencia, la tecnología, la producción, el mercado, las necesidades sociales y la preservación del medio ambiente en todas las actividades productivas y de servicios, para el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos hídricos, la administración eficiente de las obras hidráulicas y la elevación de la calidad de los servicios de provisión de agua y alcantarillado con vista a elevar el nivel y la calidad de vida de la población.

Cada año el INRH invierte cuantiosas cifras de dinero para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, además de prestar especial atención a los programas de divulgación de la educación ambiental en la población.

En el año 2019 se crea la Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE) Agua y Saneamiento, que agrupa a las empresas de acueducto y alcantarillado, las constructoras de obras hidráulicas y un centro de superación profesional; se extienden por todo el territorio nacional. En su objetivo se enuncia, asegurar el abasto de agua potable y la evacuación de residuales, relacionado con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, que plantea en su objetivo No 4 “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” [4].

En la OSDE Agua y Saneamiento, independientemente de todos los esfuerzos realizados, falta mucho por hacer en relación con la calidad de los servicios de agua, con vistas a elevar el nivel y la calidad de vida de la población.

Mediante el análisis documental se pudo identificar como una de las causas que generan este problema, la escaza preparación de los ingenieros hidráulicos recién graduados relacionados con esta actividad.
La preparación de los ingenieros hidráulicos recién graduados se sustenta en el Modelo de Formación Continua amparado por la Resolución 138/2019, dictada por el Ministerio de Educación Superior de Cuba que se constituye de tres componentes, formación de pregrado en carreras de perfil amplio, preparación para el empleo y educación de posgrado [5].

La formación continua, es un proceso sistemático que se renueva periódicamente, dirigido a la actualización de conocimientos, habilidades y valores adquiridos previamente teniendo en cuenta los cambios y avances de la ciencia y la tecnología a lo largo de su vida profesional [6].

En el caso del componente Preparación Para el Empleo, en la Resolución 138/2019 del MES, se plantea que esta “asegura continuar el desarrollo y perfeccionamiento de los modos de actuación profesional específicos relacionados con el puesto de trabajo del recién graduado. Es concebida y ejecutada en las entidades laborales en coordinación con las universidades” [5]. La entidad tiene la obligación de asignar un tutor, así como, elaborar un plan de preparación para el empleo. En el plan de preparación para el empleo existente en la OSDE Agua y Saneamiento no se evidencia una estructura coherente que logre la integración de conocimientos, habilidades y valores con un enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS).

Los estudios Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), tiene como objeto el estudio de la naturaleza social del conocimiento científico-tecnológico y sus incidencias en distintos ámbitos: económicos, sociales, ambientales y culturales de la sociedad [7].

El estudio social de la ciencia y la tecnología se despliega en numerosas dimensiones y disciplinas, y entre los temas principales que se abordan están la institucionalización de la sociedad del conocimiento, las relaciones entre las disciplinas científicas y la industria en los procesos científico-técnicos, los campos científicos, las relaciones entre la [, el ambiente y la sociedad, las políticas públicas de ciencia y tecnología, la participación política y la democracia, la relación entre tecnociencia, ética y juridización, los usos sociales de la ciencia y la tecnología, la crítica social de la tecnociencia y de las prácticas, las relaciones entre científicos y grupos sociales e instituciones, la adquisición de credibilidad científica, la dimensión social de los contenidos científicos, así como, el estudio renovado del poder sustentado en la tecnociencia [8].

En Cuba, el desarrollo de la cultura, la educación y la ciencia ha constituido una prioridad fundamental del Estado Cubano, lo cual se ha expresado en avances significativos en estos, donde el sentido de responsabilidad social se ha extendido ampliamente. El autor refiere además, la percepción ético política del trabajo científico que incluye la clara concepción de que el mismo se realiza, para satisfacer las necesidades del desarrollo social y la satisfacción de las necesidades de los ciudadanos, lo cual tiene sus raíces en las transformaciones sociales que el país ha vivido y la ideología revolucionaria que lo ha conducido [8].

Este autor plantea en relación con la política pública, que la misma pertenece al dominio normativo y busca construir aquello que es socialmente deseable definiendo objetivos, metas y poniendo en acción un conjunto de herramientas, métodos y mecanismos para que una sociedad pueda alcanzar sus propósitos bajo criterios de eficiencia, eficacia y equidad, así como, que la ciencia, no es sólo un sistema de conceptos, proposiciones, teorías e hipótesis, sino también, como una forma específica de la actividad social dirigida a la producción, distribución y aplicación de los conocimientos acerca de las leyes objetivas de la naturaleza y la sociedad [8]

En relación con la tecnología, este autor refiere que existen tres tipos de tecnología, un tipo de tecnología con aspecto técnico que se refiere a: conocimientos, destrezas, herramientas, máquinas, otra incluye los aspectos organizativos como: actividad económica e industrial, actividad profesional, usuarios y consumidores, y una tercera que recoge los aspectos culturales: objetivos, valores y códigos éticos [8].
La preparación de los ingenieros recién graduados requiere integrar el funcionamiento de la ciencia y la tecnología con los procesos sociales, teniendo en cuenta que esta relación posibilita identificar los valores políticos, económicos y culturales que fortalecen la comprensión holística en la preparación de los ingenieros.

La preparación del ingeniero debe integrar lo técnico y humanista, que permita resolver los problemas que se le presentan en el mundo actual y actuar de manera innovadora y con responsabilidad social para la resolución de problemas de la sociedad, que le sirva además para promover una actitud crítica ante la acción de la ciencia y la tecnología en la sociedad, lo que supone desarrollar capacidades inherentes a la compresión del impacto social, así como habilidades que estimulen la capacidad de análisis y de síntesis y el espíritu crítico del ingeniero; los autores refieren que la ingeniería se muestra como profesión social y técnica que se orienta hacia la construcción y transformación de lo real mediante el desarrollo de tecnología con el fin de responder a las necesidades humanas [9].

En la preparación para el empleo del ingeniero hidráulico en la OSDE Agua y Saneamiento se proyectan varios ejes temáticos, entre ellos se incluye la rehabilitación hidráulica, por lo que en esta investigación el Problema CTS es el siguiente: ¿cuáles son los principales problemas sociales que están incidiendo actualmente en la rehabilitación hidráulica en Cuba?

El objetivo general es explicar con un enfoque CTS los principales problemas sociales que están incidiendo actualmente en la rehabilitación hidráulica en Cuba, de manera que minimice la insatisfacción en el servicio de agua potable y propicie la preparación para el empleo del ingeniero hidráulico recién graduado en la OSDE Agua y Saneamiento; este objetivo general se va a desarrollar a través de tres objetivos específicos que son los siguientes: contextualizar socialmente la rehabilitación hidráulica en Cuba; determinar los principales problemas sociales actualmente de la rehabilitación hidráulica en Cuba; y explicar la preparación del ingeniero hidráulico recién graduado en perspectiva CTS.

Idea central de los principales problemas sociales: la rehabilitación hidráulica con un enfoque CTS minimiza la insatisfacción en el servicio de agua potable y propicia la preparación para el empleo del ingeniero hidráulico en la OSDE Agua y Saneamiento. El trabajo está estructurado en tres (3) apartados: 1. Contexto social de la rehabilitación hidráulica en Cuba, 2. Principales problemas sociales de la rehabilitación hidráulica en Cuba actualmente y 3. Preparación del ingeniero hidráulico recién graduado en perspectiva CTS.

## 2. DESARROLLO

### Contexto social de la rehabilitación hidráulica en Cuba

### Antes de 1959

El desarrollo de la hidráulica en Cuba comenzó muchos años atrás, al proyectarse la primera obra ingeniera conocida como la Zanja Real en 1544, este fue el primer acueducto de Cuba y el primero construido por los españoles en América; funcionó hasta 1835. Por allí corrían las aguas desde el río La Chorrera hasta el puerto de La Habana y descargaban en un lugar nombrado Callejón del Chorro. En 1620 abrieron nuevas canales secundarias a la Zanja Real y formaron tres depósitos, uno para los buques

cercanos a la Marina, otro para el vecindario y el tercero para los castillos. Estos fueron los primeros depósitos de sedimentación utilizados en un servicio público de abasto, en la época colonial [10].

En 1893 se culminó la obra más importante en ese período que fue el Acueducto de Albear, este fue el primer sistema del país que usó aguas del manto freático por medio de pozos, para garantizar un agua potable con más higiene; constituye una de las siete maravillas de la ingeniería civil cubana.

A pesar de los trabajos ejecutados la situación de los acueductos y alcantarillados era preocupante. Casi la mitad de las poblaciones de más de mil habitantes no tenían acueducto y la mayoría no contaban con alcantarillado y drenaje. En la zona Oriental las fuentes de sus acueductos procedían de ríos y se consumía el agua sin tratamiento en los 300 asentamientos con más de mil habitantes existentes en el país, solo 114 contaban con suministro de acueducto y 12 con alcantarillado. Funcionaban 16 instalaciones de cloración y cuatro plantas potabilizadoras, no existía una política pública, ya que la mayor parte de las obras ejecutadas beneficiaban a un sector específico de la sociedad, existían lugares sin acceso al agua potable y en otros casos la recibían sin el tratamiento adecuado.

En este periodo predominó en sentido general el deterioro inescrupuloso y desequilibrado de los mejores recursos naturales. En el orden social existía un panorama crítico, vinculado a las condiciones de extrema pobreza, sobre todo en el medio rural con la falta de agua potable sólo asequible a grupos minoritarios, agua dulce contaminada y escasa, no existía una infraestructura hidráulica que permitiera la administración y distribución correcta del recurso [10].

**Posterior a 1959**

Con el triunfo de la Revolución, en el año 1959 existía una escasa infraestructura hidráulica, por lo que el gobierno revolucionario comenzó la ejecución de un ambicioso programa constructivo de obras hidráulicas. Desde entonces surgió la voluntad de satisfacer las necesidades hidráulicas de la sociedad en función del abastecimiento de agua potable a toda la población y del desarrollo agrícola e industrial. A partir de ese momento ocurrieron importantes transformaciones, donde se culminaron varias obras hidráulicas y construyeron otras nuevas. En esta etapa prevalece una política pública a favor de toda la población, teniendo en cuenta que se asignó financiamiento para la preparación de la fuerza de trabajo calificada, tanto dentro como fuera del país, además de invertir cuantiosa suma de dinero para la adquisición de recursos materiales y equipos.

Hasta la fecha se contabilizan una cobertura en el abasto de 80,1% de la población y se logra con una infraestructura de 2 489 lugares con acueducto, 2 848 estaciones de bombeo, 4 234 equipos de bombeo, 83 plantas potabilizadoras, 12 plantas desalinizadoras, y 712 grupos electrógenos [11].

En Cuba se desarrolla un amplio proceso de transformación social y se presta especial atención a los barrios vulnerables por parte de la alta dirección del país; el presidente de la República Miguel Díaz-Canel, ha realizado llamados para solucionar las causas que han llevado a serias situaciones de vulnerabilidad en diversos barrios y ha indicado hacer trabajos comunitarios con la participación del pueblo para obtener un mayor impacto y el beneficio social deseado.

Se evidencia entonces la democratización de la ciencia, teniendo en cuenta que la población es libre de intercambiar con el gobierno a través de los canales establecidos al respecto, como son las asambleas de rendición de cuentas, intercambio personal con miembros del Partido Comunista de Cuba (PCC) y el gobierno, como lo ha permitido Díaz- Canel, además se establecen otros canales de comunicación como las llamadas telefónicas, la prensa, entre otros. Los problemas planteados por la población se convierten en el punto de partida para la toma de decisiones a nivel de gobierno.

A modo de conclusión, en este apartado se realiza una breve explicación del contexto social de la rehabilitación hidráulica en Cuba, se parte de la comparación antes y después de 1959 donde se aprecian los beneficios y avances a partir del periodo revolucionario, se hace referencia con un enfoque CTS de la política pública y de la democratización de la ciencia, destacando el papel del estado en todo el desarrollo hidráulico alcanzado, potenciando el uso equitativo de este recurso vital y además el intercambio de la

población a través de los diversos canales de comunicación que existen para plantear los problemas que impiden una mejor calidad de vida

**Principales problemas sociales de la rehabilitación hidráulica en Cuba actualmente**

Independientemente de los avances que se han obtenido en Cuba en materia de recursos hidráulicos después del triunfo revolucionario, persisten problemas sociales que impiden un desarrollo más acelerado de la infraestructura hidráulica mediante la rehabilitación hidráulica.

Por tanto, es importante destacar, que la rehabilitación hidráulica consiste en sustituir la tubería afectada por una nueva manteniendo el diseño original (presión, diámetro y cargas externas), puede emplearse otro tipo de material diferente al original, con el objetivo de extender la vida útil de la misma. La diferencia entre la rehabilitación hidráulica y la renovación total es que la última es más costosa e implica sustituir todo el tramo, independientemente de las condiciones físicas en que se encuentre la tubería.
Los problemas sociales identificados inciden de manera directa en la rehabilitación hidráulica.

**El problema demográfico**

La población ha crecido desmesuradamente y la infraestructura en muchos lugares es la misma, por lo que se hace imposible llevar el agua potable por tubería a varios asentamientos poblacionales, el crecimiento demográfico incide en que más personas necesiten el agua para cubrir sus necesidades vitales, a su vez la producción industrial aumenta para satisfacer las necesidades de la población y en consecuencia necesita utilizar mayor cantidad de agua, al igual que la agricultura, lo cual hace ineficiente el servicio de agua para cubrir las necesidades mencionadas, al no contar con la infraestructura hidráulica necesaria, la cual es limitado su alcance en algunos lugares, y en ocasiones con muchos años en explotación, sin la posibilidad de un mantenimiento frecuente, lo que provoca frecuentes salideros.

En otros lugares no existe ninguna infraestructura hidráulica para satisfacer las necesidades relacionadas con el uso del agua potable, lo que se soluciona parcialmente con el abasto potable mediante carros cisterna, lo cual tampoco cubre toda la necesidad planteada. Debe sumarse a esta situación la indisciplina urbanística, al construirse comunidades en lugares donde se hace imposible el abastecimiento de agua tanto por redes de acueducto como por carros cisterna. Si después de realizar la rehabilitación no se logra la demanda de agua solicitada por exceso de población, se procede a una ampliación o a una renovación total del sistema.

**El problema político-histórico**

El bloqueo económico de EUA hacia Cuba impacta de manera directa en la solución de los problemas hidráulicos, específicamente en la adquisición de recursos necesarios para la rehabilitación de redes, entre ellos materia prima para fabricar tuberías, piezas de repuesto, neumáticos y baterías para los equipos de construcción y carros cisterna. La compra de los insumos para los equipos de construcción se hace por terceros países, a precios exageradamente caros, lo cual afecta directamente el desarrollo de la infraestructura hidráulica específicamente en lo relacionado con la rehabilitación hidráulica, teniendo en cuenta que existen lugares donde el terreno es demasiado duro y deben usarse equipos de excavación potentes, ya que es imposible ejecutarlo manualmente.

La escasez de combustible generado también por el bloqueo económico incide directamente en la rehabilitación hidráulica, por lo que está demostrado que el bloqueo económico de EAU hacia Cuba impide avanzar con la rehabilitación hidráulica y beneficiar a más personas, además impide solucionar de forma más eficiente los frecuentes salideros tanto en redes como en conductoras.

**El problema tecnológico**

Otro problema que incide en que el agua no llegue a todos los lugares está relacionado con el sistema de bombeo, en el que impacta seriamente la crisis energética actual. Existe más asentamiento donde el agua es impulsada por bombas hidráulicas que las conducidas por gravedad. Las bombas hidráulicas tienen muchos años de explotación y no se le da el mantenimiento requerido, estas impulsan el agua por las tuberías existentes, cuando las tuberías presentan varios salideros, no llega el agua al destino final, elevándose el consumo de energía por este concepto.

Las tuberías existentes son de varios tipos de materiales (hormigón centro acero, hierro fundido, hierro galvanizado) con varios años de explotación, ya no se fabrican materiales para solucionar roturas en estos tipos de tuberías, por lo que se está asumiendo la tecnología Polietileno de Alta Densidad (PEAD) en la actualidad. El estado de las tuberías incide en la distribución del agua potable, lo que conlleva a un servicio ineficiente que se manifiesta en una distribución intermitente, servicios con pocas horas que impide llenar la capacidad de almacenaje instaladas en las viviendas, en ocasiones el servicio solamente es de tres horas en el horario de la madrugada, ocasionando disímiles inconformidades en la población.
Los frecuentes salideros tanto en redes como en conductoras, son una de las causas por lo que no llega el agua a todos los usuarios en alguna zona específica, trayendo aparejado el consumo excesivo de energía por este concepto. El servicio de agua en pipa se utiliza cuando existe una afectación puntual en alguna zona y en ocasiones tarda o no llega al lugar solicitado.

La ineficiencia en el servicio de agua potable a la población tiene entre sus causas los frecuentes salideros, tanto en las redes de abasto como en las conductoras, además de la ineficiente distribución del agua; muchos de estos problemas se resuelven con la rehabilitación hidráulica, que consiste en la sustitución de los tramos de tuberías en mal estado para mejorar su funcionamiento hidráulico, o bien, cuando existe la necesidad de incrementar la capacidad de la red de distribución. Por lo que se hace necesario realizar un levantamiento de los principales lugares para resolver los problemas puntualmente sustituyendo el tramo dañado por uno nuevo.

La tecnología utilizada es totalmente invasiva a la hora de ejecutar la rehabilitación. Se deben abrir grandes zanjas y la mayoría en zonas urbanas.

**El problema ambiental**

Se conceptualiza al medio ambiente como el balance entre crecimiento económico y conservación de la naturaleza, la posibilidad de movilizar el potencial eco tecnológico, la creatividad cultural y la participación social para construir estilos diversos de un desarrollo sustentable, igualitario, descentralizado y autogestionario, capaz de satisfacer las necesidades básicas de las poblaciones, respetando su diversidad cultural y mejorando su calidad de vida [12].

En relación con la educación ambiental, este autor refiere que esta es una actitud coherente frente a los problemas que enfrenta el hombre de nuestro tiempo, que además es una propuesta de renovación de valores asociados a la percepción del medio ambiente e impone la formación de una cultura ecológica que va a los cimientos de los principios morales que orientan la conducta de los individuos, profundizando en la relación que establece el hombre con la naturaleza y las prácticas que desde lo social, lo político, lo económico, lo cultural, generan este intercambio[12].

Durante el proceso de rehabilitación hidráulica también se generan problemas que afectan directamente a la población y al medioambiente, la introducción de la tecnología puede traer consecuencias no deseadas para el medio ambiente, como por ejemplo el uso de equipos de alta tecnología que provocan ruidos y polvo que resultan dañinos al medio ambiente.

**El problema de la preparación de los ingenieros hidráulicos recién graduados vinculados a la rehabilitación hidráulica**

Actualmente el ingeniero hidráulico recién graduado en la OSDE Agua y Saneamiento, no recibe por parte de los tutores la preparación adecuada en relación con la forma de actuar durante la rehabilitación hidráulica, tampoco participa en la investigación relacionada con la eficiencia de los servicios de abasto de agua potable a la población, por lo que en ocasiones se crean conflictos con la población y no tiene los elementos para explicar y solucionar los problemas que se generan en relación con el servicio de abasto de agua y en la rehabilitación hidráulica, esta situación debe preverse en el plan de preparación del ingeniero hidráulico recién graduado, independientemente de los conocimientos, habilidades y valores que se debe incorporar durante el componente Preparación Para el Empleo.

Se puede concluir en este apartado que el servicio de agua potable y la rehabilitación hidráulica están directamente relacionados con los problemas demográficos, político-históricos, tecnológicos y ambientales. Se identifica además una de las causas de los problemas relacionados con el servicio de agua

potable y la rehabilitación hidráulica, que es la escaza preparación de los ingenieros hidráulicos recién graduados vinculados con esta actividad, específicamente en la OSDE Agua y Saneamiento.

Preparación del ingeniero hidráulico recién graduado en perspectiva CTS

Para preparar al ingeniero hidráulico recién graduado en relación con la rehabilitación hidráulica en perspectiva CTS, se hace necesario explicar las temáticas centrales en los estudios CTS relacionados con los problemas en la rehabilitación hidráulica.

**Importancia de la democratización de la ciencia**

Como democratización de la ciencia se considera la participación de todas las personas de diferentes grupos sociales y culturas, con diferentes necesidades y características en las decisiones colectivas en la medida en que afecte a su situación personal. Una sociedad sólo puede ser democrática si los diferentes grupos sociales pueden influir, según sus criterios y valores, en el desarrollo tecnológico [3].

La participación ciudadana puede verse como un método de gestión adecuado al funcionamiento y a la estructura de las sociedades actuales y a las exigencias de sus ciudadanos; más adecuado que la toma de decisiones basada exclusivamente en la autoridad y el conocimiento experto. El autor manifiesta que uno de los factores que impulsan los conflictos sobre la tecnología es que los afectados no son involucrados desde el principio, y que, para evitar los conflictos, lo importante sería reconducirlos de una manera constructiva, utilizarlos como fuente de información productiva sobre los problemas sociales en relación con una tecnología [3].

En Cuba la población tiene un papel predominante en la rehabilitación hidráulica, existen diversos canales de comunicación donde cada ciudadano puede reflejar su inconformidad, desde llamadas telefónicas hasta en las asambleas de rendición de cuentas, donde se hace referencia a todas aquellas problemáticas que los afecta directamente, luego esos planteamientos se consolidan en la OSDE Agua y Saneamiento con el objetivo de asignar los recursos y la tecnología en dependencia la complejidad del planteamiento, las empresas relacionadas con la no conformidad tienen establecido visitar a las personas que ejercieron el planteamiento y darle una explicación personalizada en relación con el tiempo en que se solucionará su queja.

Los planteamientos se analizan por los expertos desde la ciencia para determinar qué acción es la más apropiada para la solución de estos problemas, específicamente las empresas de proyecto y los inversionistas del INRH acometen estas tareas, la solución definitiva se llevan a un plan anual donde se planifican desde los recursos humanos y materiales, considerando el tiempo para la resolución del planteamiento y el financiamiento necesario para acometer las tareas. Tanto las empresas constructoras de recursos hidráulicos como las empresas de acueducto y alcantarillado tienen la responsabilidad de ejecutar en el tiempo previsto y con la calidad requerida las obras que se presentan en el plan anual para resolver los planteamientos presentados.

Durante la ejecución de la rehabilitación hidráulica, la población tiene participación directa, hace críticas en relación con cualquier incumplimiento de las normas, conscientes de que un mal trabajo implica el uso de una mayor cantidad de recursos limitados en el país, por lo que utilizan los canales de comunicación establecidos para realizar las respectivas quejas. En algunos lugares la población no utiliza los canales de comunicación establecidos y se manifiestan directamente en las obras con los trabajadores, en este caso, los que ejecutan las obras tienen que estar preparado para dar respuestas según la cultura que prevalece en cada el lugar donde se ejecuta la rehabilitación hidráulica y de esa forma poder mejorar la comunicación entre los constructores y la población.

Durante la ejecución de la rehabilitación hidráulica, el ingeniero hidráulico recién graduado debe informar de manera oportuna a la población cuando falte algún recurso que afecte la terminación en el tiempo establecido, en este caso debe señalarse que no siempre se encuentran en obra los recursos necesarios, como es el caso del tape de la zanja con hormigón, por lo que debe tomarse la decisión según la prioridad, siempre será aconsejable resolver el problema relacionado con el agua primero y luego hacer todas las gestiones para el tape de la zanja, se taparía la zanja con material de relleno hasta que se gestione el hormigón y se señalizaría la zona para evitar accidentes de tránsito.

**Necesidad de las políticas públicas**

La política pública busca construir aquello que es socialmente deseable definiendo objetivos, metas y poniendo en acción un conjunto de herramientas, métodos y mecanismos para que una sociedad pueda alcanzar sus propósitos bajo criterios de eficiencia, eficacia y equidad [8].

En Cuba el Estado atribuye los recursos para el desarrollo de la infraestructura hidráulica, se hace una asignación centralizada del financiamiento a través del Ministerio de Finanzas y Precios, sobre la base de la aprobación del presupuesto por el Ministerio de Economía y Planificación, de este presupuesto se aprueba un monto para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, lo que ha permitido la introducción de tecnología de punta para el desarrollo de la rehabilitación hidráulica, se evidencia una alta responsabilidad política del país en este sentido.

El Presidente del INRH debe rendir cuenta a la alta dirección del país en relación con el uso del presupuesto para el desarrollo de la infraestructura hidráulica y además, debe informar la población que se benefició con el financiamiento destinado al desarrollo de la infraestructura hidráulica específicamente lo relacionado con la rehabilitación hidráulica. El INRH tiene la posibilidad de gestionar la eficiencia en la ejecución de la rehabilitación hidráulica porque dentro del propio organismo están presentes todos los sujetos del proceso inversionista que garantizan planificación, organización, ejecución y control.

**Los aspectos de la Bioética y Holismo Ambientalista.**

La Bioética es la disciplina que aborda la ética de la vida humana, tiene en cuenta, el respeto al medio ambiente y a la supervivencia humana, además presta atención al conocimiento como producto humano colectivo, hace referencia a que la ciencia no sólo debe preocuparse por la producción de conocimientos, sino también por la pertinencia social y su uso, refiere además, que es necesario pensar la producción de conocimientos como producción de valor, ética, responsabilidad social y objetividad del conocimiento [12].

El autor destaca que la Bioética tiene en cuenta además, los conflictos morales asociados al conocimiento de cómo usar el conocimiento para la supervivencia humana aceptable y el mejoramiento de la condición humana.
En este mismo sentido reflexiona en relación con el Holismo Ambientalista, donde destaca el lugar del hombre en el sistema de la Naturaleza y su responsabilidad. El Holismo Ambientalista está relacionado con la integración hombre, naturaleza y sociedad. No es posible analizar los problemas de la naturaleza sin incluir al hombre y viceversa [12].

El ingeniero hidráulico deberá adquirir y apropiarse, durante su preparación para el empleo, de una preparación que los distinga por su vocación humanista, por su compromiso con la naturaleza y por su sentido de pertenencia y responsabilidad con los demás.

La rehabilitación hidráulica se realiza fundamentalmente para mejorar el servicio de agua potable, eliminando salideros y aumentando el alcance a más personas. Para realizar estas acciones se introducen en la obra equipos altamente productivos pero que generan un determinado impacto al medioambiente, las grandes máquinas que se utilizan en la ejecución de la obra realizan mucho ruido como es el caso de los martillos rompedores y otros como la zanjadora que genera mucho polvo, lo cual impacta directamente en la salud de los habitantes de la zona donde se ejecuta la obra, así como, en la salud de los trabajadores que participan en la ejecución, por lo que se deberán utilizar dichos equipos en los horarios laborales establecidos y cuando se genere polvo, este debe recogerse de manera inmediata, de ser posible, rociar agua para aplacar el polvo; los camiones utilizarán tapacetes, para que en la transportación del material de excavación no se expanda el polvo y se utilizarán los medios de protección requeridos.

Cuando se extraiga material de la cantera para usar en la rehabilitación hidráulica, se deben realizar acciones para la reforestación de la zona afectada. Los constructores que acometen la rehabilitación hidráulica tienen conciencia ambiental y cumplen con las medidas expuestas en el plan medio ambiental que se elabora para cada obra a ejecutar, dicho documento debe ser estudiado rigurosamente por el ingeniero hidráulico recién graduado.

**Los aportes de la ciencia y la tecnología**

El ingeniero hidráulico con los conocimientos adquiridos en el pregrado, sobre la base de principios, teorías y leyes, debe ser capaz de planificar y organizar la rehabilitación hidráulica a ejecutar, para ello deberá estudiar el proyecto de ingeniería detallada y cumplir los requerimientos del proyectista en relación con tipo de tubería, presión nominal, diámetro y profundidad. Debe decidir la selección de los equipos necesarios para la ejecución de la obra, teniendo en cuenta sus características técnicas, acorde con el lugar y tipo de terreno, deben tener los conocimientos básicos sobre la tecnología a utilizar para evitar afectaciones a la población.

Se seleccionan además los suministros de acorde al sistema constructivo sugeridos en el proyecto, en la actualidad se utiliza el PEAD, que ofrece una mayor rapidez en la ejecución de las obras, flexibilidad para adaptarse a cualquier topografía, fácil manipulación, por lo que humaniza el trabajo de los constructores. Estas tuberías se fabrican hoy en Cuba en tres fábricas, ubicadas en La Habana, Ciego de Ávila y Holguín. Para unir las tuberías existen máquinas de última generación, que tiene la función aplicar calor a los tubos para su unión definitiva. Esta tecnología del PEAD y de la máquina de termofusión son utilizados en países desarrollados y se ha demostrado mayor eficiencia con relación a otras tecnologías utilizadas anteriormente.

En este capítulo se explica cómo preparar al ingeniero hidráulico recién graduados en perspectiva CTS, en relación con las temáticas centrales en los estudios CTS propiciando un mejor servicio de agua potable y un mejor desenvolvimiento en la ejecución de la rehabilitación hidráulica.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se explicó con un enfoque CTS los principales problemas sociales que están incidiendo actualmente en la rehabilitación hidráulica en Cuba, de manera que minimice la insatisfacción en el servicio de agua potable y propicie la preparación para el empleo del ingeniero hidráulico en la OSDE Agua y Saneamiento. Se logró contextualizar socialmente la rehabilitación hidráulica en Cuba, así como, determinar los problemas sociales de la rehabilitación hidráulica y fue posible explicar la preparación del ingeniero hidráulico en perspectiva CTS.

Se abordaron las dimensiones relacionadas con CTS que permitieron una mejor visualización de la problemática de la rehabilitación hidráulica con un enfoque social, destacándose la Democratización de la ciencia, la Política pública, la Bioética y el Holismo Ambientalista, así como los aportes de la ciencia y la tecnología. La preparación del ingeniero hidráulico en perspectiva CTS posibilita ejecutar la rehabilitación hidráulica de forma planificada y organizada, minimizando los impactos negativos al hombre, la naturaleza y la sociedad.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1.MINISTERIO DE JUSTICIA (MINJUS). Ley 124 de 2017 de las Aguas Terrestres. Gaceta Oficial No, 51 Extraordinaria de 2017.
2. PCC. Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026. Documentos del 8vo. Congreso del Partido aprobados por el Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2021.
3. NÚÑEZ, Jorge. *La democratización de la ciencia y el problema del poder*. Ciudad de la Habana: Editorial Ciencias Sociales, 2006, En: este artículo ha sido publicado en el libro Emilio Duharte Díaz (Compilador) y coautores: La Política: Miradas Cruzadas, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 2006.
4. COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA y el Caribe (CEPAL). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. 2018. (LC/G.2681-P/Rev.3).
5. MES. Resolución 138, Ministerio de Educación Superior 18 de julio de 2019. La Habana: MINJUS, 2019. Ministerio de Justicia. Gaceta Oficial de la República de Cuba (GOC) 2019-774-065.
6. IMBERNÓN, Francisco. *La formación inicial y la formación permanente del profesorado. Dos etapas de un mismo proceso*. Revista interuniversitaria de formación del profesorado, No 6, Noviembre 1989. pág. 187-499.
7. QUINTERO, Carlos Alberto. Enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS): perspectivas educativas para Colombia.2010. https://rcientificas.ininorte.edu.co.
8. NÚÑEZ, Jorge. *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*. *Lo que la educación científica no debería olvidar*, Editorial Redipe, 2018. Disponible en https://editorial.redipe.org.
9. RAMALLO, Milena.; REPETTO, Elida Clara.; GAYOSO, María Celia. y GIACOMINO, Rosa. Ingeniería y sociedad: aportes de los estudios CTS en la formación de los ingenieros. Revista CTS, nº 41, vol. 14, Junio de 2019 (pág. 197-214).
10. GARCÍA, Rolando. PÉREZ, Fernando. ARUCA, Lohania J. y ÁLVAREZ, Alfredo (2016). *Una obra maestra: el acueducto de Albear de la Habana*. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 17-45.
11. SALAS, Abel Elpidio. *Presentación de la Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE) A y S.* Reunión de coordinación inicial para el currículo del técnico superior en agua y saneamiento, 11 de diciembre de 2019. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.
12. DELGADO, Carlos Jesús. (2005). Bioética y Medio Ambiente. Selección, Compilación y Edición Científica. pág. 193-197.

Sobre los autores:
Primer Autor: ingeniera hidráulica Edelsy Ramos Guilarte. Directora Adjunta de la Empresa de Mantenimiento y Rehabilitación de Obras Hidráulicas de Occidente (EMAROHO), profesor instructor del Programa de ciclo corto Técnico Superior en Agua y Saneamiento en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE.
e-mail: edelsy142@gmail.com

Segundo Autor: Dr.C. Mailén Virgen Gutierrez Herrera, ingeniera civil y profesora titular de la carrera de Ingeniería Hidráulica en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE. Coordinadora del colectivo del Programa del Técnico Superior en Agua y Saneamiento.
e-mail: mailengh77@gmail.com

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESARROLLO SOSTENIBLE, FORMACIÓN CIUDADANA Y EDUCACIÓN SUPERIOR CUBANA ACTUAL

**Dr. C. Freddy Varona Domínguez, P. T.**

Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, La Habana.

fvarona1960@gmail.com

## RESUMEN

Este trabajo trata dos aspectos de gran actualidad: el desarrollo sostenible y la formación ciudadana, ambos en relación con la educación superior en Cuba de estos tiempos. Del primer núcleo temático se presentan algunos criterios en torno a su delimitación teórica, a una serie de propósitos que se tienen con él y desde él, así como a sus vínculos con la Agenda 2030; de esta se subraya la importancia que le brinda a la educación. Sobre esta base, las reflexiones se mueven en el marco de la educación superior y su papel respecto al desarrollo sostenible, a propósito de lo cual se toma la formación ciudadana como una vía para la realización de acciones y logros de fines. De la formación ciudadana se explayan varias consideraciones, unas en torno a su definición y a categorías próximas o ligadas básicamente a ella, así como acerca de su pertinencia en el nivel educacional supremo cubano de estos tiempos. Desde aquí se destacan tres aspectos: la atención particular que ha de brindárseles a quienes se están formando como profesionales de la Ciencias Técnicas, por el papel que tienen en la sociedad actual y sus nexos con el desarrollo sostenible; la importancia que en todo ello tiene la extensión universitaria, de la cual se enfatiza su valía como colofón formativo y, por último, la atención que ha de brindársele a un componente de la formación ciudadana no atendido en su justa medida: la formación cívico-urbana.

**PALABRAS CLAVES:** Desarrollo sostenible, formación ciudadana, educación superior, extensión universitaria, formación cívico-urbana.

# SUSTAINABLE DEVELOPMENT, CITIZENSHIP FORMATION AND CURRENT CUBAN HIGHER EDUCATION

## ABSTRACT

This paper deals with two highly topical aspects: sustainable development and citizenship formation, both in relation to Higher Education in Cuba in these times. From the first thematic core, some criteria is presented regarding its theoretical delimitation, a series of purposes that are had with it and from it, as well as its links with the 2030 Agenda. Of this underlines the importance it gives to education. On this basis, the reflections move within the framework of higher education and its role with respect to sustainable development, in this regard citizenship training has taken as a way to carry out actions and achieve goals. Several considerations are made about Citizenship Formation, some of which relate to its definition and to categories that are close to or basically linked to it, as well as to about its relevance in the Cuban supreme educational level of these times. From here, three aspects stand out: The particular attention that must has given to those who are being educated as professionals in Technical Sciences, due to the role they have in today's society and their links with sustainable development. The importance of university extension in all this, of which its value as an educational aspect of great importance, and, finally, the attention that should give to a component of Citizenship Formation that not properly attended, the Civic-urban Formation.

**KEYWORDS:** Sustainable development, citizenship formation, Higher Education, university extension, civic-urban formation.

## Introducción

Aunque no es una novedad decirlo, sí es necesario reiterar que la humanidad está llena de problemas y que hay que solucionarlos, empeño donde cada vez es más notable la presencia de los profesionales, en particular los pertenecientes a las Ciencias Técnicas, con los cuales se hace notoria, a la vez, la creciente significación del conocimiento y de la educación superior en todos los sentidos. La grave situación del mundo actual, cada vez más compleja, se relaciona básicamente con el desarrollo de la sociedad humana; en ello un destacable papel tiene la Organización de Naciones Unidas (ONU), en cuyo seno, después de numerosos debates, se llegó a entender que se debía "transformar el paradigma de desarrollo dominante en uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo" [1]. Como resultado, se aprobaron objetivos y metas que fueron recogidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde, con una óptica transformadora, se expone esta modalidad de desarrollo y se muestran varios asuntos apremiantes de la humanidad; la misma ha motivado a que se piense en oportunidades y políticas "atendiendo a los requerimientos de los diferentes territorios" [2] y a las especificidades humanas y con ellas, a la diversidad, que constituye uno de sus tesoros más valiosos.

Uno de los objetivos de la Agenda es el aumento de la calidad de la educación. Este propósito ha estado determinado en gran medida por el desarrollo de la ciencia y la tecnología, que se ha intensificado sustancialmente desde mediados del siglo XX. El despunte científico-tecnológico ha puesto ante la humanidad algunos requisitos, entre ellos, elevar sostenidamente la calificación profesional y profundizar y diversificar los conocimientos; ambos se relacionan directamente con la educación superior, cuya calidad puede ser tratada desde varios ángulos; uno de ellos es el de la formación ciudadana.

Este trabajo es eminentemente teórico y fue realizado desde la perspectiva epistemológica, con la universalidad y abstracción propias de la visión filosófica. En él se defiende la idea de que el fortalecimiento de la formación ciudadana en la educación superior es una vía que urge potenciar para lograr mayor concreción del desarrollo sostenible no solo a nivel mundial, sino sobre todo en las localidades. En correspondencia, el objetivo que se ha perseguido en el desarrollo de estas ideas es el de establecer relaciones epistemológicas entre aspectos teóricos del desarrollo sostenible y la formación ciudadana, en el marco de la educación superior cubana actual. La metodología empleada es el estudio crítico-comparativo de textos, también conocida como metodología documental [3], que consiste en el uso de modo crítico y mediante comparaciones, de la información extraída de textos especializados. Se utilizó una bibliografía variada y, en su mayor parte, de reciente publicación.

En el presente trabajo se debe a la etapa inicial del proyecto de investigación científica titulado *Estrategia de formación ciudadana como aporte a la formación integral de los profesionales de la Universidad de La Habana*, por tal razón, no forman parte de él resultados finales, ni conclusiones cerradas; como también, desde el núcleo de la investigación, se rebasó su marco y se reflexionó en torno a la formación de otro tipo de profesionales, no los que son objeto específico de la mencionada alta casa de estudios, pero que son componentes constitutivos de la educación superior cubana y que, en igual medida, responden al mejoramiento de este nivel educacional. Este tema es una de las aristas priorizadas del perfeccionamiento actual de la Educación Superior en Cuba.

## 1. EL DESARROLLO SOSTENIBLE: ALGUNAS REFLEXIONES

Acerca del desarrollo sostenible existen varios criterios, algunos contrapuestos, incluso desde la interioridad del concepto, pues mientras unos autores lo defienden [4], otros lo atacan [5]. Las opiniones en torno al tema se despliegan desde diversos puntos de vista: económico, sociológico, político, etc. en los cuales incide la fundamentación filosófica y la orientación política de los investigadores, así como el modo de concebir la naturaleza, entre los cuales figura la visión integradora, tanto hacia ella misma, como hacia las relaciones de la humanidad con ella [6].

Al referirse al concepto de desarrollo sostenible suele citarse la definición del informe *Nuestro Futuro Común*, elaborado en 1987 para Naciones Unidas por una Comisión presidida por la entonces primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland –por eso también denominado Informe Brundtland–, que lo concibe como "un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las naciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" [7] que incluye dos ideas importantes, la de las necesidades, en particular de los pobres, y la de las limitaciones de todo tipo para satisfacerlas [8].

Aunque suele afirmarse que el concepto de desarrollo sostenible se plantea por vez primera en el Informe Brundtland, sus antecedentes se remontan a la constitución, en 1965, del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Así, el Informe es un impulso hacia un nivel superior, que se manifestó en 1992 en Río de Janeiro, en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida también como Cumbre de la Tierra. De hecho, fue entonces cuando empezó a difundirse la noción de desarrollo sostenible, enfatizando en las acciones de divulgación y concienciación de la transición de postulados basados solo en preservar el medio natural y el uso prudente de los recursos naturales, hacia la conciliación de tal objetivo con el progreso económico y la justicia social.

El concepto de desarrollo sostenible, inicialmente socio-ecológico pero influido por la globalización y los derechos humanos, puede entenderse de un modo más claro y preciso, cuando se observa mediante la teoría de sistemas complejos, la cual reconoce la interconexión de múltiples elementos. [9]. Con él se destaca la necesidad de desarrollar actividades de responsabilidad social e incluir otras que contribuyan con las prácticas de un tipo de desarrollo más eficiente y capaz de dar mejores resultados [10]. Cuando se hace referencia al desarrollo sostenible se supone la equidad, que permita la vida en todas sus manifestaciones y sea viable en todos los sentidos. Con este concepto se trata de integrar o articular el desarrollo económico, la equidad social y la protección del medioambiente; por eso, el ser humano ocupa una posición central y se enfatiza la justicia social, la equidad y la inclusión [11]; no obstante, al tratar de aplicarlo, no faltan las veces cuando se tiende a priorizar una de las tres dimensiones.

Las diversas definiciones de desarrollo sostenible se pueden clasificar de acuerdo con los respectivos conceptos que la sustentan. Ente ellos se distinguen tres grupos: a) Crecimiento sostenible con desarrollo sostenible: Los temas económicos y ambientales deben de ser tomados en consideración para asegurar metas económicas generales y crecimiento económico sostenibles; b) importancia de la satisfacción de las necesidades de la población actual y futura y aunque se considera el desarrollo económico como un factor importante para el objetivo, las principales condiciones son la equidad intra e intergeneracional; c) se recalca la equidad en la distribución en relación con la sostenibilidad. Debido a la destrucción ya en extremo avanzada de los recursos naturales, y a causa de la inseguridad y riesgo de sus funciones para sostener la vida, se debe evitar cualquier degradación y destrucción de los recursos naturales [12].

Apoyado en las ideas anteriores puede verse que el desarrollo sostenible involucra las dimensiones económicas, ecológicas y sociales, que para alcanzarlo se debe de encontrar un equilibrio entre las tres y tener claro que una distribución equitativa del ingreso no implica distribución igualitaria; antes bien, de lo que se trata es de que las personas menos favorecidas puedan satisfacer sus necesidades y que ello haga atractivo continuar con el manejo de los recursos. Esta idea no presupone la satisfacción integral de todas las necesidades, sino de las que sean posible según las condiciones históricas concretas; en este razonamiento son significativas las decisiones que se puedan tomaren la sociedad y lo realizable en ella.

Vale subrayar la iniciativa del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) de elaborar la propuesta de los Objetivos del Buen Vivir Global, en el marco del Proyecto Objetivos del Buen Vivir-Objetivos de Desarrollo Sostenible, que consiste en un conjunto de acciones personales o estilos de vida, alternativos y complementarios a los objetivos de desarrollo sostenible para facilitar el apoyo que todas y cada una de las personas, en uno u otro lugar del mundo, puedan dar a la consecución de estos últimos. La base de los objetivos del buen vivir son: armonía con todos los seres de la naturaleza, con todos los seres humanos, y con uno mismo. A partir de ellos se plantean los tres objetivos generales de sostenibilidad biocéntrica, equidad social, y satisfacción personal, desagregados cada uno de ellos en siete objetivos específicos. Entre los objetivos de la sostenibilidad biocéntrica están: el cuidado de los ecosistemas, el tránsito hacia la economía sostenible, la limitación en la extracción de recursos naturales, la transición hacia sistemas energéticos basados en energías renovables, la aprobación de una Declaración

Universal de los Derechos de la Naturaleza, el fomento de los sistemas de economía circular, y la optimización de los hábitats. Entre los propósitos que se persiguen con la equidad social figuran: fomentar la producción local, lograr la soberanía alimentaria, crear sistemas democráticos participativos y pacíficos, alcanzar la progresividad fiscal, el fomento de economías alternativas y la regulación de los mercados. En cuanto a la satisfacción personal, su finalidad está dada por lograr el reconocimiento, respeto y fomento de la interculturalidad, las identidades diversas, la educación contextual, los estilos de vida sencilla, las espiritualidades, las plurinacionalidades, y la salud integral [13].

En las condiciones actuales, ha de ser prioridad que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza. No ha de extrañar que exista relación entre el desarrollo sostenible y el desarrollo humano, motivado por el interés de que las personas posean un bienestar biopsicosocial que beneficie el disfrute de una mejor calidad de vida, lo cual involucra, por ejemplo, la salud, el estado emocional, el respeto al hábitat, entre otros. Aunque hay avances respecto al medioambiente, se puede apreciar la prioridad que se le da a la economía, a los ingresos financieros, sin medir en muchas ocasiones las consecuencias medioambientales [14] y vale aquí enfatizar la significación de que "seamos capaces de imaginar el planeta como nuestro hogar común y a la naturaleza como nuestra madre original a quien le debemos amor y respeto. No nos pertenece. Le pertenecemos a ella" [15].

El desarrollo sostenible es un concepto que posee carga simbólica dual: hace referencia a un camino y a un horizonte, "parecido a la definición de utopía que pronunció Eduardo Galeano" [16]. En el concepto hay relación voluntariedad–obligatoriedad, que se manifiestan en la apelación a la responsabilidad social y el comportamiento ético de los agentes por el bienestar general y en el establecimiento de políticas de promoción, promulgación de normas y realización de actividades para el uso racional de los bienes [17].

El desarrollo sostenible está básicamente ligado a la Agenda 2030 y su propósito de incorporar "la reflexión crítica sobre los excesos de la globalización y de un modelo de crecimiento económico excluyente y depredador" [18] y de enfatizar la capacidad movilizadora de la humanidad ante ello.

**El desarrollo sostenible y la Agenda 2030: el camino hacia la educación**

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU [19] fue aprobada en 2015. Su objetivos y metas muestran cambios en la concepción del desarrollo, porque dejan atrás la visión tradicional Norte-Sur; esto se debe a que son una especie de pacto global para el desarrollo, adoptado en un marco multilateral y más representativo, que por primera vez aborda cuestiones como la pobreza no extrema, la desigualdad y la inclusión social, los problemas ambientales globales, la paz y la seguridad, además, no se limita a los países más pobres, aunque reconoce su especificidad, y muestra capacidad de adaptarse a las diferentes realidades regionales, nacionales y locales. Fue elaborada mediante "un amplio proceso de deliberación pública, participación, consulta y formación de consensos y visiones compartidas" [20].

Los 17 objetivos y 169 metas de la Agenda, aunque "no son jurídicamente obligatorios, todos los países deben asumir una responsabilidad ante ellos, darles seguimiento y cumplir las metas" [21]; son un compromiso de toda la comunidad internacional y, por tanto, poseen carácter universal; no obstante, no se aplican globalmente, sino que cada país los adapta a sus particularidades.

La visión del desarrollo sostenible de la Agenda 2030 integra las dimensiones económica, social y ambiental, y es esencialmente transformadora y humanista porque pone en el centro de atención a la dignidad y llama a cambiar el estilo de desarrollo para que con él se respete el medioambiente. Incluye entre sus objetivos: erradicar la pobreza y lograr la seguridad alimentaria; garantizar la salud, el bienestar y una educación de calidad; lograr la igualdad de género; asegurar el acceso al agua y a la energía; promover el crecimiento económico y un trabajo decente para; consumo responsable; reducir las desigualdades; adoptar medidas contra el cambio climático; promover la paz y la justicia.

En la realización de esos propósitos, las instituciones docentes juegan un papel fundamental al contribuir a la formación del personal calificado [22]. Un objetivo que irriga toda la Agenda, porque en torno a él hay varias referencias, es el número 4: "Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y

promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos" [23]. Para su consecución se proponen 7 metas de vital importancia que deben cumplirse antes del 2030: la enseñanza primaria y secundaria para todos los niños y niñas; la educación preescolar de calidad; el acceso igualitario de todos los hombres y mujeres a una formación, incluida la enseñanza universitaria; aumentar el número de jóvenes y adultos que acceden a un empleo digno, el trabajo y el emprendimiento; eliminar las desigualdades en cuestión de género en la educación y asegurar el acceso igualitario a la educación para las personas vulnerables; la alfabetización universal; la formación en la promoción del desarrollo sostenible y la justicia.

No obstante la nobleza de tales metas, la Agenda tiene debilidades y riesgos, entre ellos: responde a una lógica de negociación intergubernamental que conduce a acomodar intereses diversos sin una priorización definida; su amplitud propicia la existencia de "compromisos poco eficaces" [24] y no se expresan claramente los fines y medios, así como las mejoras y derechos a alcanzar. El mencionado objetivo número 4 incluye diez metas que giran en torno a la calidad y al carácter gratuito y equitativo, así como once indicadores, con los cuales se pretendió dotarlo de mayor precisión; pero es muy abierto el propósito de calidad, además, lo referente a la educación superior no se destaca por su explicitud, de ahí que en torno a ella caben reflexiones de diversas índoles.

En Cuba muchas de esas metas se han alcanzado y desde hace tiempo, pero ello no significa que se haya llegado al non plus ultra; la educación es una labor que exige un mejoramiento continuo, como sucede con la tarea de la concientización de la importancia del desarrollo sostenible. Al llegar a la educación superior, la mayoría del alumnado no se destaca por los conocimientos del desarrollo sostenible [25]. Este contenido y la Agenda, deben ocupar mayor espacio en el quehacer universitario para que sea habitual no solo en las actividades académicas, sino también, en las conversaciones cotidianas estudiantiles.

Muchas pueden ser las vías para que los estudiantes universitarios tomen conciencia de la importancia del desarrollo sostenible y la Agenda 2030 y actúen en correspondencia, entre esos caminos hay uno no explorado como merece, de lo cual da fe la bibliografía existente; se trata de la formación ciudadana.

## 2. LA FORMACIÓN CIUDADANA. DIRECCIONAMIENTO AL DESARROLLO SOSTENIBLE

En el marco pedagógico la formación ciudadana se concibe como parte del proceso educativo; son componentes suyos lo cognitivo y lo actitudinal y, con ellos, los valores y las valoraciones, así como las habilidades y competencias cívicas. Cuando constituye objeto de atención en el nivel educacional superior es para propiciar un egresado que sea capaz de pensar acerca del entorno, del cercano y del global, y hacer aportaciones a la humanidad. En este empeño es conveniente conjugar tres perspectivas: la del proceso de influencias que debe realizarse (perspectiva de exterioridad); la de las motivaciones e intenciones del individuo objeto de formación ciudadana (perspectiva de interioridad) y la de lo que se desea formar (perspectiva de resultado) [26]. Dicha formación se asocia a los valores, particularmente la responsabilidad, la solidaridad y la participación en la comunidad, con el propósito bien delimitado de identificarse con la misma, es decir, la comunidad, y respetar la convivencia [27]

La formación ciudadana está básicamente ligada a la palabra ciudadano. Esta última tiene varias acepciones, la que más próxima está a la esencia del vocablo es que se denomina así, o sea, ciudadano, a quien es natural o vecino de una ciudad; pero con ella también se hace alusión al sujeto de derechos políticos y que mediante ellos interviene en el gobierno del país. Este último significado es muy tenido en cuenta, por eso, la palabra generalmente se limita a la relación de la persona con el Estado.

Esta situación puede tener como resultado que por formación ciudadana se entienda un proceso ligado exclusivamente a servir al Estado y que no se justiprecie como un proceso de socialización, que ha de ser sistemático e intencional, cuyo objetivo es lograr que los individuos sean ciudadanos en el sentido más amplio y tengan conciencia de ello, lo cual significa que sean actores protagónicos de la sociedad, es decir, que tengan posibilidad de participar con plenitud en la sociedad. De ahí la necesidad replantear la

formación ciudadana para que con ella acentúe y "se haga visible la pluralidad de identidades, la diversidad y la alteridad como características de la democracia actual" [28]

Al hacer uso de la categoría ciudadano es casi inevitable la aproximación a otra palabra: ciudadanía. Con ella, en el sentido más común, suele hacerse alusión a la cualidad de ciudadano y sus derechos, al comportamiento que la sociedad reconoce que debe tener y al conjunto de los ciudadanos de un pueblo o nación; pero lo referente al ciudadano ha cambiado y hoy se habla de ciudadanía cosmopolita [29].

Al hacer referencia a las nociones ciudadano y ciudadanía, se debe destacar la distinción entre las dimensiones cívica y civil. La primera se entiende en relación con lo político y las instituciones de este corte, mientras que civil, aunque con frecuencia suele usarse en oposición a lo militar, concierne a la convivencia en el espacio más inmediato, a la identidad y el sentido de pertenencia a una comunidad, y tiene un sentido horizontal, a diferencia de la anterior, que es vista y concebida de manera vertical.

Puede pensarse que los objetivos del proceso de formación ciudadana están claros, que son conocidos y que no es necesario volver a ellos, entre los cuales sobresalen el conocimiento de la sociedad, el Estado y sus leyes, así como del impulso al activismo sociopolítico, pero ha de pensarse que en ello puede haber novedad y que de hecho existe, por ejemplo, en cuanto a las herramientas con las que se espera visibilizar la formación ciudadana en las instituciones de educación superior, entre las cuales no solo están las formas de docencia, que siempre pueden ser novedosas, sino también los instrumentos de apertura de la universidad a la comunidad y el fomento en sus predios de la democratización [30]

Uno de los propósitos que se tiene con la formación ciudadana es incentivar la participación en los diversos procesos de la sociedad. La participación está estrechamente vinculada a la tesis de que la actividad y la comunicación son mecanismos de formación de la personalidad; de ahí la importancia de lograr que la persona participe en su medio social, que sea activa y esto se realiza, en gran medida, con la existencia de posibilidades reales de decidir. La atención a estos aspectos conduce a la pretensión de lograr que las personas se sientan parte de la sociedad y que, por tal razón, pueden y deben contribuir con su mejoramiento y transformación en general.

Junto con la participación, en la formación ciudadana es de suma valía la atención al espacio intersubjetivo y al uso del mismo con actitud crítica, reflexiva y creativa para realizar transformaciones en torno al bienestar humano. La intersubjetividad es otro de los aspectos a desarrollar en el ciudadano; si no se logra formarla en él, no puede actuar adecuadamente como tal. Por intersubjetividad se entiende la relación psicológica entre las personas, entre dos sujetos que generan subjetividad. Entre sus aspectos importantes está el básico: la percepción del otro, pero esta no basta, porque es necesaria la comprensión de significados, el hecho de compartir tanto la situación como los significados de la misma. Ahora bien, es necesario otro aspecto: la comprensión de la dimensión espacio-temporal, que es tener conciencia de que se comparte un contexto y que se comprenden significados: esto posibilita la convivencia, que tiene lugar en el denominado espacio público: ámbito dialógico para la construcción de acuerdos, donde toman partido las personas con sus creencias y acciones comunes e individuales. La dimensión espacio temporal es otro aspecto esencial de la intersubjetividad. Con relación a esta cuestión están los términos de distancia social y territorialidad. Puede hablarse de dos dimensiones para la distancia social: familiaridad y jerarquía. La distancia y el tiempo entre los interlocutores tienen significados para ellos que varían según la cultura. En esta dimensión se incluyen todas las diferencias de los participantes en el encuentro. El tener en cuenta el espacio y la distancia evita conflictos y distorsiones en las relaciones. [31]

Además de los aspectos anteriores en la intersubjetividad es importante la reflexión crítica responsable. En el mundo se persigue que cada individuo humano sea capaz de discernir entre lo positivo y lo negativo y tomar decisiones por sí mismo; de ese modo sucede respecto al profesional que se está formando en la universidad. Pretensión básica de la educación superior en general ha de ser, y de hecho lo es, que el graduado sea capaz de reflexionar y actuar con conocimiento, de modo consciente y por sus propias convicciones. Este propósito conduce a que la formación ciudadana no sea únicamente un sistema de acciones encaminado a dotar al estudiante de los conocimientos aludidos, conjugados con los de la

profesión específica. Y aquí vale subrayar que tal sistema es altamente valioso, pero junto a él y como parte suya, ha de promoverse el desarrollo de otras características de la personalidad, intención que está acorde con el objetivo de la educación superior en Cuba de formar no solo profesionales, sino también ciudadanos y, más aún, seres humanos con cualidades superiores, dispuestos y preparados para transformar el mundo en aras de aumentar el bienestar a la humanidad.

Aquí cabe traer a colación tres ámbitos propios para la formación ciudadana: el contenido docente en torno a la sociedad, las relaciones de participación dentro de la institución escolar y las relaciones entre los actores de dicha institución y la comunidad, vista esta última tanto en un sentido micro, como macro [32]. La formación ciudadana ha de ser un componente esencial de la formación profesional y responder a las exigencias de la sociedad [33]. De ella es propósito básico lograr el comportamiento ciudadano de acuerdo con las leyes imperantes y las normas de convivencia en un contexto socio histórico concreto. La formación ciudadana en la educación superior constituye un proceso complejo e integral, cuyos contenidos y características son expresión de las condiciones históricas de la época y se relacionan básicamente con la responsabilidad social de la universidad, dada, ante todo, por la defensa de los derechos humanos, la democracia y la justicia social.

En la sociedad cubana actual y desde la perspectiva de la formación ciudadana, ha de reforzarse la atención a las nuevas generaciones en general, pero ante todo a los profesionales en formación, quienes son los próximos creadores y guías del país; con ellos ha de brindársele una atención mayor y que se corresponda con las características del mundo actual, a los conocimientos éticos, políticos, jurídicos, que consoliden la responsabilidad y activen su participación en la sociedad con espíritu crítico y carácter transformador, así como a propiciar el despliegue de sus capacidades, junto al desarrollo de competencias y habilidades profesionales, siempre apoyados en la defensa de la patria y la cultura nacional.

En ese quehacer es imprescindible tener presente en todo momento las individualidades y la diversidad, sobre todo si se refiere a la Formación Ciudadana como una asignatura [34] cuyo programa y planificación, han de ser cada vez más participativos[35], sobre todo crearlos a partir de los criterios de los propios estudiantes [36] y brindarle atención especial a la separación que puede existir entre “los objetivos institucionales sobre formación ciudadana de sus estudiantes y la visión que éstos tienen de su realidad cotidiana en el plantel” [37].

Por otro lado, pero cercano a la idea anterior, se hace inevitable recalcar que el mundo contemporáneo, marcado por procesos políticos peligrosos y de suma complejidad, por una crisis económica profunda y grave y por problemas medioambientales, se hace cada vez más necesario enfilar al desarrollo sostenible la formación ciudadana de los futuros profesionales, en particular de las Ciencias Técnicas

**El desarrollo sostenible y la formación ciudadana de los profesionales de las Ciencias Técnicas**

En la sociedad humana actual, marcada por la importancia del conocimiento, los profesionales y con ellos, la educación superior, tienen una gran importancia, que aumenta de modo continuo y tiene especificidades en el área de las Ciencias Técnicas, dadas, fundamentalmente, por los resultados de su labor, de marcado carácter práctico, muchos de los cuales han alterado la vida de modo significativo y, a todas luces, continuarán actuando sobre ella. Pero el propio contenido de estas ciencias no tiene con la formación ciudadana la fuerza y la multiplicidad de relaciones observables con las humanidades y las ciencias sociales, por lo cual precisan de una atención particular y mayor esmero.

La anterior afirmación conduce a recalcar la intencionalidad de la formación ciudadana en las ingenierías y la Arquitectura, es decir, a mirar desde esta perspectiva los contenidos propios de cada una de ellas. De tal suerte, el trabajo metodológico del colectivo de año debe enfocarse consciente a diseñar los contenidos y acciones enfilados a la formación ciudadana desde el currículo, algo que se hace en cuanto al trabajo educativo, político-ideológico y de formación de valores, por tanto, no está ausente del todo, pero de lo que se trata es de darle una determinada prioridad a la formación ciudadana, que, valga reiterar, ha de concebirse desde el diseño de los objetivos de la carrera y año académico, con las respectivas acciones a

desarrollar, tarea esta que puede parecer innecesaria e incluso, tediosa, pero que contribuye a formar las cualidades que necesita la sociedad cubana actual.

No faltan autores, incluso de otras latitudes, quienes aseguran que "el proceso de formación del estudiante está centrado enfáticamente en la labor académica de la universidad sin la requerida integración con los factores comunitarios, sin propiciar el desarrollo del rol protagónico del educando más allá de los límites de la universidad" [38]. La formación ciudadana ha de estar presente, pero de manera subrayada, en la formación profesional en las tres funciones sustantivas de la educación superior, la docencia, la investigación científica y la extensión universitaria, pero no de modo aislado, antes bien, en la total integración, desde donde se obtienen los mejores frutos, los resultados de alto impacto social. Para ello, ha de desplegarse un trabajo mancomunado de los diversos actores educativos. Esta faena y el propósito que se tiene con ella, pueden parecer anacrónicos, porque las condiciones socioeconómicas actuales en Cuba no son, ni medianamente, favorables para ello, pero puede hacerse lo que sea posible a pesar de las adversidades, tantas y tan variadas. Lo cierto es que hace falta reforzar la formación cívica y es en los profesores universitarios en quienes están las mayores posibilidades de hacer algo al respecto.

Además del aspecto docente-educativo, de inconmensurable valía en esta faena incluso del quehacer y del científico-investigativo, en estos propósitos tiene un sitio especial la extensión universitaria, no siempre justipreciada, ni reconocidos sus valores en la medida adecuada. No ha de perderse de vista que la extensión universitaria es todo un proceso donde se integran lo educativo, lo investigativo, lo social y lo cultural; de ahí que desde ella se despliegan, de modo único, las relaciones entre la universidad, la sociedad y la cultura, que no son unidireccionales desde la alta casa de estudio, pues hay un retorno hacia esta riqueza, que contienen las otras dos, la cual ha de aprovecharse al máximo en la formación ciudadana. Mucho es lo que puede hacerse en este sentido desde la extensión universitaria, tanto práctico, como teórico; y valga subrayar que la misma no ha de verse limitada al deporte y las actividades artísticas y recreativas, ni a la organización de eventos científicos, todas difíciles y no pocas veces valoradas no en su justa medida, antes bien ha de verse asociada al quehacer sociocultural y su impacto cada vez mayor. Para entender esta idea es preciso comprender la extensión universitaria como "un proceso formativo, dinámico, de las universidades como instituciones de cultura y la ampliación de la influencia recíproca e integración con la sociedad mediante la promoción de la cultura en el sentido más amplio" [39].

La dimensión extensionista es el colofón de la formación integral de los profesionales y, por tanto, en ella tiene un sitio singular la formación ciudadana. La educación superior es un sistema compuesto por muchos componentes, que, para percibir su valor total, hay que verlos como lo que son, un sistema, aunque esta afirmación no puede entenderse como que el estudio a profundidad no conduzca a brindarle atención a uno de los componentes y verlo así de modo aislado. Este procedimiento permite ver las especificidades, que en el caso de la extensión universitaria proporciona ver su vínculo con las características de la sociedad y, en igual media, con las demandas y tendencias de la misma. Sobre la extensión universitaria recae el encargo social hacia la educación superior y es aquí donde toma consistencia su esencia: el carácter integrador y dinamizador. Ambos se deben a que en el quehacer extensionista están presentes los diversos elementos estructurales de la universidad y su encargo con la sociedad y la cultura. En esta malla de relaciones las tres se enriquecen en múltiples sentidos y en las direcciones posibles según el momento histórico concreto.

Hoy es de suma valía el trabajo sociocultural de la universidad; con él la alta casa de estudios se articula a la sociedad y la cultura. La creciente y muy cambiante complejidad conduce a repensar los proyectos socioculturales. Tales transformaciones conducen a repensar continuamente la extensión universitaria, tanto lo concerniente a cómo se concibe, como lo que tiene que ver con su ejecución. Esta es una vía para que el trabajo sociocultural tenga el impacto necesario en la transformación de las comunidades [40], que, a la vez, puede integrarse al trabajo socioformativo con el cual se prioriza el desarrollo humano en sus nexos con el entorno, esencial y básicamente vinculado del desarrollo sostenible [41]

Pero hay algo más, aparentemente lejano de la idea anterior, y es que la estrecha relación entre lo cívico y lo ciudadano ha propiciado el uso de una categoría no tan utilizada como debería ser: la formación urbana, centrada en la primera acepción del vocablo ciudadano: ser humano que vive en la ciudad. Pero esta categoría lleva implícita una dificultad y es que puede confundirse con el proceso de edificación urbana

que tiene lugar en las localidades, por eso, para evitar confusiones, ganar precisión y reducir la ambigüedad, es preferible realizar una modificación a la categoría y referir la formación cívico-urbana.

Con la categoría formación cívico-urbana se persigue destacar que dentro de la formación ciudadana y como componente suyo, existe una línea que subraya el papel de los nexos entre los seres humanos, tanto individual como colectivamente, con la ciudad, vista esta no solo como las construcciones y espacios, sino también como quienes la habitan, como la comunidad humana que es.

Aquí cabría preguntar cuál sería la contribución de la ciudad a la educación, pero también cabría otra interrogante: cuál sería la contribución de la educación a la ciudad. Desde la formación cívico-urbana pueden observarse dos elemento: "el didáctico que centra su atención en 'aprender de la ciudad y aprender la ciudad'. Aprender la urbe como fuente de información o como medio didáctico o 'instrumental', facilitador del aprendizaje y considerar la ciudad, no como medio, sino como objeto de aprendizaje. El segundo elemento es el formativo que se asocia con la educación cívica, la moral convivencial, la solidaridad, la participación, con el fin de lograr lo que podríamos llamar la vertebración de la sociedad civil" [42].

Con la idea anterior vuelve la relación desarrollo sustentable-formación ciudadana, pero esta vez cobra mayor dimensión otro tipo de nexos, el que se forma con los profesionales de las Ciencias Técnicas, que retorna para destacarla como un sistema complejo de nexos de múltiples direcciones y órdenes.

Como ningún otro profesional, los ingenieros y arquitectos están ligados al desarrollo sustentable y a las ciudades; estas están constituidas por sus habitantes, por lo cual constituyen un asunto humano más que técnico; de aquí su estudio debe orientarse a comprender tanto lo 'físico', como lo humano, desde donde puede brillar el propósito de construir la ciudad deseada, que por su complejidad, no puede pensarse como homogénea, sino como diversa, fragmentada y viva, al mismo tiempo, "se requiere que la ciudad misma genere mecanismos de inteligibilidad, que sea fuente de información y que lo haga en un lenguaje apropiado. En esta interacción están, de un lado los componentes físicos y su potencial comunicador y, por otro, la gente y las relaciones que construyen" [43]. El asunto está en cómo vivir en la ciudad y cómo vivir para ella; el camino de hacerse ciudadano pasa por un proceso que empieza en la niñez y transita por toda la vida de los ciudadanos y esto incluye aprender de la localidad e identificarse con ella.

Los tiempos que corren, de suma complejidad, exigen el enriquecimiento teórico y práctico del desarrollo sostenible, que, por las características básicas de la sociedad actual ha de estar vinculado a la educación superior y con ella y mediante ella, a la formación ciudadana. En este tejido de relaciones tienen una importancia en ascenso los profesionales de las Ciencias Técnicas y los estudiantes que se están formando como tales. Desde ellos, y con ellos, cobra significación especial la convivencia urbana.

El presente trabajo apunta a una faena impostergable en los sentidos que trata: apremia atender el desarrollo sostenible y la formación ciudadana en la educación superior, pero, a la vez, urge brindarles mayor atención a las ciudades cubanas, con esmero y dedicación más intensos. Este empeño exige mucho pensamiento, más entrega cargada de afectividad y acciones que resuelvan problemas y creen características mejores. No es solo resolver problemas materiales, que existen en demasía, sino las relaciones de los ciudadanos con dichos problemas y entre ellos mismos como habitantes de las ciudades. Todos los profesionales tienen implicaciones enormes, pero destacables, por su importancia, son los ingenieros y los arquitectos, junto a todos los profesores de la educación superior. ¡Incrementar la atención a estos asuntos es una tarea de hoy; mañana puede ser muy tarde!

## 3. CONCLUSIONES

No se puede perder de vista que con la categoría desarrollo sostenible se persigue la integración, o por lo menos, la articulación de lo económico, lo social y lo medioambiental, donde el ser humano ocupa una posición central. Para garantizar este lugar protagónico, son indispensables, a su vez, la inclusión y la equidad, y, junto a ellas, el respeto y cuidado de la diversidad de la naturaleza, que alude la flora, la fauna, el clima y entre otros aspectos más, la obra humana, y con ella, la sociedad y la cultura.

El desarrollo sostenible está indisolublemente ligado a la Agenda 2030, cuya valía está en la amplitud de los objetivos que contiene. Dicha anchura se manifiesta no solo en la diversidad de esferas sociales a las cuales hace referencia, sino, sobre todo, a que conjuga el presente con el futuro. Respecto a este último sobresale su mejoramiento en todas las direcciones que hoy están a la vista.

Lo más significativo de la utilización de la categoría formación ciudadana en la educación superior es poner como meta el logro de un profesional que piense de modo amplio y profundo en la sociedad donde vive y en la cultura a la cual pertenece y que puede enriquecer con su quehacer cotidiano.

Las categorías siguientes: civil, cívico y ciudadano merecen mayor atención teórica. El enriquecimiento de la teoría acerca de cada una de ellas constituye una condición indispensable para lograr la amplitud que hoy se precisa en la categoría formación ciudadana, sin que pierda su esencia.

Actualmente crece la importancia de los profesionales de las Ciencias Técnicas; en ello, el desarrollo sostenible y la formación ciudadana no son la excepción. La articulación de los tres puede dar lugar a avances novedosos en todas las direcciones de la vida.

En la educación superior urge que la formación ciudadana tenga protagonismo; esto no puede reducirse a la existencia de una asignatura. Valía especial tiene la extensión universitaria, por ser esencialmente integradora; ha de priorizarse, pues la formación ciudadana no puede limitarse a la universidad; ha de irrigar la sociedad y la cultura. La visión compleja, integradora y activa es indispensable en estos tiempos.

Hoy no basta atender los vínculos del ser humano con la sociedad, el Estado, las leyes jurídicas y la democracia; tampoco es suficiente que se tenga en consideración sus intereses y necesidades individuales; urge atender también las relaciones urbanas. Si la educación superior tiene entre sus objetivos formar un profesional integral, este empeño no puede desligarse de la formación cívico-urbana.

**REFERENCIAS**

1. NACIONES UNIDAS. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago, 2018
2. LASTRES, Héctor. Innovación, territorio y desarrollo: implicaciones analíticas y normativas del concepto de arranjos y sistemas productivos e innovativos locales, pp. 477-508, en SUÁREZ, D. ERBES, A; BARLETTA, F., (compil). Teoría de la innovación: evolución, tendencias y desafíos Herramientas conceptuales para la enseñanza y el aprendizaje. Madrid: Ediciones Complutense, 2020, ISBN 978-987-630-481-8.
3. PRISCAL, R. "La subversión tecnológica de la vida cotidiana. Un análisis desde el pensamiento complejo de Morin". *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 2021, vol. 5, núm. 1, pp. 436-458 https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.242
4. TAPIA SISALIMA, Juan Diego. "La sostenibilidad del concepto desarrollo sostenible. ¿Cómo hacerlo operativo?". *Pensamiento Empresarial*, 2020, núm. 6, pp. 185-202.
5. LUZURIAGA-VÁSCONEZ, Washington Germán; BUENO-SAGBAICELA, William Ramiro. "Insostenibilidad del desarrollo sostenible: Una mirada crítica al discurso oficial de Brundtland". *Revista Espiga*, 2024, núm. 47, pp. 249-288.
6. SURASKY, Javier. Ambiente y desarrollo: de la oposición a la confluencia, pp. 222-238, en *Pensamiento crítico latinoamericano sobre desarrollo*, Buenos Aires: Editorial Los Libros de Catara-IUDC, 2020, 345 pp. ISBN 978-987-46464-6-0
7. NACIONES UNIDAS. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Annex to Document A/42/427, 1987 http://www.un-documents.net/wcedocf.htm]
8. VÁZQUEZ-BURGUETE, José Luis; LANERO-CARRIZO, Ana; SAHELICES-PINTO, César; VÁZQUEZ-GARCÍA, José Luis, VÁZQUEZ-GARCÍA, José María y GARCÍA-MIGUÉLEZ, María Purificación. "Desarrollo sostenible: de sus antecedentes a los ODMs, ODSs Y OBVs". *Responsibility and Sustainability Socioeconomic, political and legal issues*, 2023, vol 9, núm. 1, pp: 37-50.

9. GRAZIANO, Paola; CANO ANDRADE, Ricardo. "Explorando la complejidad jurídica y teórica del desarrollo sostenible: un enfoque desde la teoría de sistemas complejos". *Revista Jurídica*, 2022, núm. 19, pp. 32-44.
10. CAMPOS-CAMPOS, Diego; BERMÚDEZ-CARRILLO, Luis Alberto. "Pymes, responsabilidad social y desarrollo sostenible". *InterSedes*, 2020, vol. 21, núm. 43, pp. 131-151, DOI: 10.15517/isucr.v21i43.41989
11. SIMÓN, C., BARRIOS, Á., GUTIÉRREZ, H. y MUÑOZ, Y. "Equidad, educación inclusiva y educación para la justicia social. ¿Llevan todos los caminos a la misma meta?". *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 2019, vol. 8, núm. 2, pp. 17-32. http://dx.doi.org/10.15366/riejs2019.8.2.001]
12. AMBROGUI ROMÁN, Rosario. "Desarrollo Sostenible: Concepto y Evolución del Paradigma". *REICE, Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas Abriendo Camino al Conocimiento*, 2017, vol. 5, núm. 9, pp. 30-56, http://revistacienciaseconomicas.unan.edu.ni/index.php/REICE.]
13. VÁZQUEZ-BURGUETE, José Luis, LANERO-CARRIZO, Ana, SAHELICES-PINTO, Césa VÁZQUEZ-GARCÍA, José Luis, VÁZQUEZ-GARCÍA, José María, GARCÍA-MIGUÉLEZ, María Purificación. "Desarrollo sostenible: de sus antecedentes a los ODMs, ODSs Y OBVs". *Responsibility and Sustainability Socioeconomic, political and legal issues*, 2023, vol 9, núm. 1, pp: 37-50.
14. GUILLÉN DE ROMERO, J., CALLE, J., GAVIDIA, A. M., y VÉLEZ, A. G. "Desarrollo sostenible: Desde la mirada de preservación del medio ambiente colombiano". *Revista de Ciencias Sociales (Ve),* 2020, núm. 26, pp. 293-307.
15. DE SOUSA, B. *La Cruel Pedagogía del Virus.* Santiago de Chile: CLACSO, 230 pp. ISBN: 978-65-84533-94-3
16. RÍOS Y VALLES BOYSSELLE, F. "La necesidad de la utopía en la propuesta de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030". *Entretextos*, 2021, vol. 12, núm. 36, pp. 1–13. https:// doi.org/10.59057/ibero¬leon.20075316.202036214].
17. RUIZ VÁSQUEZ, Úrsula Patricia. "Desarrollo sostenible en las empresas del Perú: ¿voluntario u obligatorio?". *Giuristi: Revista de Derecho Corporativo*, 2021, vol. 4, núm. 8, pp. 183-202. https://doi.org/10.46631/Giuristi.2023.v4n8.09
18. SANAHUJA, J. A. "La Agenda 2030 frente al COVID-19: retrocesos, oportunidad y vindicación del desarrollo sostenible global". *Gaceta Sindical. Reflexión y Debate*, 2021, núm. 37, pp. 61-74
19. ONU. Agenda 2030 en América Latina y el Caribe (2019). Declaración sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) https://agenda2030lac.org/es/node/839]
20. SANAHUJA, J. A. "La Agenda 2030 de desarrollo sostenible: de la cooperación Norte Sur al imperativo universalista del desarrollo global". *Gaceta Sindical. Reflexión y Debate*, 2016, núm. 33, pp. 206-221.
21. DE LA ROSA, D.; GIMÉNEZ, P.; DE LA CALLE, C. "Educación para el desarrollo sostenible: el papel de la universidad en la Agenda 2030. Trasformación y diseño de nuevos entornos de aprendizaje". *Revista Prisma Social*, 2019, núm. 25, pp. 179-202
22. FONT-JAY, Lucía. "Desarrollo Sostenible en Cuba". *Anuario de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente, Cuba*, 2020, número especial, pp. 3-13
23. NACIONES UNIDAS. *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3,* 2018), Santiago.
24. SANAHUJA, J. A. "La Agenda 2030 de desarrollo sostenible: de la cooperación Norte Sur al imperativo universalista del desarrollo global". *Gaceta Sindical. Reflexión y Debate*, 2016, núm. 33, pp. 206-221.
25. GIL RUIZ, Paula; SANCHEZ ALBA, Bienvenida. "Efecto de la interactividad en vídeos educativos sobre la mejora de la definición del concepto de sostenibilidad". *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 2023, vol. 5, núm. 1, pp. 1303- 1311.
26. GONZÁLEZ RIVERO, Berta. "Retos de la formación ciudadana para la educación superior". *Universidad y Sociedad*, 2019, vol. 11, núm. 4, pp. 341-.349 http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus
27. RIVERA OLGUIN, Patricio; SÁNCHEZ ESPINOZA, Eugenio. "Formación ciudadana: innovación didáctica y apropiación curricular en docentes de la comuna de Iquique (región de Tarapacá, Chile)". *Revista de Estudios y Experiencias en Educación, REXE*, 2022, vol. 21, núm. 45, pp. 278-298, http://revistas.ucsc.cl/index.php/rexe

28. ZAMORANO-VARGAS, Alicia; HERNÁNDEZ, María Eugenia. "Formación ciudadana y construcción de comunidad: investigación acción colaborativa entre escuela y universidad". *Sophia Austral*, 2020, núm. 26, pp. 199-212.
29. ORELLANA, C.; MUÑO, C. "Escuela y formación ciudadana: concepciones de ciudadanía, formación ciudadana y del rol de la escuela". *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 2019, vol. 22, núm. 2, pp. 137-149 DOI: http://dx.doi.org/10.6018/reifop.22.2.370561]
30. ZÚÑIGA, Carmen Gloria; OJEDA, Patricia; NEIRA, Paula; CORTÉS, Teresa; MOREL María Jesús. "Entre la imposición y la necesidad: implementación del plan de formación ciudadana en escuelas chilenas". *Calidad en la Educación*, 2020, núm. 52, pp. 135-169.
31. GONZÁLEZ RIVERO, Berta. "Retos de la formación ciudadana para la educación superior". Universidad y Sociedad, 2019, vol. 11, núm. 4, pp. 341-.349 http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus
32. JARA, Camila, SÁNCHEZ, Macarena y COX, Cristián. "Liderazgo educativo y formación ciudadana: visiones y prácticas de los actores", *Calidad en la Educación, 2019,* núm. 51, pp. 350-381
33. GONZÁLEZ-QUINTERO, Raiden, GÓMEZ-RODRÍGUEZ, Iraida María. "La formación ciudadana en la educación superior cubana". *Educación y sociedad*, 2022, vol. 20, núm.1, pp. 157-172.
34. SALAZAR JIMÉNEZ, Rodrigo, ORELLANA-FONSECA, Cristian., MUÑOZ LABRAÑA, Carlos y CÁRCAMO VÁSQUEZ, Héctor. "Escuela y participación: La implementación de un plan de formación ciudadana en establecimientos educacionales de Chile". *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 2021, vol. 21, núm. 1, pp. 1-29. Doi. 10.15517/aie.v21i1.42543],
35. OJEDA MILLAHUEQUE, Patricia; ZÚÑIGA GONZÁLEZ, Carmen Gloria. "El diagnóstico participativo para la elaboración del plan de formación ciudadana". *Sophia Austral*, 2020, núm. 26, pp. 259-285
36. MOLINA JARA, Jorge, ALCAÍNO JARA, María José, ARANDA ITURRIAGA, Miryam y MORALES CORNEJO, Jacqueline. "Implementación de planes de formación ciudadana: La experiencia regional de Curicó, 2017-2018". *Sophia Austral*, 2020, núm. 26, pp. 287-301.
37. IBARRA BELTRÁN, Álvaro de Jesús, HERNÁNDEZ CARVAJAL, Nayesia María, MERCADO PÉREZ, Raúl; CAMACHO BUENROSTRO, Benita. "Elementos de formación ciudadana presentes en los programas de pregrado de la Universidad de Guadalajara, México". *Revista Anual Acción y Reflexión Educativa*, 2020, núm. 45, pp. 150-169.
38. VENET MUÑOZ, R. "La formación ciudadana en el contexto universitario. Una mirada axiológico-cultural desde la educación para la paz y la no violencia". *Revista Conrado*, 2019, vol. 15, núm. 70, pp. 435-443 http://conrado.ucf. edu.cu/index.php/Conrado
39. KOCHHANN, Andréa; RODRÍGUEZ DÍAZ, Ramón. "Extensión universitaria en Cuba y América Latina: diálogos contemporáneos sobre el proceso conceptual y de gestión, pp. 21-38, En Andréa KOCHHANN (Org.) *Práticas de ensino. Diálogos contemporáneos*. Goiânia: Editora Kelps, 2021. ISBN: 978-65-84533-94-3
40. MARIÑO, Yaima, BATISTA, Dagneris; BARBÁN, Yoenia. "La gestión pedagógica extensionista en el proceso formativo del educador artístico". *Revista Didasc@lia. Didáctica y Educación*, 2023, vol 14, núm. 4, pp. 100-140, http://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalia
41. MARIÑO, Yaima, BATISTA, Dagneris y BARBÁN, Yoenia. "Estrategia pedagógica con enfoque socioformativo". *Educere*, 2023, núm. 88, pp. 793-802.
42. GREGORIO RODRÍGUEZ, José. "Formación ciudadana y urbana. Un estado del arte", pp. 130-200, en Carlos MIÑANA BLASCO (Ed). *Interdisciplinariedad y currículo: construcción de proyectos escuela-universidad. Memorias del V Seminario Internacional*, Bogotá: Programa RED-Universidad Nacional de Colombia, 2000. ISBN: 84-8191-346-4
43. BORJA, Jordi. *La ciudad conquistada. Un punto de vista desde la sociología. Ciudad Educadora. Un concepto y una propuesta*. Medellín: Corporación Región, 1997, 210 p. ISBN: 978-956-7524-09-9

**Sobre los autores**

El autor es doctor en Ciencias Filosóficas y profesor titular. Es profesor del Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES) de la Universidad de La Habana. Entre sus líneas de investigación están las relaciones educación superior-sociedad-cultura y el pensamiento filosófico occidental contemporáneo, del cual atiende con mayor esmero la filosofía de la educación y la formación ciudadana en el pensamiento cubano y latinoamericano.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO EN DIRECTIVOS. EXPERIENCIA EN LA FORMACIÓN DE POSGRADO

**Ana Teresa Molina Álvarez**[1]

[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría
Ave. 114 entre Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba
[1]e-mail: anatere@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El pensamiento crítico en directivos de organizaciones se constituye en una habilidad fundamental en el desempeño de estas personas. En el presente trabajo se presentan los enfoques de diferentes autores que han teorizado alrededor de aquel, destacándose los que han abordado el problema a la luz de la Teoría de la Actividad y la Pedagogía Radical. Se hace énfasis, no solamente en los atributos que lo caracterizan, sino también en el marcado impacto social que conlleva su desarrollo.
Se presenta, además, una experiencia en la asignatura Comportamiento Organizacional de la Maestría en Dirección, el la cual se muestra la aplicación del estudio de caso y técnicas de trabajo en equipos en una modalidad de evaluación del aprendizaje, que incluye la coevaluación o evaluación entre pares, en la que a través de un caso real se contribuye a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en un grupo compuesto en su totalidad por directivos de organizaciones.
Se presentan, igualmente, los resultados de aplicación de una rúbrica para la coevaluación y una encuesta de satisfacción aplicada a los maestrandos. En ellas se evidencian las posibilidades de estas técnicas para el desarrollo, no solo del pensamiento crítico, sino también de otras habilidades directivas como es el caso de las comunicativas.

**PALABRAS CLAVES:** pensamiento crítico, estudio de caso, trabajo en equipos, evaluación del aprendizaje.

# THE DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING IN MANAGERS. EXPERIENCE IN POSTGRADUATE TRAINING

**ABSTRACT**

Critical thinking in organizational managers is a fundamental skill in the performance of these people. This work presents the approaches of different authors who have theorized around it, highlighting those who have addressed the problem in light of Activity Theory and Radical Pedagogy. Emphasis is placed not only on the attributes that characterize it, but also on the marked social impact that its development entails.
In addition, an experience is presented in the subject Organizational Behavior of the Master's Degree in Management, which shows the application of the case study and teamwork techniques in a learning evaluation modality, which includes co-evaluation or evaluation between peers, in which through a real case we contribute to developing critical thinking skills in a group made up entirely of organizational managers.
The results of applying a rubric for co-evaluation and a satisfaction survey applied to the teaching students are also presented. They demonstrate the possibilities of these techniques for the development, not only of critical thinking, but also of other managerial skills such as communication skills.

**KEY WORDS:** critical thinking, case studies, teamwork, learning evaluation.

## INTRODUCCIÓN

El pensamiento crítico constituye, en la actualidad una capacidad fundamental en el trabajo de los directivos y una premisa básica para la innovación tecnológica y empresarial. Su desarrollo, lejos de

propiciar, como pudiera pensarse, la discrepancia o las diferencias de enfoques, se constituye en un motor impulsor para el alcance de metas superiores y novedosas, tanto en el ámbito laboral como en escenarios propicios y susceptibles al cambio.

Por otra parte, en los momentos actuales, el país está enfrascado en el desarrollo de políticas concretas para la implementación de la ciencia y la innovación en todas las esferas de la sociedad. Así ha sido motivo de análisis permanente por las autoridades institucionales y gubenamentales. A decir de Díaz-Canel Bermúdez refiriéndose a la innovación: La innovación, sin embargo, se apoya también en la construcción de capacidades para absorber tecnologías, adaptarlas, aprender a usarlas con eficiencia y eficacia. En todo ello, el aprendizaje, tanto como la investigación, es clave. La innovación incluye formas mejoradas de producir bienes y servicios. Pueden ser novedosos en una empresa, en un territorio, aunque no lo sean para otros países y contextos [1].

Numerosos autores coinciden en que la capacidad de innovación puede desarrollarse desde el proceso de enseñanza aprendizaje y que el pensamiento crítico se constituye en uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de la creatividad, capacidad para la solución de problemas y la argumentación de dichas soluciones, además de que ellas se correspondan con las necesidades sociales. Al respecto se pronuncian Camargo Uribe y García Rozo cuando expresan que, a su vez, como en un ciclo, aquellas son condiciones necesarias para el surgimiento del pensamiento crítico, pero la esencia de tal práctica reside también en la ejecución de programas de investigación que apunten a clarificar y resolver problemas concretos, pertinentes e históricamente situados de la sociedad. En otras palabras, programas comprometidos de forma práctica con la diversidad cultural, la innovación y el cambio económico y social [2].

La formación posgraduada de directivos desde las diferentes figuras: diplomados, maestrías y doctorados, adecuadamente concebidas para los propósitos antes citados, pueden resultar una contribución al desarrollo del pensamiento crítico en estos sujetos, que enfrentan a diario diversidad de problemas en condiciones muchas veces desfavorables y cuya repercusión afecta directamente a la sociedad.

La Maestría en Dirección, coordinada e impartida por el Centro de Estudios de Técnicas de Dirección, CETDIR, de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, tiene como propósito la formación de directivos, tanto de empresas estatales como no estatales, para la solución de problemas reales en cada una de las organizaciones. Para cada una de las asignaturas que componen el plan de estudios está prevista la implementación de métodos de enseñanza de carácter activo, tales como el estudio de casos o el trabajo en equipos, a través de los cuales el maestrando-directivo propone soluciones que tributan al problema de investigación real identificado por él en su entidad. Estos y otros métodos han demostrado su eficacia en el desarrollo de competencias directivas entre las que se encuentra el pensamiento crítico.

La asignatura Comportamiento Organizacional posee en sus contenidos temas muy vinculados a las habilidades directivas, tales como: liderazgo, comunicación, negociación y solución de conflictos, trabajo en equipos, cultura organizacional y cambio organizacional.

Tradicionalmente se empleaban en esta asignatura métodos y formas de evaluación de carácter tradicionalista, pasando por exámenes tipo *test* de Verdadero o Falso, preguntas de respuesta única y ya, ultimamente, trabajos escritos de carácter referativo. En ninguno de los casos anteriores se propiciaba que el maestrando fuera capaz de identificar una problemática en su organización vinculada a los temas de la asignatura y, mucho menos, que realizara una propuesta de posibles medidas a tomar para su solución.

Desde hace dos ediciones se han implementado otras formas de evaluación que se consideran más acorde a los objetivos de la maestría y cuyos resultados de aplicación pueden vincularse a la investigación para la elaboración de la tesis de maestría y que, en paralelo, pueden, a corto plazo, aplicarse en las organizaciones y contribuir al desarrollo del pensamiento crítico. Por ello, el objetivo fundamental de este trabajo es: presentar la experiencia de la asignatura Comportamiento Organizacional de la Maestría en Dirección en la contribución al desarrollo del pensamiento crítico en directivos, mediante la utilización del estudio de caso y el trabajo en equipos como formas de evaluación del aprendizaje.

**DESARROLLO**

El pensamiento crítico es una habilidad fundamental para los directivos, ya que les posibilita el análisis de manera objetiva, la reflexión de forma profunda para, al final, tomar decisiones responsables y bien fundamentadas.

Pensar críticamente supone la capacidad de detenerse en la configuración de un problema para ir más allá de sus síntomas, problematizar las posibles soluciones desde un contexto amplio, vislumbrar y ponderar alternativas, superar miradas egocéntricas y locales descontextualizadas, tener en mente horizontes propositivos y comprometidos con el actuar, reconocer límites disciplinares y propios, estar abiertos a la interdisciplina, atreverse a pensar desde los bordes, a cuestionar lo establecido, a hurgar detrás de lo aparente, entre otras cuestiones [3].

Pérez López et al. consideran, a la luz de la Teoría de la Actividad, que las capacidades de: actualizar, adaptar, crear y utilizar son derivadas e integrantes de las habilidades de pensamiento crítico y del pensamiento creativo [4]. De acuerdo con Paul y Elder, un pensador crítico instruido es capaz de formular preguntas y resolver problemas de manera clara y precisa; recoge y evalúa la información con eficacia; propone soluciones bien razonadas; posee una mentalidad abierta y la habilidad de comunicarse con otros de manera eficaz. Estos mismos autores consideran, además, que: se establecen conexiones entre pensamiento crítico y creatividad al considerar que ambos conceptos están intrínsecamente unidos y se desarrollan en paralelo. Por tal motivo entienden que deben integrarse en la instrucción docente [5].

Algunos autores identifican acciones concretas que devienen en un pensamiento crítico como lo son: la interpretación, análisis, evaluación e inferencia, así como la explicación de las evidencias, conceptos, métodos, criterios y consideraciones contextuales sobre las que se basa un determinado juicio [4].

Acerca de la estructura que debiera tener el pensamiento crítico, en términos generales, es posible destacar como invariantes las siguientes:

a) propósitos y metas. Al pensar se tiene una finalidad, por lo que es necesario identificar cuál es ese propósito, el mismo que debe ser claro y real para conseguirlo;
b) cuestionamientos y preguntas. Para resolver problemas es indispensable hacer las preguntas precisas y luego buscar las respuestas correctas, sin dejar de lado el respeto a los diferentes puntos de vista;
c) información y datos. Todo pensador crítico debe contar con datos reales, que sean de uno mismo y de aquellos que contradigan;
d) interpretación. Una vez que se tengan los datos y preguntas, se debe recurrir a la interpretación de las respuestas. Estas deben estar relacionadas con lo que se investiga;
e) suposiciones. Son juicios que se consideran verdaderos. Frente a esto, es necesario distinguir entre aquellos juicios que fueron evaluados de los que no lo fueron;
f) conceptos. Son ideas que se basan en el pensamiento, y necesariamente, deben ser explicados con ejemplos;
g) implicaciones. Son los efectos del pensar crítico; pueden ser positivos o negativos e influyen en la toma de decisiones;
h) puntos de vista. Es la opinión que se tiene sobre algún tema. Es importante dejar de lado la subjetividad y el prejuicio [6].

Como, en el caso del presente trabajo, el alumnado está compuesto por directivos, se considera que debe formar parte de la citada estructura y como cierre, la comunicación. Es decir, el necesario intercambio que debe existir entre directivos y subordinados, con el propósito de colegiar la solución propuesta y enriquecerla a los efectos de evitar la autocracia en las decisiones y que estas sean del conocimiento de todos y que todos puedan participar en su aplicación en la práctica empresarial.

Para ello, es recomendable la práctica de la comunicación ascendente en combinación con la horizontal [7], ya que, de esa forma, el directivo se nutre de los criterios del personal de la base, mientras que ellos, a su vez, intercambian entre sí los criterios que deberán "subir" a las instancias superiores.

El pensamiento crítico posee una marcada connotación de carácter social en el sistema económico cubano. Si se están elaborando y aplicando políticas concretas en todos los ámbitos, vinculados a la actividad de innovación, una premisa importante es el desarrollo de dicha capacidad en aquellos sujetos que tienen el encargo social de llevar a cabo las políticas, o sea los directivos.

El vínculo entre el pensamiento crítico y los aspectos social y político, signado por la denominada Pedagogía Radical, entre cuyos defensores se encuentra el fallecido Paulo Freire, es particularmente importante por dos razones, según Mejía. La primera es que amplía el universo de análisis para la evaluación de argumentos, ideas, o prácticas sociales, en la que se revisen solo las relaciones más visibles entre razones y conclusiones en un argumento. La segunda razón es que de las varias perspectivas desde las cuales es posible evaluar un argumento, la Pedagogía Radical elige la social y política, que son particularmente relevantes tanto individual como socialmente. Esto posiciona a la educación para el pensamiento crítico como algo que tiene un sentido o propósito social, y que no se hace "porque sí". Ahora, para los proponentes de la Pedagogía Radical estas conexiones con lo social y lo político aparecen en todos los temas académicos, y por tanto no son sólo dominio de las ciencias sociales o de las humanidades [8].

Igualmente, se sostiene que las competencias argumentativas, la creatividad y la pluralidad son condiciones necesarias para el surgimiento del pensamiento crítico, pero la esencia de tal práctica reside también en la ejecución de programas de investigación que apunten a clarificar y resolver problemas concretos, pertinentes e históricamente situados de la sociedad. En otras palabras, programas comprometidos de forma práctica con la diversidad cultural, la innovación y el cambio económico y social [2].

Con relación a los atributos que debe poseer el pensamiento crítico, Fiscal Ireta se pronuncia porque el mismo exija claridad, precisión, equidad y evidencias, porque intenta evitar las impresiones particulares. Y precisa, además, que el pensamiento crítico debe estar listo para analizar, poner en orden, explicar, esquematizar, justificar y comprobar para su aplicación [9]. Por ello, el pensamiento crítico implica una dimensión reflexiva. La idea de aprendizaje reflexivo es un concepto estrechamente relacionado con el de pensamiento crítico. El aprendizaje reflexivo consiste en el proceso de examinar internamente y explorar un tema de preocupación, provocado por una experiencia, que crea y aclara el significado en términos de autoaprendizaje, y que se traduce en una perspectiva conceptual cambiada [10].

Ahora bien, existen tendencias a pensar que el pensamiento crítico es susceptible de ser desarrollado a través de la capacitación, es decir, mediante la previsión de contenidos específicos en los planes de estudio, en el caso de que trata el presente trabajo, de las figuras del posgrado relacionadas con el tema. Otros consideran que en el propio proceso de enseñanza aprendizaje, a través de la aplicación de técnicas y métodos apropiados, es posible enfrentar al estudiante a situaciones problemáticas en las que para su solución haya que utilizar el pensamiento crítico con su consecuente desarrollo. Mejía se pronuncia por una solución mixta cuando apunta que: ello garantiza de una mejor manera una promoción efectiva del pensamiento autónomo crítico y comenta acerca de la necesidad de una estrecha coordinación entre los cursos específicos y el resto de los cursos o asignaturas del plan de estudio, para el logro de dicho propósito. Sin embargo, se requiere por un lado una coordinación fuerte entre los cursos técnicos específicos sobre pensamiento crítico y los cursos de la especialidad; y por el otro lado un trabajo con los profesores para que abran espacios en sus cursos donde el pensamiento crítico pueda ser desarrollado y practicado [8].

En resumen, se considera que para contribuir al desarrollo del pensamiento crítico en directivos se requiere de:

1. Desde lo curricular: explicitar en el plan de estudio como objetivo a alcanzar en el modelo del profesional el desarrollo del pensamiento crítico como uno de los fundamentos para contribuir a la actividad de innovación empresarial.
2. De igual forma, declarar el desarrollo del pensamiento crítico en directivos como objetivo a alcanzar en las asignaturas del plan de estudio.
3. Incluir en los planes de estudio asignaturas en las que se propicie el estudio del pensamiento crítico como contenido.
4. Utilizar durante el proceso de enseñanza aprendizaje, métodos y técnicas que contribuyan al desarrollo del pensamiento crítico.
5. Las formas de evaluación deberán ser diseñadas para evaluar en los directivos el desarrollo del pensamiento crítico.

El estudio de caso como método posee una amplia aplicación en las disciplinas relacionadas con la dirección empresarial. Con relación a las posibilidades que posee este método de enseñanza para la formación del pensamiento crítico se pronuncian autores como Argandoña Gómez et al., ya que el mismo potencia habilidades como: evaluar, intuir, debatir, sustentar, opinar, decidir y discutir, entre otras [11]. Estas mismas autoras enfatizan en que el método del estudio de casos: fomenta la autonomía cognoscitiva, se enseña y se aprende a partir de problemas o situaciones que tienen significado para los estudiantes, donde se trata de aplicar conocimientos y de resolver problemas o de encontrar la solución acertada de un caso problemático, donde la información estructurada parte de unos conocimientos previos y se busca una solución.

A continuación, se describe la experiencia en la evaluación final de la asignatura Comportamiento Organizacional de la Maestría en Dirección. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

1. Conformación de los equipos. El criterio seguido para ello consistió en agrupar a los directivos de una misma organización o de organizaciones afines o subordinadas, de no más de cinco miembros.
2. Se definieron los temas a abordar y, por sorteo, a cada equipo le correspondió uno de ellos.
3. Se orientó la tarea docente: Elaborar un caso de estudio vinculado al contenido indicado donde se contemple:

    - identificación de un problema concreto vinculado al tema en cuestión;
    - análisis de las posibles causas de la ocurrencia del problema;
    - análisis del impacto de la ocurrencia del problema en el ámbito laboral que dirige;
    - a la luz de los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura Comportamiento Organizacional, identificar posibles soluciones factibles y pertinentes al problema(s) detectado(s);
    - con toda la información elaborar un caso de estudio en el que se manifiesten los aspectos antes relacionados.

4. Se dieron a conocer los indicadores de evaluación.
5. Mediante los recursos definidos por el equipo, presentar el caso en plenario y responder las interrogantes de sus compañeros de clase y del profesor.

Los indicadores que se tuvieron en cuenta en la evaluación se presentan a continuación:

- calidad del problema seleccionado: el problema, en primer lugar, debe ser real, trascendente y vinculado con el tema que se está analizando;
- fundamentación de las causas que generan el problema: deben ser causas de peso, bien identificadas y sustentadas. Argumentación teórica;
- relevancia de los efectos negativos de la ocurrencia del problema en el ámbito laboral;
- fundamentación de la solución(es) propuestas a la luz de los conocimientos adquiridos en la asignatura;
- participación equilibrada de todos los miembros del equipo;

- respuestas o valoraciones de las interrogantes o dudas del profesor y pares.

Para ello, se utilizó la rúbrica presentada en el anexo 1. La modalidad de coevaluación, en este caso la evaluación entre equipos, se llevó a cabo exitosamente. Los equipos se evaluaban entre sí bajo la orientación y guía del profesor.

A los equipos se les brindó flexibilidad en cuanto a la forma de exponer sus resultados. Se utilizó en, prácticamente, todos los casos la modalidad de dramatización y juego de roles. Mediante un guion, cada miembro del equipo desempeñaba un papel en la historia contada. En la puesta se representaba una situación real acerca de una problemática relacionada con el tema analizado en la que debía cumplirse con todos los indicadores. Al finalizar la dramatización, esta cerró con la propuesta de solución al problema detectado. En un caso se escenificó una reunión del consejo de dirección de una empresa; otro equipo presentó una clase en la que el profesor se auxiliaba de sus alumnos para identificar y solucionar el problema. Fue sorprendente el hecho de que un equipo presentara un dibujo animado, lo cual denotó un alto nivel de creatividad. Otro de los equipos presentó un video donde se mostraba una situación real filmada *in situ* y luego se analizaba por los integrantes.

Una vez presentados todos los casos, se realizó la evaluación entre equipos a través de rúbrica antes mencionada. Cabe señalar que, en el momento de realizar el dictamen, los equipos evaluadores realizaron señalamientos pertinentes, entre los que se encontraron:

- debió profundizarse más en las causas que originaron el problema;
- la solución propuesta tiene validez a corto plazo, pero no a largo plazo;
- el papel del directivo se ve disminuido ante la actuación de los subordinados. Debió presentarse el directivo con mayor liderazgo ante sus subordinados;
- no queda claro el impacto del problema en el colectivo de trabajadores;
- no se evidencia en el caso la influencia de la resistencia al cambio. No todos tienen por qué estar de acuerdo con la solución planteada.

Los resultados de la rúbrica por el criterio de medida se presentan en el gráfico 1.

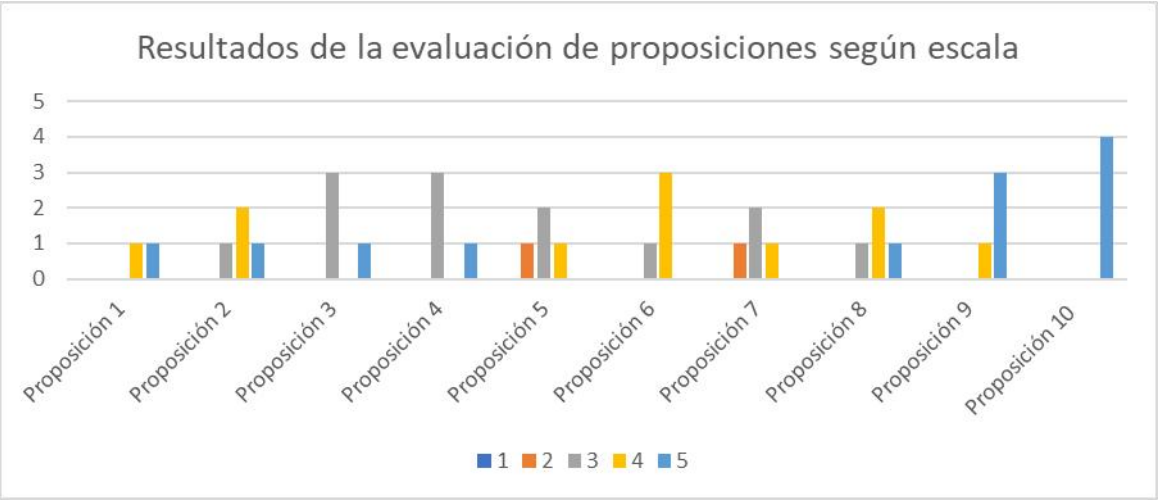



Gráfico 1. Resultados de la aplicación de la rúbrica.

Como puede apreciarse, los resultados de la coevaluación indican que, a pesar de haberse logrado los objetivos propuestos, existen algunas limitaciones en cuanto a los fundamentos teóricos, tanto en la detección e impacto de los problemas como en la argumentación de las soluciones. Las evaluaciones de los equipos estuvieron entre Excelente y Bien.

Finalmente, se aplicó una encuesta, (ver anexo 2), en la que se precisa el nivel de satisfacción según los indicadores fijados y criterios cualitativos de medida. Sus resultados se muestran en el gráfico 2.

En la pregunta abierta, como opiniones recurrentes se encuentran las siguientes:

- este método de evaluación debiera aplicarse en todas las asignaturas de la maestría (75 %);
- lo más difícil fue evaluar a mis compañeros (50%);
- es difícil, pero se logró colegiar las opiniones de los miembros del equipo (45 %);
- me ayudó a analizar y visualizar mejor los problemas de la organización (40 %);
- pude detectar errores que he cometido como directivo (10 %).

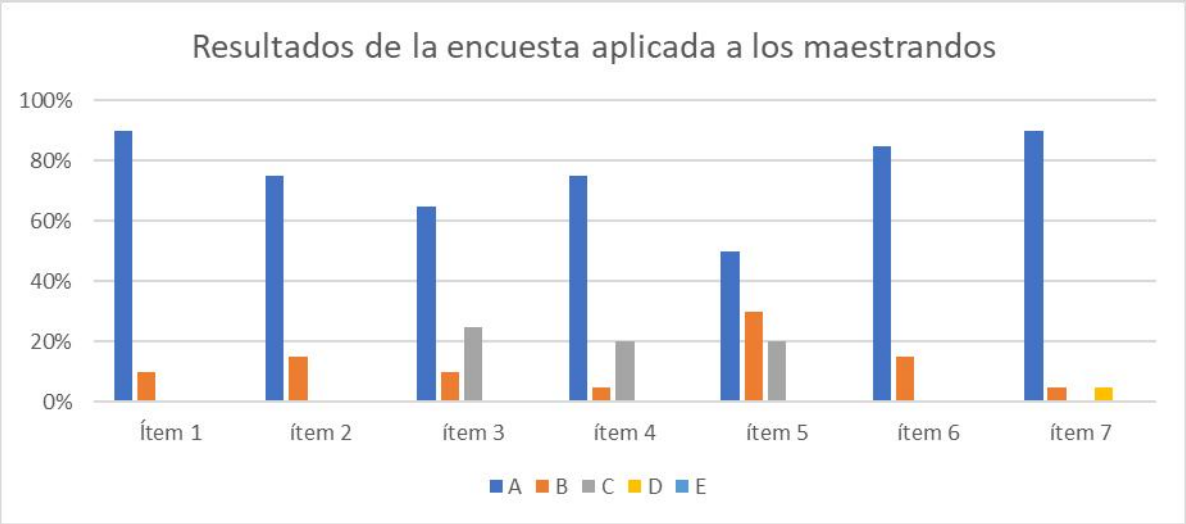



Gráfico 2. Resultados de la encuesta.

En resumen y retomando los atributos que definen al pensamiento crítico, en la forma de evaluación que se adoptó en la asignatura Comportamiento Organizacional, se evidencia la manifestación de los siguientes:

- desarrollo de la habilidad para detectar y fundamentar críticamente un problema real en su organización, a la vez que se identifican las posibles causas e impacto de su ocurrencia;
- desarrollo de habilidades para la búsqueda colegiada de la solución o soluciones al problema.
- creatividad en la elaboración y presentación del caso de estudio, a través de diferentes modalidades;
- ejercicio de la crítica fundamentada y argumentada como resultado de la interacción entre los miembros del equipo y a la hora de evaluar el desempeño de sus compañeros;
- lograr, finalmente una participación equilibrada de todos los miembros del equipo;
- al asumir un rol diferente en el desarrollo del caso, tanto como directivo, subordinado, cliente o simple trabajador, se posibilitó una postura autocrítica ante su desempeño real en su organización ante situaciones similares.

## CONCLUSIONES

Luego del análisis de las diferentes conceptualizaciones brindadas por autores acerca del pensamiento crítico y de las modalidades posibles para su formación y desarrollo, se considera que ello es factible de realizar, según el criterio de Mejía, de una forma mixta considerando el aspecto curricular desde los contenidos de los planes de estudio y a través del proceso de enseñanza aprendizaje. El presente trabajo

muestra cómo es posible diseñar actividades, en el caso que nos ocupa de evaluación, que propicien o contribuyan a desarrollar el pensamiento crítico en directivos de organizaciones, desde la segunda variante.

La asignatura Comportamiento Organizacional sirvió de escenario para esta experiencia y sus resultados contribuyen, en primer lugar, a eliminar la concepción tradicionalista de evaluación del aprendizaje que poseía anteriormente, para devenir en una contribución al desarrollo del pensamiento crítico, así como de otras habilidades, como, por ejemplo, las comunicativas, tan importante en el desempeño de estas personas.

La arista social se evidencia en que los problemas identificados y analizados, así como las soluciones propuestas, pueden ser llevadas a vías de hecho en la realidad, con el consecuente impacto en la sociedad, que es uno de los requerimientos que identifica la Pedagogía Radical como materialización del desarrollo del pensamiento crítico.

Esta experiencia puede ser generalizada a otras asignaturas de la Maestría en Dirección, adecuadas a los objetivos que persigue cada una de ellas, teniendo en cuenta que se trata del mismo auditorio, lo cual puede propiciar un nivel superior de desarrollo de las habilidades deseadas.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Díaz-Canel Bermúdez M.(2021) Sistema de Gestión del Gobierno basado en Ciencia e Innovacion. Tesis doctoral.Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu.

2. Camargo Uribe J., García Rozo A.. (2009). Pensamiento crítico y aprendizaje activo en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*(7), 98-106.

3. Giuliano H.G., Abate S. (2023). Pensamiento crítico como horizonte formativo en el currículum de ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería 18 (35), pp. 1-6. Agosto 2022- Febrero 2023., 18*(35), 1-6.

4. Paul, R. y Elder L. (2006). *The miniature guide to critical thinking: Concepts and tools.* Dillon Beach, California: Fundación del Pensamiento Crítico.

5. Pérez López C.I. et al. (2017). Pensamiento crítico y creativo en estudiantes de la educación superior: un análisis desde la Teoría de la Actividad. *Congreso Nacional de Investigación Educativa.* San Luis Potosí.

6. Rojas Anaya, Y. et al. ( 2019). Desarrollo de los elementos del pensamiento crítico y su incidencia en la formación universitaria. *Revista Yachay, 8* (1), 530-534. doi:https://doi.org/10.36881/yachay.v8i1

7. Trelles Rodríguez I. (2011). *Comunicación Organizacional.* La Habana: Félix Varela.

8. Mejía A., Zarama R. (2014). La promoción del pensamiento crítico en ingeniería. *Revista Ingenería* (20).

9. Fiscal Ireta C. (2012). Lógica, pensamiento crítico, argumentación y ética en la formación de ingenieros. *Revista Innovación Educativa, 12*(60), 137-146. Recuperado en junio de 2024

10. Jácome Ortega, M., Lapo Maza M., (2015). Integrando el Pensamento Crítico a la Dirección de Empresas. *Revista Empresarial, ICE-FEE-UCSG, 9*(4), 31-35.

11. Argandoña Gómez, F. (2018). Estudio de Casos: Una metodología de enseñanza en la educación superior para la adquisición de competencias integradoras y emprendedoras. *Tec Empresarial, 12*(8). Recuperado en junio de 2024, de http://dx.doi.org/10.18845/te.v12i3.3934 n

**Anexo 1. Rúbrica**

RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN FINAL DE LA ASIGNATURA COMPORTAMIENTO ORGANIZACIONAL

Nombre del equipo:
Integrantes:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Tema analizado:
En una escala ascendente del 1 al 5, evaluar las siguientes afirmaciones:

| Nº. | Proposición | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | El problema seleccionado es real y trascendente | | | | | |
| 2 | Se identifican claramente las causas de la ocurrencia del problema | | | | | |
| 3 | Las causas se justifican de acuerdo a la teoría estudiada | | | | | |
| 4 | Se identifican claramente los efectos de la ocurrencia del problema | | | | | |
| 5 | Se justifican los efectos o impactos del problema desde el punto de vista teórico | | | | | |
| 6 | Las soluciones propuestas son viables y pertinentes | | | | | |
| 7 | Las soluciones propuestas están bien fundamentadas desde lo teórico | | | | | |
| 8 | La participación de los miembros ha sido equilibrada | | | | | |
| 9 | Las respuestas a las interrogantes del profesor y del resto del grupo han sido adecuadas | | | | | |
| 10 | Los medios o formas utilizadas para la comunicación del caso han sido adecuadas y han cumplido su propósito | | | | | |

**Anexo 2. Encuesta.**

Estimado maestrando (a):

La presente encuesta tiene el propósito de conocer su opinión acerca de las formas de evaluación del curso que se ha llevado a cabo en la asignatura Comportamiento Organizacional.

A los efectos de mejorar nuestro trabajo en futuras ediciones de la Maestría en Dirección, le pedimos que sus respuestas sean lo más objetivas posible.

Muchas gracias por su colaboración.

Comité Académico

Marque con una X la respuesta que Ud. Entienda que mejor refleja situación planteada en la proposición.

| No. | Proposición | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Esta forma de evaluación me permitió identificar objetivamente un problema existente en mi organización. | | | | | |
| 2 | Igualmente me permitió profundizar en las causas que provocan los problemas. | | | | | |
| 3 | El trabajo en equipo posibilitó la búsqueda colegiada de las soluciones al problema. | | | | | |
| 4 | Aprendí al analizar el trabajo de mis compañeros. | | | | | |
| 5 | Tuve la posibilidad de analizar los problemas desde la óptica de los subordinados. | | | | | |
| 6 | De igual forma tuve la posibilidad de profundizar en el impacto de los problemas en la organización. | | | | | |
| 7 | Me posibilitó autoevaluar mi desempeño como directivo. | | | | | |

Leyenda:

A.- Totalmente de acuerdo
B.- Muy de acuerdo
C.- De acuerdo
D.- No muy de acuerdo
E.- En desacuerdo

Si Ud. Tiene algo más que expresar puede hacerlo en el siguiente espacio

_____
_____

De nuevo, muchas gracias por su cooperación.

**Sobre la autora**

Es ingeniera mecánica y profesora titular consultante de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Doctora en Ciencias Pedagógicas. Docente con más de 50 años de experiencia. Ha sido profesora de pregrado en asignaturas de formación en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial. Ha impartido numerosos posgrados y es miembro del claustro de cinco maestrías y del comité académico de la Maestría en Dirección. Ha tutorado varias tesis de maestría y doctorado y participado en tribunales de evaluación. Tiene varias publicaciones nacionales e internacionales y ha participado en eventos nacionales e internacionales. Ha impartido cursos y asesoría en varios países de América Latina. Posee condecoraciones otorgadas por el Consejo de Estado de Cuba. Es la presidenta de la Comisión de Grado Científico de la universidad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

VI CONGRESO DE EDUCACIÓN Y EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

# HÁBITAT Y ORDENAMIENTO URBANO: DESAFÍOS PARA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA EN CUBA HOY

**Irina Duverger Johnston**[1]

[1]Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE
[1]e-mail: irinadu@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos y la degradación de los suelos están identificados en Cuba como problemas ambientales. El Plan de Estado para la implementación de la Nueva Agenda Urbana Cubana, contempla la dimensión urbana de la Agenda 2030, tiene como propósito fundamental potenciar los esfuerzos para el logro de asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Llevar a cabo este plan requiere la adopción de un modelo de educación basado en el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad que fomente la cultura científica a través de la educación científica, de la adquisición de valores y el incentivo a la participación ciudadana necesaria de todos los actores sociales; así como, afrontar los desafíos que obstaculizan este proceso. El objetivo de este trabajo es analizar los desafíos de la educación científica en Cuba en relación con el hábitat, el medio ambiente y el ordenamiento urbano. Para el desarrollo del trabajo se realizó una extensa la revisión bibliográfica y búsqueda de videos en la Plataforma YouTube, unidas a la observación participante como especialista en ordenamiento territorial y urbanismo. Se presentan algunos resultados obtenidos bajo este enfoque, en distintos niveles educacionales y con diversos públicos.

**PALABRAS CLAVES:** educación científica, desarrollo sostenible, hábitat, ordenamiento urbano, ordenamiento territorial.

# HABITAT AND URBAN PLANNING: CHALLENGERS TO SCIENTIFIC EDUCATION IN CUBA TODAY

## ABSTRACT

Deteriorating sanitary conditions in human settlements and soil degradation are identified in Cuba as environmental issues. The State Plan for the implementation of the New Urban Agenda in Cuba, contemplates the urban dimension of the 2030 Agenda, has as its fundamental purpose to enhance efforts to achieve inclusive, safe, resilient and sustainable human settlements. Carrying out this plan requires the adoption of an education model based on the Science, Technology and Society approach that promotes scientific culture through scientific education, the acquisition of values and the incentive for the necessary citizen participation of all social actors; as well as, face the challenges that hinder this process. The goal of this work is to analyze the challenges of scientific education in Cuba in relation to the habitat, the environment and urban planning. To develop the work, an extensive bibliographic review was made it, together with videos´ searching in YouTube Platform and participant observation, as a territorial and urban planning expertise. Some results obtained under this approach are presented, at different educational levels and with various audiences.

**KEY WORDS:** scientific education, sustainable development, habitat, urban planning, regional planning.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos diez mil años los seres humanos se han convertido en una fuerza motriz para la vida [1]. El desarrollo de la agricultura, iniciado en ese momento cambio lentamente la faz de la tierra, pero no fue

sino muchos siglos después con la Revolución Industrial que se inició el proceso de deterioro acelerado del medio ambiente [2] [3]

El notable aumento de la población mundial ocurrido desde la segunda mitad del siglo XX, cuando en setenta años pasó de 2 500 millones, en 1950; a 6 200 millones, en el 2000; y, a 7 700 millones, en el 2020 (1) [4] ha incrementado los efectos positivos y negativos de las actividades productivas y no productivas de los seres humanos, sobre todo en la población urbana. En 1950, el 29% de la población mundial vivía en áreas urbanas; en 1990 esta cifra era del 43%, en el 2007 alcanzó la paridad entre población urbana y rural; y, en el 2020 la mitad de la humanidad, 3 500 millones de personas, vivía en las ciudades, se prevé que esta cifra aumentará a 5 000 millones para el 2030 [5].

Se estima que la mayor parte del crecimiento demográfico futuro tendrá lugar en las ciudades, en particular las de tamaño intermedio. “En el año 2050, unos 6 000 millones de personas, que representarán dos tercios de la humanidad, vivirán en ciudades y grandes urbes. En ningún otro momento de la historia el mundo ha presentado una urbanización tan rápida” (Mensaje del Secretario General de las Naciones Unidad en ocasión del Día Mundial del Hábitat, 2 de octubre de 2006) En el 2020, había 1934 metrópolis con más de 300 000 habitantes que representaban aproximadamente el 60% de la población urbana del mundo, un tercio de la población global (ONU, 2020) Sin embargo, en América Latina y el Caribe se ha desacelerado la migración urbana-rural y ha aumentado la migración entre ciudades. La cantidad de personas que viven en las grandes ciudades se ha estancado y las ciudades de tamaño medio han surgido como polos de crecimiento [6].

Es de esperar que tanto el incremento de la población como su redistribución afecten los ecosistemas naturales y la interacción entre los seres humanos y el ambiente que los rodea. En América Latina y el Caribe el modelo de urbanización continúa produciendo espacios urbanos económicamente débiles, muy desiguales y con un marcado deterioro ambiental [6]. Mitigar los efectos negativos del proceso de urbanización requiere de una administración nacional, sostenible y eficiente de los recursos, incluido el suelo, que también es un recurso finito. El problema central de la gobernanza ambiental y de la sostenibilidad estriba en saber cómo las sociedades consiguen, o no consiguen, resolver el problema del desequilibrio entre los bienes privados y los “males públicos” [7].

La UNESCO, en el 2014, sobre la futura puesta en marcha de los Objetivos de Desarrollo Sostenible refería (…) la educación no es un fin en sí misma, sino también un medio para la consecución de una amplia agenda mundial para el desarrollo (…) el logro del desarrollo sostenible para todos los países sólo es verdaderamente posible por medio de esfuerzos intersectoriales amplios que comiencen por la educación [7]. La educación incide en el desarrollo urbano a través de diversos factores, su expansión por las zonas urbanas ha constituido un factor de atracción de la inmigración, a su vez, la concentración de poblaciones con instrucción estimula el desarrollo económico y la innovación: el capital humano contribuye a la generación y la difusión del conocimiento.

La Organización de Naciones Unidas para los Asentamiento Humanos (ONU-Hábitat) en el Programa Estratégico para el periodo 2020-2023 definió como motores fundamentales para la implementación de la Nueva Agenda Urbana (NAU) a: políticas y legislación, planificación y diseño urbano, gobernanza y mecanismos de financiación. Para lograr su objetivo identifica a los facilitadores del desempeño institucional: vigilancia y conocimiento; promoción; comunicación y divulgaciones; asociaciones; creación de capacidades; y, sistemas y procesos. Exhorta a todos los agentes del desarrollo e interesados, incluidos los gobiernos locales y regionales, la sociedad civil, el sector privado y al mundo académico, en todos niveles, a trabajar de conjunto para ayudar en la aplicación de este plan estratégico [4].

En la Estrategia Ambiental Nacional de Cuba [8] se identifican como parte de los problemas ambientales a la degradación de los suelos (1997, 2007, 2010, 2015 y 2020) y al deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos (1997, 2015 y 2020) entre otros que afectan la calidad de vida de la población. La degradación de los suelos tiene entre sus factores la acción antrópica, con el impacto producido por y en áreas densamente pobladas, las alteraciones a la salud y la calidad de vida de la población, así como, el efecto de los cambios globales, en particular el cambio climático. Cuba tiene un alto grado de urbanización, según último Censo de población y viviendas el 76.8 % de su población es

urbana; al cierre de 2020 el 21,3 % tiene 60 años o más y la población del país decreció en números absolutos [9].

El extinto Instituto de Planificación Física (hoy Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo, INOTU) elaboró y gestiona el Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT) instrumento de planificación de la economía nacional, complemento espacial determinante del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030 (PNDES) [10], que implementa las acciones estratégicas del Plan de Estado para el enfrentamiento al Cambio Climático "Tarea Vida", de la NAU y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [11]. La implementación de la NAU contribuye al cumplimiento del ODS 11 de la Agenda 2030, hacer ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [9].

La Ley 145/2022 [12], en su Artículo 2 dispone: "El ordenamiento urbano procura asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, en correspondencia con los procesos asociados a la urbanización y a su estructuración interna.". El ordenamiento urbano estudia el hábitat humano como uso predominante en los asentamientos humanos, para lo cual se vale del análisis de diversas variables, entre ellas, la población, su distribución espacial y el uso de suelo. En el Artículo 3.1 dispone "El suelo, en el ordenamiento territorial y urbano y su gestión, como recurso finito, se ordena y delimita para servir de soporte a la actividad agropecuaria, forestal y minera, a las edificaciones, las infraestructuras técnicas, el equipamiento y los espacios públicos o se protege de la urbanización y de actividades no afines, según su vocación". En el apartado 2, plantea, 2. "La gestión del suelo, como conjunto de procesos e instrumentos jurídicos, administrativos y técnicos, está dirigida a ocupar y utilizar de manera racional y sostenible el suelo para la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad y su desarrollo".

El objetivo de este trabajo es analizar los desafíos de la educación científica en Cuba en relación con el hábitat, el medio ambiente y el ordenamiento urbano [13]. Para su realización se utilizó el enfoque dialectico materialista se aplicaron métodos de la investigación pedagógica como: el histórico-lógico, analítico-sintético, el inductivo-deductivo y métodos empíricos como el análisis documental, la observación participante y la entrevista. El empleo de estos métodos facilitó sintetizar, organizar e integrar las bases y los fundamentos curriculares más importantes de cada tema y contextualizarlos según el tipo de enseñanza y el público al cual iba dirigida la acción formativa. Se desarrolló una amplia búsqueda bibliográfica sobre los documentos normativos del Ordenamiento Territorial y el Urbanismo (OTU), de la Enseñanza Técnico Profesional (ETP) y la especialidad del técnico medio de la Planificación Física, de la Educación Superior y de cada carrera en la que se actuó, de la Escuela Ramal y la formación continua a lo largo de la vida.

## 2. HÁBITAT, MEDIO AMBIENTE Y ORDENAMIENTO URBANO EN CUBA: HACIA LA AGENDA 2030

La Asamblea General de la ONU aprobó por resolución, el 25 de septiembre de 2015, la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad a implementar por todos los países y demás actores interesados. Los ODS son 17 y 169 sus metas para 15 años (al 2030), se proponen poner fin a la pobreza y el hambre, combatir la desigualdad, promover todo tipo de igualdad, proteger el planeta y sus recursos naturales, un crecimiento económico sostenible y la prosperidad.

La NAU contribuye a la implementación de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de manera integrada y refuerza el cumplimiento de los ODS. Al menos el 50% de las metas propuestas para los 17 objetivos tienen vínculo directo o indirecto con la NAU, se destaca el ODS 11.5 "lograr que ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles". En la implementación de la NAU, los gobiernos y demás actores locales son clave por su impacto directo en las metas formuladas para los 17 objetivos y su incidencia en los asentamientos humanos. Su ejecución impone un cambio de paradigma que requiere la voluntad política de los gobiernos y perfeccionar la gestión para llevar a adecuadamente el planeamiento articulando la perspectiva urbana con el desarrollo económico y social desde una visión multisectorial que preserve el medio ambiente, incorpore el enfoque de prevención y tribute al desarrollo sostenible.

Cuba ha orientado el crecimiento de sus ciudades mediante planes de ordenamiento territorial y urbano buscando el desarrollo equilibrado de su territorio, con el fortalecimiento del Sistema de Asentamientos Humanos en sus diferentes niveles, dotándolos de los servicios correspondientes y la accesibilidad para mejorar la calidad de vida de la población, en su radio de acción. El Modelo económico y social cubano de desarrollo socialista y los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución [10] (2) crean un marco propicio para la implementación de la NAU en Cuba y avanzar en equidad económica, social, cultural y ambiental, en el acceso universal a una vivienda adecuada y una infraestructura urbana de calidad, aumentando los niveles de sostenibilidad y resiliencia de los asentamientos humanos [9].

Un marco político, jurídico, institucional y financiero favorable es necesario para la realización del ODS 11 y la dimensión urbana de la Agenda 2030 [14]. La gobernanza urbana, o gestión urbana en el contexto de Cuba, es la piedra angular para una implementación eficaz y sostenible del ODS 11 y el enlace entre todos los indicadores urbanos del conjunto de ODS. La relación entre el ODS 4 y el 11 se refleja en la gobernanza o gestión, rendición de cuentas e iniciativas conjuntas, o sea, relacionados con la dimensión humana del desarrollo que pasa por el conocimiento, la aplicación de soluciones éticamente comprometidas. Todo lo cual redundará en el éxito de los procesos de gestión del desarrollo sostenible.

El ODS 4, en su meta 7, declara "De aquí al 2030, asegurar que todos (…) adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida saludables, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura del desarrollo sostenible" Tuvilla, al respecto, plantea:

> *"(...) la gobernanza conlleva para los ODS un proceso de enseñanza aprendizaje. Y define a las personas como el tipo de canal curricular para ejercer la función pública municipal o local.* (Continúa la fuente) *los responsables políticos municipales y locales, como educadores con sus discursos y realizaciones prácticas, han de conocer los distintos currículos por los que transmiten a la ciudadanía sus enseñanzas. La política hoy requiere un enfoque integrado, basado en sólidos fundamentos éticos y morales incluso en el contexto de la ciudad educadora o de aprendizaje (...) En la ciudad educadora y de aprendizaje se ha de interpretar y proteger los cuatros pilares de la educación"* [14].

Esta es la expresión de la educación para la cultura científica, la educación científica, como variedad de educación en valores y la preparación para la participación cívica que facilita valorar y participar en el contexto de las dinámicas propias de la sociedad del conocimiento [15]. En el contexto de Cuba se realiza el diseño, rediseño o adecuaciones de los planes de estudio de la Educación Superior contextualizando el proceso de enseñanza-aprendizaje a las exigencias que a la formación demanda la sociedad basada en el conocimiento, implementados desde la gestión el conocimiento como parte del contenido y sus potencialidades educativas y en función del desarrollo sostenible [16].

Para lograr la educación científica se asume el modelo de educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad [17] cuya cultura científica resultante debe, como mínimo, permitir a los estudiantes superar los requerimientos académicos en los estudios reglados, añadir a la capacitación científico-tecnológica otros conocimientos y destrezas asociados a la información y los valores, relacionados con otras necesidades personales de los alumnos, que les sirva para la vida y tomar decisiones como ciudadanos, centrarse en aspectos esenciales de su entorno, en cuestiones y problemáticas emergentes y atender los problemas globales, entre ellas, la expansión de la urbanización y el deterioro del suelo.

**Relación sociedad y desarrollo, equidad, igualdad, inclusivo, prosperidad**

La dinámica de la urbanización y crecimiento de la ciudad latinoamericana obedece a diversos factores geográficos, económicos y sociales, a lo que no escapan las ciudades y asentamientos humanos cubanos. El comercio es uno de los aspectos que ha permitido ampliar la disponibilidad de recursos debido a que facilita la importación y la disponibilidad de bienes desde cualquier lugar del mundo, lo cual consolida a

las ciudades como grandes mercados y las hace más atractivas [18]; pero, es también fuente de atracción de inmigrantes en busca de prosperidad, con la expansión en y de las áreas urbanas y la aparición de barrios insalubres e ilegales.

Por otro lado, el comercio puede contribuir de forma importante a la consecución del ODS 1, relativo a la erradicación de la pobreza, al ODS 8 "promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos", misión de la Organización Mundial de Comercio (OMC). Sin embargo, el alto ritmo de crecimiento de las metrópolis y la gran concentración de población en las áreas urbanas ejerce una presión a los ecosistemas, con aparición y proliferación de las desigualdades sociales y territoriales. Los bosques, los humedales y otras formas de "capital natural", que representan casi el 40% de la riqueza total en los países en desarrollo y los países menos adelantados, están sometidos a la contaminación del aire, el agua y el suelo, y al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, Banco Mundial [19].

Se concluye, coincidiendo con Tuvilla [14]: sí entre todos no se logra que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles se generarán problemas. Los cuales afectan, en última instancia, a todos los ciudadanos. La desigualdad puede provocar disturbios e inseguridad, la contaminación deteriora la salud de todos y afecta a la productividad de los trabajadores y por tanto a la economía, y los desastres naturales pueden alterar el estilo de vida general.

**Relación desarrollo y urbanización, uso y consumo responsable de los recursos naturales**

En el plan estratégico de ONU-Hábitat [4] se hace una descripción del cambio y se expone la relación entre la urbanización sostenible y la noción más general del desarrollo sostenible. Se buscan efectos y resultados positivos para los que están a la zaga, en particular, las mujeres y los jóvenes, en las ciudades y otros asentamientos humanos. La estrategia de transformación, las asociaciones y una visión innovadora del desarrollo hará posible responder con eficacia a los persistentes y nuevos problemas de desarrollo, entre otros están la desigualdad socioeconómica, los barrios marginales, la exclusión social y la marginación, la discriminación por razón de género, los conflictos, la contaminación del aire y el cambio climático, que se concentran cada vez más en las áreas urbanas. Un enfoque holístico hacia un mundo en proceso de urbanización, en el que se conecten las ciudades y otros asentamientos humanos, teniendo en cuenta todos los segmentos de la sociedad puede contribuir a promover soluciones sostenibles para el beneficio de todos.

La UNESCO y las entidades educativas a nivel internacional, interesadas en la recuperación de la sociedad se pronunciaron en el Informe de la Comisión Internacional para el Desarrollo de la Educación [7] [20] [21] sobre la necesidad de una nueva visión de la educación, con la cual se pretende formar a un verdadero ser humano: un individuo integral. De esta forma se garantiza el logro de un verdadero desarrollo humano, un desarrollo sostenible.

**La democratización del conocimiento**

Los profesionales de la arquitectura y el urbanismo luchan por el desarrollo sostenible de las edificaciones y la protección y conservación de los recursos naturales, las edificaciones patrimoniales y los sitios de alta significación, pero… ¿Pueden sólo los investigadores, planificadores, proyectistas, conservadores y constructores proteger y conservar el patrimonio natural, construido y edilicio, velando por el desarrollo sostenible de las edificaciones? [22].

No se puede ver al patrimonio natural y construido sólo como interés de los profesionales afines o los aficionados al arte o la ecología. Se debe involucrar a toda la sociedad, pues realmente estos bienes naturales y culturales se convierten en su patrimonio en la medida en que se desentrañen sus respectivos significados y sean de uso o conocimiento público, como parte de la herencia cultural que se ha recibido. Es por ello que es necesario un proceso de democratización del conocimiento de los bienes naturales y culturales. La democratización del conocimiento, la ciencia y la tecnología significan el acceso de amplias capas de la población a estas áreas del conocimiento y que sus frutos se reviertan en su propio beneficio [22].

Algunas de las formas de democratización aplicadas se desarrollan a través de la enseñanza técnico-profesional, la enseñanza universitaria, la capacitación a la fuerza de trabajo calificada y la preparación a sectores de la sociedad, mediante las cuales amplias capas de la población tienen acceso a la formación científico técnica. En este trabajo se presentan experiencias llevadas a cabo bajo este enfoque en la universalización de la Educación Superior, en la carrera de Estudios Socioculturales (cursos académicos del 2008 al 2011), en el programa televisivo Universidad para Todos del Canal Educativo de la Televisión Cubana (2011), la formación de técnicos medios en la especialidad de Planificación Física, de la Enseñanza Técnico Profesional (ETP) (2018-2021), curso para subdirectores y especialistas de capacitación de la Planificación Física (2020-2021), la formación del Técnico Superior en Aduana (2022-2023) y la formación de ingenieros civiles (2022-2024).

En Universidad para Todos, el Curso de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (2011), desarrollado por directivos y especialistas del IPF, permitió la alfabetización de la población sobre la actividad de la Planificación Física en el país. Esta acción creó las bases para la concientización de múltiples actores sociales sobre la importancia de la planificación del territorio y las ciudades, así como, de su papel en el desarrollo económico, social, ambiental y cultural del país. Se abordaron temas relacionados con el surgimiento y la evolución de los asentamientos humanos, su planeamiento, la gestión urbana, la gestión de riesgos, la vulnerabilidad de los asentamientos costeros ante los efectos del cambio climático, los instrumentos para la gestión y el control, así como, las buenas prácticas desarrolladas, con el apoyo de la cooperación internacional.

Para la formación de técnicos medios en la especialidad de Planificación Física, se elaboró bajo esta concepción, el programa de la asignatura Generalidades del OTU [23] como parte del Plan de Estudio [24] [25]. En el año 2021, se propuso el perfeccionamiento del programa de la asignatura Población y Asentamientos Humanos [26]. El estudio de la población parte de la función estatal del organismo relacionada con la mejora de las condiciones de vida en los asentamientos humanos, meta social declarada en los Lineamientos de la Política Económica y Social, en el PNDES al 2030 [10], en articulación con los ODS y la Agenda 2030. Lineamientos en los que se definen como es el país que quieren los cubanos y como se debe actuar para conseguirlo. De ahí que el propósito del estudio de la población le permitirá al futuro egresado comprender mejor la sociedad en que vive, como ciudadano podrá emitir criterios sobre el desarrollo del país y como profesional en formación, obtendrá las herramientas para influir en su formación.

La propuesta de actualización del Modelo del profesional de esta especialidad busca formar un técnico capaz de gestionar el uso de suelo a través de los procesos de OTU, con el servicio a personas naturales y jurídicas, para mejorar las condiciones de vida de la población en los asentamientos humanos. El encuadre de la asignatura por los diferentes períodos fue propuesto de la siguiente manera: el estudiante al finalizar la formación técnico profesional de la especialidad, en: 1er año, deberá ser capaz de interpretar y representar la distribución de la población y su interrelación con los elementos componentes del medioambiente natural y construido, a partir del conocimiento de la función estatal del Sistema OTU; 2do año, será capaz de interpretar los procesos de transformación del territorio y las ciudades que tienen como elemento estructurador a las infraestructuras técnicas, a partir del análisis estadístico y espacial con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el manejo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) [26] [27].

La carrera de Estudios Socioculturales, de la universalización de la Educación Superior formó a una gran parte de la actual fuerza de trabajo calificada del INOTU. Duverger (2008) identificaba a los posibles egresados de la carrera como aliados para impulsar el desarrollo sostenible de las ciudades y territorios. La carrera tuvo como perfil de egresados a profesionales formados bajo el enfoque humanista, agentes de transformación social, promotores culturales, gestores del desarrollo de las comunidades. Estos en sus diferentes localidades velarían por la educación de la comunidad y preservación del patrimonio natural y cultural, expresión de la identidad cultural y factor de desarrollo social endógeno [22].

Los egresados de esta carrera utilizando las tecnologías de transformación social, las diferentes teorías para el análisis social, las técnicas de interpretación y gestión del patrimonio natural y cultural podrán

educar a los diferentes actores que intervienen en el territorio y las ciudades. Se reafirma, entonces, lo planteado por Duverger (2008) [22] la producción de una nueva tecnología social vinculada a la gestión del patrimonio natural, construido y edilicio contribuiría a favor del socorrido reclamo que en su momento hizo el Plan General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de La Habana:

> *"…el conjunto técnico y profesional capaz de generar tales trasformaciones exige por sí mismo la aplicación y adecuación de niveles más elevados de docencia, calidad empresarial inversionista, proyectista y constructiva, versatilidad creativa e innovadora, profesionalidad, oficio artístico, ética, (…) se hace imprescindible (…) organizar y establecer una profunda campaña proselitista sobre la cultura urbana (…) en el propósito fundamental de combatir, paliar y erradicar las (…) improcedentes e ilegales tendencias de las (…) indisciplinas urbanísticas existentes como parte de las sociales; caracterizadas por su frecuencia agresiva contra la imagen urbana y arquitectónica de la ciudad, tomando en consideración además el carácter reversible, y de este modo también su posible erradicación, de la mayoría de las afectaciones producidas de ese tipo y características"*

El curso para subdirectores y especialistas de capacitación de la Planificación Física [28] se diseñó y desarrolló en un contexto marcado por las exigencias de la implementación del Modelo de Desarrollo Económico y Social al 2030: todos "los trabajadores y directivos en las diferentes formas de propiedad y gestión estén preparados para el desempeño de sus funciones" [10]. En los Lineamientos de la Política se plantea "perfeccionar y garantizar un programa de capacitación de directivos, ejecutores directos, trabajadores para la implantación de políticas que se aprueben, comprobando el dominio de lo que se regule y exigir su cumplimiento…" incluidos están los propios gestores de capacitación, los cuales, para llevar a cabo su función eficientemente, requieren de conocimientos sobre el capital humano, pero también el conocimiento de la actividad de la entidad en la cual se desenvuelven.

A este curso le dieron surgimiento: la heterogeneidad y fluctuación de la fuerza de trabajo calificada (arquitectos, geógrafos, ingenieros: civiles, hidráulicos, en riego y drenaje, sociólogos, abogados, comunicadores, etc.), el envejecimiento de la altamente calificada, el acceso a los puestos de trabajo de personal sin preparación o calificación requerida, la falta de claridad de los gestores del capital humano sobre las características de la actividad del OTU, la necesidad de socializar las funciones de la escuela ramal y los centros de capacitación territoriales, derivadas de la aplicación de las normativas para el perfeccionamiento de estas instituciones educativas [29] [30], entre otros motivos. Asistieron subdirectores generales, subdirectores de OTU, jefes de recursos humanos, especialistas de capacitación, especialistas y directivos de la escuela ramal, los cuales declararon la utilidad del curso para comprender las funciones individuales y estatales.

El curso tuvo como objetivos generales que los egresados fueran capaces de: explicar la necesidad de la capacitación y superación profesional como una inversión para el desarrollo de la propia organización y la sociedad, teniendo en cuenta las exigencias de la sociedad del OTU; organizar los procesos de formación y desarrollo de la fuerza de trabajo calificada, a partir de las normativas e instrumentos jurídicos que orientan la capacitación y la superación profesional; comprender las relaciones de interdependencia entre la escuela ramal y los centros de capacitación territoriales, que permita perfeccionar el impacto de la actividad de capacitación en el desempaño del OTU; reportar las acciones ejecutadas en función de la formación y desarrollo de la fuerza de trabajo calificada a partir de la aplicación de las herramientas metodológicas, tecnológicas y de comunicación diseñadas al efecto [28].

El curso contó con ocho módulos sobre el encargo estatal del OTU, el quehacer de la escuela ramal en función de la superación profesional de los directivos y especialistas del organismo, los procesos de gestión educativa y del conocimiento, la innovación educativa y organizacional, la educación ambiental y el uso de las TIC. Concebido para la modalidad presencial, debido a la Pandemia de la Covid-19 se rediseñó para la educación a distancia [31] [32] [33]. El proceso de enseñanza-aprendizaje previsto desarrollado a través de la Plataforma Jitsy Meet, el correo electrónico y la mensajería a través de WhatsApp [34] [35] permitiría el intercambio, tanto de forma sincrónica como asincrónica, el trabajo colaborativo, el manejo del tiempo y el espacio de aprendizaje, vinculado a los niveles de conectividad

territoriales. El almacenaje y distribución de los recursos educativos y evaluaciones de aprendizaje se realizaron a través de la Nube-IPF, en Google Drive, produciendo innovaciones educativas [36].

El primer módulo, sobre la formación y desarrollo de la fuerza de trabajo calificada [37] actores claves en la gestión urbana y territorial sostenible, contó con varios momentos. En el primer momento se abordaron los factores que inciden en la formación y desarrollo del capital humano [38], tanto desde el ámbito nacional como internacional, las tendencias que marcan su evolución en el ámbito laboral en sentido general, así como, el comportamiento de la tendencia relacionada con la capacitación, superación profesional y la formación continua a lo largo de la vida. En otro momento, se trató la capacitación en el ámbito empresarial y en la administración pública, en ambos sectores con características comunes, acrecentadas cuando el mundo estuvo más afectado por la Pandemia de la Covid-19 y que promovió la aplicación de las modalidades de trabajo y estudio no presencial.

En la formación de ingenieros civiles, se implementa el Plan de Estudio "E" de la carrera Ingeniería Civil el cual promueve la formación de un profesional de perfil amplio estructurado a partir un tronco común (currículo base o general) [39]. La asignatura Introducción a la Ingeniería forma parte del currículo propio [40] del Plan de Estudio se imparte en el primer periodo del primer año académico y pertenece a la Disciplina Principal Integradora. Esta asignatura tiene como propósito la familiarización de los estudiantes con las disciplinas, asignaturas y contenidos de la carrera, así como, con los posibles perfiles profesionales a desempeñar y sus modos de actuación, las futuras entidades laborales que los acogerán, los problemas profesionales que enfrentarán, entre otros aspectos relacionados con su formación universitaria y la posterior formación continua a lo largo de la vida.

A través de la asignatura Introducción a la Ingeniería Civil se caracteriza el Plan de Estudios de la carrera y sus componentes. Las formas de organización de la asignatura son conferencias, visitas y talleres [41] (3) , en las cuales se imparten contenidos declarativos, procedimentales y actitudinales. En las conferencias el docente realiza la exposición de los temas y los estudiantes responden a preguntas intercaladas. Se requiere entonces enfocar el proceso de enseñanza aprendizaje desde la educación científica, la introducción de tendencias innovadoras en el uso de los recursos educativos y la aplicación de metodologías activas que garanticen elevar la calidad del aprendizaje. El uso de videos como recursos educativos para la innovación educativa al microcurrículo surgió como una necesidad para dinamizar el proceso de enseñanza aprendizaje, modificar los roles de sus actores, centrar la participación activa en el alumnado y convertir al docente en facilitador del proceso [42] [43].

Se utilizó el video educativo como medio didáctico e instrumento motivador, recurso de aprendizaje que dada su alta expresividad es herramienta autónoma de autoaprendizaje, posibilita a los estudiantes dominar diferentes tipos de contenidos, conectando los conocimientos previos con los nuevos, relacionados con los modos de actuación del ingeniero civil y los problemas actuales. Este enfoque fue empleado tanto en el Curso Regular Diurno (CRD) como en el Curso por Encuentro (CPE), también fue aplicado en la asignatura Metodología de la Investigación Científica de CPE (2023 y 2024). El resultado fue el fomento del conocimiento y la motivación por la carrera, reflejados en la participación de 17 estudiantes, de primer año, en la Jornada Científica Estudiantil 2022 y 2024, de la Facultad de Ingeniería Civil, con 1 resultado relevante, 2 destacados y 2 menciones; así como, en su disposición a ser miembros del Movimiento de Alumnos Ayudantes e investigar los temas relacionados con el hábitat y el medioambiente [44].

## 3. DESAFÍOS PARA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA Y RETOS URBANOS EN CUBA HOY

El ordenamiento urbano no es responsabilidad exclusiva del INOTU. Para cumplir con su misión se requieren alianzas entre los diferentes actores [12] para obtener "soluciones integradas, multisectoriales y de múltiples escalas e interesados sobre el desarrollo urbano y los asentamientos humanos (…) y [de esta forma se] conectará los objetivos y metas [del Plan Estratégico del Programa de Naciones Unidas para LOS Asentamientos Humanos, período 2020-2023] con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [4]. (1)

La introducción del enfoque humanista en las carreras técnicas, la percepción social de la ciencia y la tecnología debe ser educada en los profesionales y estudiantes de ciencias e ingenierías con el mismo énfasis con el que aprenden y enseñan otros saberes y habilidades, como planteó Núñez [44]. En este trabajo, también se considera, la necesidad del fomento de este enfoque en las carreras de humanidades a través de la labor extensionista con la participación interdisciplinaria y transdisciplinaria en tareas de alto impacto social, relacionadas con el diseño y transformación de asentamientos humanos y su interrelación con los componentes del medioambiente. Desde estas dos vertientes de actuación se podría mitigar el efecto de los factores que dificultan la implementación del ordenamiento urbano, de asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

El fomento de una cultura científica en los diversos actores sociales sobre la interacción del hombre con su hábitat, el desarrollo planificado de los asentamientos humanos y la preservación del medioambiente disminuiría la presión sobre los recursos naturales, ejercida por el crecimiento de las áreas urbanas, la aparición de elementos causantes de la contaminación en las grandes ciudades, el surgimiento de barrios y asentamientos vulnerables a diversos factores.

Al 2024, aún persisten las prioridades que fueron identificadas para el planeamiento y la gestión urbana en el 2011 y ratificadas en el 2013:

> *"efectos del cambio climático; incidencia del envejecimiento de la población; cambios económicos: creación de empleos por cuenta propia, reorganización de la agricultura, reestructuración azucarera, desarrollo del turismo, entre otros; promoción del desarrollo endógeno de municipios y ciudades; magnitud del problema habitacional —incluyendo la urbanización— y su implementación; crecimiento excesivo en área de las grandes ciudades; balance apropiado entre nueva construcción, mantenimiento y reconstrucción; necesidad de detener el deterioro urbano; integración urbana, incluyendo los nuevos centros de ciudad; rehabilitación de las redes infraestructurales: acueducto, alcantarillado, viales, electricidad, telefonía y comunicaciones; gestión integrada de los residuales sólidos; movilidad de todo tipo, incluyendo la peatonal; promoción, ejecución, uso y cuidado de los espacios públicos*" [3].

Muchos son los actores que intervienen en el ordenamiento territorial y urbano y la gestión del suelo para la ejecución de estas prioridades, estos juegan diferentes roles: de participación y comunicación con sus respectivas responsabilidades y deberes, como plantea la Ley 145/2022, en su Artículo 5, apartado 7. [12] (4) Todos estos agentes de transformación deben ser educados en el cuidado y preservación del patrimonio natural y cultural, construido y edilicio, para lograr una sociedad con un desarrollo sostenible al 2030 y más allá, como legado a las futuras generaciones.

## 4. CONCLUSIONES

Innumerables son los desafíos que enfrenta la educación científica en la formación, capacitación, superación o preparación de los diferentes actores sociales que desarrollan y transforman el hábitat humano, protegen, preservan o inciden negativamente sobre el medioambiente y de aquellos encargados de ordenar y gestionar el suelo de las ciudades y los otros asentamientos humanos, en función de las demandas de la sociedad.

El fomento de este enfoque de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la educación que fomente la formación en valores redundará en una cultura científica capaz de movilizar a los diferentes agentes sociales en el logro de asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

## RECONOCIMIENTOS

La autora desea agradecer a todos los estudiantes, profesores y especialistas, que directa o indirectamente, han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

1. BOYLE , Bárbara. *La urbanización una fuerza ambiental considerable* [en línea]. [ref. de 2004]. Disponible en Web: www.pbr.org; https://pt.scribid.com/document.
2. DUVERGER, Irina. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental" en *Curso de Ordenamiento Territorial y Urbanismo*. La Habana: Editorial Academia, 2011. 16 pp. ISBN 978-959-270-203-5 [Segunda parte].
3. DUVERGER, Irina y ÁLVAREZ, Concepción. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental". *Planificación Física-Cuba*, núm. 17, 2013, ISSN 0138-6239.
4. ONU-Hábitat. *Plan estratégico del Programa de Naciones Unidades para los Asentamientos Humanos para el período 2020-2023* [en línea]. Nairobi. [ref. de 2022]. Disponible en Web: https://onu-habitat.org/index.php/plan-estrategico-2020-2023.
5. ONU-Hábitat. *Estado Global de las Metrópolis 2020-Folleto de Datos poblacionales.* Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. [ref. de 24 de agosto 2024] Disponible en Web: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/08/gsm_-_folleto_de_datos_poblacionales_2020.pdf
6. ONU. *Plataforma Regional del Conocimiento sobre la Agenda 2030 en América Latina y el Caribe. 11. Ciudades y comunidades sostenibles.* [en línea]. [ref. de 27 de agosto de 2022]. Disponible en Web: https://agenda2030lac.org/es/ods/11-ciudades-y-comunidades-sostenibles.
7. UNESCO. *El desarrollo sostenible después de 2015 comienza por la educación* [en línea]. Paris [ref. de 27 de agosto de 2022]. Disponible en Web: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230508_spa.
8. CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025* [en línea]. La Habana. [ref. de 27 de agosto de 2024]. Disponible en Web: https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional/.
9. INOTU. *Política Urbana Nacional en Cuba* [en línea]. La Habana.[ref. de 16 de agosto 2002]. Disponible en Web: https://www.inotu.gob.cu/
10. PCC**.** *Conceptualizción del modelo económico y social del desarrollo socialista. Lineamientos de la política ec onómica y social del partido y la revolución para el períod 2021-2026.* La Habana: Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2020. Disponible en Web: https://www.pcc.cu/conceptualizacion-del-modelo-economico-y-social-cubano-de-desarrollo-socialista
11. MARICHAL, Anelis María. "*Esquema de Nacional de Ordenamiento Territorial. Retos y oportunidades*". *Revista Planificación Física-Cuba*, 2017.
12. ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR. Ley 145/2021 "Del Ordenamiento Territorial y Urbano y la Gestión del Suelo". *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. La Habana. Cuba. 2022.
13. DUVERGER, Irina. "Hábitat, medio ambiente y ordenamiento urbano: desafíos para la educación científica en Cuba hoy". Directora: Dolores Vilá Blanco. Tesina de Entrenamiento Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología (PSCT), Universidad de La Habana, La Habana, 2022.
14. TUVILLA, Fernando. " *La educación y la comunicación en el Objetivo 11 de los ODS* ". En actas de X Encuentro andaluz de experiencias en educación ambiental y sostenibilidad urbana, 19 de noviembre de 2019, Córdoba.
15. SANZ, N. y LÓPEZ, J. A. "Cultura científica para la educación del siglo XXI". *Revista Iberoamericana de Educación,* vol. 58.
16. PÁEZ, V. " *La Didáctica de la Educación Superior y la formación profesional ante el desarrollo sostenible* ". En actas de Convención Internacional Varona 2021, Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, 2021. ISBN: 978-959-7264-057.
17. VILÁ**,** Dolores. "Cultura científica y educación universitaria en Cuba: aproximaciones desde la perspectiva CTS". *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 2017, vol. 5, pp. 143-159.
18. CARREÑO, C. y ALFONSO, W.H. "Relación entre los procesos de urbanización, el comercio internacional y su incidencia en la sostenibilidad urbana". *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 2018, vol. 11, núm. 22 pp. 1-10.
19. OMC. *Incorporar el comercio para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible* [en línea]. Ginebra [ref. de 16 de agosto 2022]. Disponible en Web: https://www.wto.org.
20. UNESCO**.** "Declaración de Incheon y Marco de Acción ODS 4 – Educación 2030". París, 2016.
21. —. *Educación para el Desarrollo Sostenible: Hoja de ruta.* Paris : UNESCO, 2020. Disponible en Web: https://www.unesco.org
22. DUVERGER, I. "Estudios socioculturales, patrimonio construido y desarrollo local". En actas de III Conferencia sobre conservación del patrimonio urbano y edilicio. Convención de Arquitectura. Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, 2008, ISBN 978-959-247-005-2.

23. DUVERGER, I. *Programa de asignatura Generalidades del Odenamiento Terrirorial y Urbanismo*. Plan de Estudios del Técnico Medio de la Especialidad en Planificación Física/ Ministerio de Educación. La Habana. Cuba. 2014.
24. MINED. *Resolución No. 179/ 2014. Plan de estudio para aplicar en los centros politécnicos del país donde se desarrolla la especialidad de Planificación Física a los alumnos que ingresen a partir del curso escolar 2014-2015*. Ministerio de Educación. La Habana. Cuba. 2014.
25. —. *Resolución No. 106/ 2017. Plan de estudio para aplicar en los centros politécnicos del país donde se desarrolla la especialidad de Planificación Física a los alumnos que ingresen a partir del curso escolar 2017-2018*. Ministerio de Educación. La Habana. Cuba. 2017.
26. DUVERGER, Irina; HERNÁNDEZ, Yaima. "Población y Asentamientos Humanos. Video como Recurso Educativo Digital". Director: Febe Ciudad. Diplomado Diseño didáctico de Entornos Virtuales de Enseñanza-Aprendizaje. Universidad de Ciencias Informáticas, La Habana, 2021.
27. DUVERGER, I. "El podcast, recurso educativo digital, complemento a la asignatura Población y Asentamientos Humanos". En actas de V Coloquio Nacional de Educación Geográfica (On-line) Cátedra de Educación Geográfica "Graciela Barraqué Nicolau" Universidad de Ciencias Pedagógicas "Enrique José Varona", 2023.
28. DUVERGER, Irina, et al. *Programa Curso para subdirectores y especialistas de capacitación de la Planificación Física*. Centro de Superación de la Planificación Física (CENSPLAF). La Habana. Cuba. 2020.
29. CONSEJO DE ESTADO. *Decreto Ley 350/2017. "De la capacitación a los trabajadores"*. La Habana. Cuba. 2017.
30. CENSPLAF y RRHH**.** *Acciones de política para la formación y desarrollo de la fuerza.* Consejo de Dirección. Instituto de Planificación Física. Cienfuegos. 2019.
31. MERCADO, Ricardo. *Guía para el diseño de cursos en línea*. Universidad Veracruzana, 2007. 95 pp.
32. GONZÁLEZ, Mercedes. *Programa Teoría y práctica de la Educación a Distancia. Diseño Curricular*. Maestría en Educación a Distancia. La Habana. Cuba. 2012.
33. ZIELIŃSKI, Krzysztof et al. *Webinar Methodology ver. 1.0. Webinars2Learn-.video conference use for adult learning* [en línea]. Warsaw 2012 [ref. de 1 de agosto 2020]. Disponible en Web: https://ec.europa.eu.
34. SANZ, José Javier**.** *WhatsApp: Potencialidad educativa versus dependencia y adicción.* [en línea] s/f. [ref. el 21 de agosto de 2020] Disponible en Web: http://dimglobal.net/docs/OC30whatsapp.pdf.
35. TUÑEZ, Mirian. *El whatsapp como aplicación para el seguimiento y la evaluación de la materia Lectura Pianística.* [en línea]. La Plata: 4tas Jornadas de TIC e innovación en el aula. Dirección de Educación a distancia y Tecnología UNLP, 2017. [ref. de 1 de agosto 2020]. Disponible en Web: https://www.aacademica.org.
36. DUVERGER, Irina. "Curso para gestores de capacitación del Ordenamiento Territorial y Urbanismo". En actas de I Encuentro Iberoamericano de Innovación y Tecnología Educativa Digital [En línea]. Concepción. Chile. 10 al 13 de septiembre de 2024.
37. DUVERGER, Irina. *Módulo 1: La formación y desarrollo de la fuerza de trabajo calificada*. Curso para subdirectores y especialistas de capacitación de la Planificación Física. Centro de Superación de la Planificación Física (CENSPLAF). La Habana. Cuba. 2020.
38. VOLINI, Erica et al. *Leading the social enterprise: Reinvent with a human focus. 2019 Deloitte Global Human Capital Trends.* 2019. [ref. de 1 de agosto 2020]. Disponible en Web: https://www2.deloitte.com.
39. MES. *Plan de estudio de la carrera Ingeniería Civil "E".* Ministerio de Educación Superior. La Habana: 2018.
40. MES. *Plan de estudio de la carrera Ingeniería Civil "E" Defensa territorial*. Ministerio de Educación Superior. La Habana: 2018.
41. ESPINOSA, Alicia; ÁLVAREZ, Odalis. *Guía Metodológica de la Asignatura Introducción a la Ingeniería Civil.V1.3*. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". La Habana. Cuba. 2018.
42. DUVERGER, Irina**.** *IIC Uso de video educativos*. [En línea] [ref. de 8 de julio de 2024]. Disponible en Web: https://docs.google.com/forms/d/1BZABfbWb4nxGtvsCVFX0wGIaf3LJl5jbaLACePzhrH4.
43. DUVERGER, Irina. "Innovación educativa para fomentar modos de actuación del ingeniero civil". En actas de I Encuentro Iberoamericano de Innovación y Tecnología Educativa Digital [En línea]. Concepción. Chile. 10 al 13 de septiembre de 2024.

44. NUÑEZ, Jorge. *Universidad, conocimiento y desarrollo: nuevas encrucijadas. Una lectura desde Ciencia, Tecnología y Sociedad*. La Habana: Editorial UH, 2020. 299 pp. ISBN 978-7251-45-3.

**Sobre la autora**

M. Sc. Arq. Irina Duverger Johnston
Centro de Estudios para la Arquitectura y la construcción Tropical (CECAT) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae) Profesor Asistente, Profesor Principal para escuelas ramales. Es graduada de: Arquitectura, por el Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella" (ISPJAM), de la Universidad de Oriente; de Especialista de Posgrado en Evaluación de Impacto de la Minería y la Construcción en el medioambiente, por el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Antonio Núñez Jiménez" (ISMMM); y, de Máster en Ciencias en Gestión Ambiental, Mención Evaluación de Impacto Ambiental, por el Instituto de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InsTEC) de la Universidad de La Habana. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC), de la Sociedad Cubana de Geografía (SCG), de la Asociación Nacional de Contadores y Economistas de Cuba (ANEC) y la Asociación de Pedagogos de Cuba (APC).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INTERNACIONALIZACIÓN DEL CURRÍCULO DE LENGUAS EXTRANJERAS

**Laura María Barreiro Pérez** [1]

[1] Centro de Idiomas, Instituto de Lenguas Extranjeras, Universidad Tecnológica de La Habana
[1]e-mail: laura@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La internacionalización en Educación Superior fomenta los lazos de cooperación e integración de sus instituciones con sus homólogos en otros países y dentro del país. Permite, además, alcanzar mayor presencia y visibilidad internacional en un mundo cada vez más globalizado. En relación con el currículo de lenguas extranjeras, los profesionales necesitan dominar idiomas, fundamentalmente el idioma inglés, para llevar cabo con éxito sus intercambios profesionales, realizar convenios, establecer colaboración profesional, entre otras tareas. El Ministerio de Educación Superior ha proyectado varias políticas de perfeccionamiento en Cuba, entre ellas la que incide directamente en el proceso de formación de idioma inglés e incluye estrategias que tributan al proceso de enseñanza de otras lenguas. Debido a la relevancia del tema en el presente, la estrategia de internacionalización orientada al desarrollo de este proceso en las universidades cubanas constituye una prioridad en el plan de desarrollo económico del MES hasta el 2030. En este artículo se estudia el uso de este término en el mundo y en Cuba con el objetivo de presentar la visión de las universidades cubanas acerca de la internacionalización del currículo de lenguas extranjeras y las acciones llevadas a cabo en el centro de idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana, para implementar la estrategia propuesta por el MES teniendo en cuenta los estándares internacionales.

**PALABRAS CLAVE:** currículo, internacionalización, estándares, estrategia

# INTERNACIONALIZATION OF FOREIGN LANGUAGES CURRICULUM

**ABSTRACT**

Internationalization in Higher Education fosters cooperation and integration of its institutions with their peers in other countries and within the country. It also allows them to achieve greater international presence and visibility in an increasingly globalized world. In relation to the foreign language curriculum, professionals need to master languages, mainly the English language, to successfully carry out their professional exchanges, make professional agreements and establish professional collaboration, among other professional tasks. The Ministry of Higher Education has projected several improvement policies in Cuba, among them the one that directly affects the English language training process, which includes strategies that improve the teaching process of other languages. Due to the relevance of the topic at present, the internationalization strategy aimed at the development of this process in Cuban universities is a priority in the economic development plan of the Ministry of Higher Education until 2030. This article reviews the use of this term in the world and in Cuba in order to present the vision of Cuban universities about the internationalization of the foreign language curriculum and the actions carried out in the language center of the Technological University of Havana to implement the strategy proposed by the Ministry of Higher Education, taking into account international standards..

**KEY WORDS:** curriculum, internationalization, standards, strategy

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo globalizado requiere de estrategias que posibiliten el uso de programas colaborativos entre los niveles de pre y postgrado, así como, la vinculación entre ambos niveles con el fin de garantizar la preparación de los recursos humanos para la innovación, la ciencia, la tecnología y la investigación, y así evitar la desvinculación entre la educación superior y el entorno productivo [1].

El nuevo plan de desarrollo socioeconómico hasta el año 2030 ha planteado políticas de desarrollo de la educación superior en Cuba como el Plan de estudio E, la política del perfeccionamiento del proceso de formación en idioma inglés en todas las carreras y ha establecido, además, normativas en la educación superior relacionadas con la homologación de títulos, los créditos académicos, la doble titulación, la educación a distancia, la exportación de servicios académicos, el ranking internacional de universidades, la transición hacia un currículo basado en competencias, entre otras que requieren el tránsito gradual hacia una nueva forma de asumir la internacionalización.

El Ministerio de Educación Superior (MES) cuenta con un sistema organizacional que permite su trabajo en red, dentro del propio subsistema MES y en colaboración con todas las universidades cubanas. Este sistema único de gestión universitaria, articula la planificación estratégica, el control interno y la evaluación continua de la calidad, sobre la base de objetivos e indicadores que aportan criterios de medida para la proyección del cambio.

Dentro de la planificación estratégica del MES se incluye el proceso de internacionalización que es conducido por la Dirección de Relaciones Internacionales, con una estructura que permite dar respuesta a las exigencias actuales y futuras; así como a las necesidades socioeconómicas del país en correspondencia con el contexto internacional.

Varios especialistas en este tema [2] [3] [4] se refieren a las nuevas dimensiones de la internacionalización en la etapa actual: internacionalización de la investigación, internacionalización de la formación docente e internacionalización del currículo. De acuerdo con los criterios planteados previamente, la Educación Superior se enfrenta a un nuevo reto en relación con la dimensión internacional en los currículos. De ahí la importancia del tema que se aborda en este artículo con respecto a la internacionalización del currículo de lenguas extranjeras en las universidades cubanas.

El objetivo de este artículo es presentar la visión de las universidades cubanas acerca de la internacionalización del currículo de lenguas extranjeras, la estrategia propuesta por el MES teniendo en cuenta los estándares internacionales y las acciones llevadas a cabo en el centro de idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana para implementar esta estrategia.

## 2. DESARROLLO

### Internacionalización del currículo: visión de las universidades cubanas

El currículo es el resultado de una interacción dinámica del proceso de enseñanza y aprendizaje, de contenido y experiencias dentro y fuera del aula; de mensajes previstos e involuntarios, explícitos [5].

Esta definición posibilita realizar un análisis más amplio del término y concluir que el currículo no solo se restringe al contenido del plan de estudio. El contenido de las asignaturas, las metodologías de enseñanza, las estrategias de aprendizaje y los mecanismos de evaluación son importantes, pero también lo son las actividades de currículo ampliado.
La Internacionalización del currículo constituye una de las tendencias más significativas en la actualidad. Existen diferentes opiniones acerca de este término y su alcance. Se han aportado varias definiciones por diferentes autores, sin embargo, sigue siendo una noción en estudio. A continuación se sistematizan algunas de ellas.

La internacionalización del currículo es un proceso sistémico ligado a la búsqueda de una mayor proyección, calidad, pertinencia, equidad e inclusión en la formación profesional a nivel internacional, lo

que impacta fuertemente las políticas y los procesos de diseño, rediseño, ejecución, evaluación y mejoramiento de las carreras y de las universidades [6]. Este autor se centra fundamentalmente en el alcance y la complejidad del término.

Otros autores [7] la refieren como el proceso de incorporar dimensiones internacionales, interculturales y globales en el contenido del currículo, así como también en los resultados de aprendizaje, tareas de evaluación, metodologías de enseñanza y servicios de apoyo en un programa de estudio. En esta definición se hace énfasis en los servicios de soporte al programa, lo que implica la necesidad de crear una cultura de internacionalización en la universidad como institución que tribute a la interacción intercultural tanto dentro como fuera del aula. Un currículo internacionalizado disponible para todos los estudiantes implica más que experiencias y actividades aisladas.

En este caso los autores tienen en cuenta la necesidad de elaborar planes con objetivos y metas claras, con metodologías de evaluación efectivas que introduzcan indicadores de resultado y de impacto, especialmente para saber si los cambios en los currículos tienen resultados positivos en los estudiantes, de acuerdo con los objetivos planteados.

Por otra parte, se plantea que la internacionalización del currículo es una estrategia compleja y bastante relevante en el proceso de internacionalización, debido a su carácter integral y sistémico [8]. Esta definición enfatiza en la relación dialéctica que debe existir entre los componentes de esta estrategia para lograr integrar todos los aspectos asociados al currículo.

En el contexto cubano también se han hecho aportes en este campo de investigación. Aunque el proceso de internacionalización del currículo es previo a la pandemia, se pone de manifiesto con mayor relevancia en el 2020 debido a la crisis de movilidad que la misma ocasionó.

Cuando se revisan las experiencias anteriores, no se visualiza la importancia de avanzar en la incorporación de la dimensión internacional en las funciones básicas de las universidades, particularmente en docencia con relación a la transformación del currículo. Las universidades circunscribían su aspecto internacional a la firma de convenios internacionales y a la participación en programas de movilidad estudiantil fundamentalmente.

En la Universidad de Holguín, se realizó un estudio de la evolución de la internacionalización hasta la actualidad [9]. Los autores refieren que diversos investigadores han abordado este tema y realizan un análisis de las variables introducidas en su concepción. Afirman la necesidad de gestionar estratégicamente la internacionalización de la extensión universitaria para favorecer la proyección internacional de la Universidad de Holguín, desde las posibilidades que dicho proceso clave ofrece.

En la Universidad de Pinar del Rio se asume la internacionalización del currículo como un conjunto de acciones académicas, administrativas y tecnológicas en una Institución de Educación Superior (IES) implementada transversalmente, para la formación integral de profesionales globalmente competitivos, con identidad cultural, formados con conocimientos y tendencias globales para la solución de problemas locales [10].

En la Universidad de Matanzas, se considera un proyecto académico articulado a la estrategia de internacionalización de la universidad y al Plan Integral de Desarrollo que promueve la incorporación de dimensiones internacionales e interculturales en el currículo y el desarrollo de competencias distintivas para desempeñarse exitosamente en un mundo globalizado y multiculturalmente diverso [11].

La internacionalización del currículo para la formación del profesional debe apreciarse, desde el punto de vista educativo, como una dimensión que incluye un conjunto de valores desde la dimensión internacional con el fin de promover la formación integral de profesionales globalmente competitivos, con identidad cultural, formados con conocimientos y tendencias globales para la solución de problemas locales.

A medida que las instituciones adquieren un modelo más sofisticado de gestión, la internacionalización del currículo podrá entenderse como un aspecto fundamental, sin el cual otras acciones están destinadas a permanecer periféricas y la transformación deseada puede quedar inconclusa.

Es necesario que los docentes y estudiantes utilicen herramientas que les permitan tener contacto constante con entornos internacionales, ya sea de forma virtual o presencial, ya que aportan de manera directa al mejoramiento de la calidad de los programas, y contribuyen a que los estudiantes puedan adquirir las habilidades necesarias para hacer frente a entornos cambiantes.

**Estrategia de internacionalización del currículo de lenguas extranjeras**

El proceso de internacionalización que se lleva a cabo en la enseñanza de lenguas extranjeras en Cuba requiere una estrategia que proponga pautas a seguir por todas las universidades. Para diseñar esta estrategia se analizaron los siguientes problemas: Los colectivos, los profesores y los estudiantes no conocen bien qué es la internacionalización del currículo, qué significa realmente, qué beneficios puede traer y cómo se puede abordar, no tienen todas las competencias (entre otras en lenguas extranjeras), los recursos y las herramientas para gestionar la formación en un entorno de enseñanza y aprendizaje internacional y culturalmente diverso; existe una necesidad creciente de visualizar y explorar potencialidades de internacionalización del currículo como una forma de motivar a docentes y estudiantes, promover el desarrollo profesional continuo y fomentar la calidad de la educación.

Teniendo en cuenta que entre las prioridades establecidas por el MES se encuentran la participación y sistema de relaciones del MES y las Instituciones de Educación Superior con organismos internacionales e instituciones extranjeras así como, el incremento de sus vínculos orgánicos con la producción y los servicios (relación universidad –empresa), la estrategia de internacionalización tiene como objetivos: Integrar la internacionalización al currículo ya existente en los diferentes programas que ofrecen las facultades, centros de idiomas y departamentos, ampliar y fortalecer continuamente la dimensión internacional e intercultural y el conocimiento global de todos los docentes y estudiantes en su currículo y formar un ciudadano global, comprometido con su tiempo y con su sociedad.

Además, se proponen las siguientes acciones como parte de la estrategia:

- Integrar el inglés y otros idiomas priorizados a la gestión y dinamización de los procesos sustantivos universitarios y especialmente a la formación de pregrado.
- Potenciar la introducción de modelos, tendencias, enfoques y estándares internacionales (marcos, niveles, indicadores, sistemas de evaluación y certificación) en el currículo de lenguas extranjeras.
- Capacitar a directivos, funcionarios, líderes, presidentes de CNC y coordinadores, estudiantes en inglés y otros idiomas priorizados en el país.
- Crear la Comisión Nacional de Idiomas (CNIES) como estructura para gestionar el desarrollo de las lenguas en el MES.
- Promover la movilidad académica y acciones de intercambio, así como la participación de profesores y estudiantes en eventos, proyectos y la prestación de servicios académicos en lenguas extranjeras.
- Promover los valores de la cultura y los idiomas para la comunicación, intercambios y para prestar colaboración y asistencia técnica internacional de calidad.
- Establecer alianzas y convenios con instituciones, organizaciones, estructuras de gobierno, asociaciones y gremios internacionales.
- Potenciar el uso de inglés y otros idiomas en la comunicación profesional internacional, en el uso de internet, de las plataformas digitales y redes sociales y recursos avanzados de aprendizaje.
- Promover un proyecto internacional sobre la internacionalización del currículo de lenguas extranjeras y su impacto en el currículo general de carreras y programas.

Para valorar la proyección del proceso de internacionalización a partir de criterios de medidas que permitan evaluar los cambios en el currículo de lenguas extranjeras, se determinan indicadores tales como: la comprensión internacional e intercultural, la competencia intercultural y comunicación transcultural, la innovación, desarrollo y evaluación curricular, estándares académicos y de calidad internacionales, la movilidad para el estudio y la movilidad virtual apoyada en el uso de la tecnología, así como las alianzas institucionales, redes y colaboración en docencia e investigación conjunta.

La implementación de la estrategia de internacionalización en la Educación Superior Cubana debe contribuir a ampliar el conocimiento y la comprensión de otras naciones, culturas, temas globales y compartir los valores más genuinos, mejorar la calidad de la enseñanza y la formación integral de los graduados, proporcionar a los graduados las competencias, los conocimientos y las actitudes que necesitan como ciudadanos y profesionales del mundo.

Esta estrategia debe, además, propiciar la motivación y el compromiso de profesores y estudiantes como fuerzas impulsoras de las instituciones, elevar la competitividad y tributar al incremento de la visibilidad internacional y reputación de las instituciones, promover oportunidades de establecer redes, compartir saberes, así como el desarrollo de habilidades sociales y ampliar la cultura general, impulsar la captación de ingresos, aceptando estudiantes internacionales, la movilidad a través de becas, participación en programas y proyectos, acceso a recursos y donaciones.

**Acciones estratégicas realizadas en el centro de idiomas de la Universidad Tecnológica**

En el centro de idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana, que pertenece al Instituto de Ciencias Básicas (ICB) se han realizado acciones encaminadas a la implementación de la estrategia nacional de internacionalización.

En el proceso de formación se continúa ofertando cursos de preparatoria en idioma español para extranjeros y para continuantes, se imparten cursos de distintos niveles (A1, A2, B1) en idioma inglés y ruso para estudiantes de pregrado y posgrado. Por otra parte, se han impartido cursos de idioma inglés y ruso a varias empresas (Agua y Saneamiento, Gecomex, Expedimar, Transtur) de acuerdo con las necesidades de aprendizaje de los participantes. Los cursos siguen modelos, tendencias, enfoques, metodologías y estándares internacionales contextualizados al currículo de lenguas extranjeras cubano.

Con respecto al desarrollo de la extensión universitaria, se han ofrecido servicios de traducción en eventos internacionales como Universidad (2020-2024) y en varias ediciones de la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Se establecieron relaciones con la embajada Rusa y se han realizado actividades en conmemoración a fechas históricas y culturales. Se colabora con la revisión de traducciones de una revista de grupo 2 con impacto y visibilidad internacional.

En cuanto al proceso de Superación, se asiste a las capacitaciones impartidas por expertos del Consulado Británico y la Embajada Americana en coordinación con el MES, se capacitan directivos, funcionarios, líderes, en idioma inglés y ruso para que logren un desempeño profesional exitoso y se entrenan profesionales de distintas esferas para que se presenten a los examenes que les permite optar por categorías docentes y/o científicas.

En relación con la investigación y la innovación, dos profesoras representan al centro en proyectos con otras instituciones a nivel nacional: uno vinculado a los sistemas de evaluación y certificación que se basan en estándares internacionales y el otro al perfeccionamiento de la enseñanza del idioma inglés en la educación, primaria, media y superior. Se han presentado dos tesis (una de maestría y otra de doctorado) que tributan a la enseñanza de idioma inglés por niveles, en pregrado y posgrado de acuerdo con el Marco Común de Referencia Europea, contextualizado en nuestro país. Se han realizaron dos proyectos de investigación para elevar la calidad de la enseñanza de lenguas extranjeras (idioma ruso e inglés) con el uso de las tecnologías (entrenador electrónico y plataforma Moodle) en el centro. Gran parte de la producción científica refleja los resultados obtenidos en los proyectos y se publican en revistas con visibilidad internacional.

## 3. CONCLUSIONES

1. El proceso de internacionalización del currículo no es nuevo pero ha sufrido cambios sustanciales que han llevado a las universidades cubanas a una nueva visión de la dimensión internacional a nivel curricular.

2. La estrategia de internacionalización del currículo de lenguas extranjeras ha sido una necesidad a partir de las políticas de perfeccionamiento y normativas orientadas por el MES en correspondencia con el contexto internacional, en el cual se insertan los profesionales cubanos.

3. La acciones realizadas en el centro de idiomas del ICB garantizan la implementación de esta estrategia de manera gradual en la Universidad Tecnológica de La Habana.

## REFERENCIAS

1. CRES. Informe General de la III Conferencia Regional de Educación Superior [en línea], 2018. Disponible en https://www.iesalc.unesco.org/tag/cres-2018/

2. HUNTER, Fiona y DE WIT, Hans. “El futuro de la internacionalización de la educación superior en Europa”. International Higher Education, 2015, (83), pp. 2-4.

3. GACEL-ÁVILA, Jocelyn. Educación superior, internacionalización e integración en América Latina y el Caribe. UNESCO – IESALC y Universidad Nacional de Córdoba, 2018.278 pp. ISBN 978-980-7175-33-

4. MADERA, Luz Inmaculada. “Educación y desarrollo sostenible al 2030: internacionalización de la formación docente en América Latina y el Caribe”. En Educación Superior, internacionalización e integración en América Latina y el Caribe, 2018 pp. 89-110. Balance regional y prospectiva. Córdoba: IESALC-UNESCO.

5. MARANTZ-GAL, Amit & LEASK, Betty. Internationalizing the curriculum: the power of agency and authenticity. New Directions for Higher Education. 2020, (192) pp. 39− 50.

6. FËDOROV, Andrei. Internacionalización de los planes de estudio. Guía metodológica. Centro de Desarrollo Académico de la Universidad de Costa Rica, 2010. Recuperado de http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6341/PE-Ing.Guia-etodológica_2024

7. LEASK, Betty. y DE WIT, Hans. La internacionalización, el currículum y las disciplinas. International Higher Education. 2015, (83), pp.11-12.

8. GACEL-ÁVILA, Jocelyn. Educación superior, internacionalización e integración en América Latina y el Caribe. En Conferencia Regional de Educación Superior De América Latina y el Caribe Córdoba, 2018. Resúmenes ejecutivos (pp. 45-86). Córdoba, Argentina: UNESCO-IESALC y UNC.

9. LABRADA, Oildier , VALIENTE, Pedro y GARCÍA, Jorge. Internacionalización de la extensión universitaria: estudio diagnóstico en la Universidad de Holguín. Luz. 2023, 22 (2),

pp.109-124. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1814151X2023000200109&lng=es&tlng=es

10. CAMEJO, Miriam. Guía Metodológica para el despliegue del modelo de gestión de la internacionalización del currículo. Mendive. 2020, 18 (4), pp.808-823.

11. MARTÍNEZ, Rita. Internacionalización del currículum: ideas y avances en la práctica, monografías 2020. Universidad de Matanzas. Disponible en http://monografias.umcc.cu/monos20.htm

**sobre los autores**

Doctora en Ciencias Pedagógicas, Máster en Ciencias de la Educación Superior. Directora del Centro de Idiomas del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica de La Habana. Profesora de Inglés por más de 30 años. Miembro del grupo temporal de trabajo de Ministerio de Educación Superior que proyecta la política de perfeccionamiento del proceso de formación en idioma inglés en las universidades cubanas. Experta del programa sectorial Formación universitaria, innovación y desarrollo sostenible.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MICROCURRÍCULO, GESTIÓN URBANA Y DESARROLLO LOCAL

**Irina Duverger Johnston[1], Alicia Espinosa Gronzo[2]**

[1]Máster en Ciencias, Profesor Asistente, Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae
[1]e-mail: irinadu@civil.cujae.edu.cu
[2] Ing. Civil, Profesor Auxiliar, Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae,
[2]e-mail: alice@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

El currículo garantiza obtener una educación de calidad, es un consenso a nivel internacional y nacional. En Cuba se concibe como proyecto educativo diseñado, adecuado o innovado en correspondencia con las necesidades sociales más generales del país, el contexto educativo y la individualidad de los sujetos del proceso. El deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos y la degradación de los suelos están identificados como parte de los problemas ambientales que afectan la calidad de vida de la población. En el modelo de desarrollo socioeconómico que implementa el país, articulado con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible se definen nuevas formas de gestión de la economía: micro, medianas y pequeñas empresas, entre las cuales algunas se dedican a la actividad constructiva y la producción de materiales y tecnologías de la construcción. En este artículo, a partir del contexto macrosocial nacional, en el cual se implementa el vigente Plan de Estudio "E" de la carrera de Ingeniería Civil, se identifican aquellas transformaciones necesarias al microcurrículo. Se busca materializar la demanda de la sociedad: la formación de un profesional integral, competente, capaz de enfrentar los problemas para alcanzar el desarrollo sostenible, visto aquí, desde la gestión urbana y el desarrollo local. Basados en el enfoque dialéctico materialista, se aplicaron métodos de la investigación pedagógica como: histórico-lógico, analítico-sintético, inductivo-deductivo y métodos empíricos como el análisis documental y la observación participante de las docentes, en la disciplina ciencias empresariales y como especialista de ordenamiento territorial y urbanismo.

**PALABRAS CLAVES:** microcurrículo, gestión urbana, desarrollo local, ingeniería civil, desarrollo sostenible.

## MICROCURRICULUM, URBAN GOVERNANCE AND LOCAL DEVELOPMENT

## ABSTRACT

Curriculum is a guarantee to achieve a qualified education. It is a consent at international and national level. It is conceiving in Cuba as an educational project designed, redesigned and innovated according to majority social needed, educational context and individual characteristics of actors involve in the process. Deteriorating sanitary conditions in human settlements and soil degradation are identified in Cuba as environmental issues, affecting the quality of life of its inhabitants. At the Cuban socioeconomic development model articulated with 2030 Agenda and Sustainable Development Goals were defined new form of economic management: micro, smaller and medium-size enterprises, some of them dedicated to constructions activities and local production of constructions materials and technologies. In this article, were identified the micro curriculum's transformations needed. In this article, according to the national macrosocial context, in which is implemented the current Study Plan "E" for Civil Engineers career, were identified the micro curriculum's transformations needed. It is looking forward to fulfill society´s demand: to graduate a competent and integrated professional capable to face the challenges focus on sustainable development, from the perspective of urban governance and local development. Based on dialectic materialistic approach were applied methods from pedagogical research such as history-logic, analytic-

synthetic, inductive-deductive and empirical methods such as documental analysis and professors' participatory observation in enterprises discipline and territorial and urban planning expertise.

**KEY WORDS:** micro curriculum, urban governance, local development, civil engineer, sustainable development.

## 1. INTRODUCCIÓN

El currículo es una garantía para obtener una educación de calidad, este es un consenso a nivel internacional y nacional. En Cuba, el currículo se asume como proyecto educativo, el cual se diseña, adecua o innova en correspondencia con las necesidades sociales más generales del país, el contexto educativo y la individualidad de los sujetos del proceso [1] [2] [3]. Éste se articula con el proyecto político social y con la política educativa y en él se sintetizan elementos culturales como: conocimientos, habilidades, hábitos, valores, actitudes, y modos de actuación, incorporados a todos los niveles de concreción curricular.

Como parte de la Política Social a la educación se le demanda:

> *Lograr que la formación de la fuerza de trabajo calificada, brinde respuesta integral a la demanda que exige el desarrollo socioeconómico del país y los territorios… Consolidar el papel de la Universidad en la formación y superación de profesionales competentes, comprometidos con nuestra historia y los valores de nuestro socialismo; fortalecer las relaciones con entidades de ciencia, tecnología e innovación, de la producción y los servicios y lograr la introducción de los resultados de las investigaciones en función del desarrollo del país, con particularidad en los territorios.* [4] (4)

En el modelo de desarrollo económico y social de Cuba al 2030 [4] el Desarrollo Local constituye parte de la Política para Impulsar el Desarrollo Territorial [5] [6]. En esta política se define al Desarrollo Local como un proceso esencialmente endógeno, participativo, innovador y de articulación de intereses entre actores, territorios y escalas (municipal, provincial y sectorial/nacional). Se sustenta en el liderazgo de los gobiernos municipales y provinciales para la gestión de sus estrategias de desarrollo dirigidas, desde la gestión del conocimiento y la innovación, al fomento de proyectos que generen transformaciones económico-productivas, socioculturales, ambientales e institucionales, con el objetivo de elevar la calidad de vida de la población.

Continúan estos autores, la Política para Impulsar el Desarrollo Territorial y el Decreto No. 33 [7] que la implanta, definen las Estrategias de Desarrollo Municipal (EDM) como instrumento básico de dirección y los Proyectos de Desarrollo Local (PDL) como vía para ejecutarlas. Estas incluyen líneas estratégicas, políticas públicas locales, programas y proyectos. Todos los municipios cubanos cuentan con EDM, lo cual representa un avance significativo. Su calidad es variable y difiere también entre los diferentes territorios la participación popular que acompaña su elaboración, seguimiento y evaluación [6].

Entre los programas que integran el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030 (PNDES) [4] destaca el denominado "Desarrollo territorial sostenible" que incluye varios proyectos, entre ellos uno centrado en "Las competencias de los municipios en Cuba como expresión del proceso de descentralización". A través de él se avanza en la propuesta de un marco de actuación que permite implementar paulatinamente la autonomía concedida a los municipios. Avanza el proceso tendente a fortalecer el ecosistema empresarial municipal, tanto de empresas públicas como privadas y cooperativas. Han crecido considerablemente las pequeñas y medianas empresas privadas, distribuidas de forma muy heterogénea en los 168 municipios [6].

El municipio constituye el espacio donde se localizan y gestan los procesos y acciones, donde están contenidas las comunidades y barrios como componentes claves de la dinámica social y económica. Es allí donde conviven tanto el gobierno –o sea, las autoridades que tienen la responsabilidad de coordinar y gestionar el desarrollo del territorio–, los actores encargados de prestar los servicios públicos y de producir los bienes necesarios, así como, la población, merecedora y beneficiaria de todo lo que se debe

hacer en términos de prosperidad [8]. El municipio, es también, el espacio donde se gestan las transformaciones de las ciudades y el resto de los asentamientos humanos que estructuran el territorio nacional, proceso denominado gestión urbana.

La Política Inversionista de Cuba demanda:

> *Elevar la jerarquía del Esquema Nacional del Ordenamiento Territorial y de los planes de Ordenamiento Territorial y Urbano, su integración con los planes de desarrollo de la economía a mediano y largo plazos, incluidas las inversiones. Garantizar la profundidad y agilidad en los procesos de consulta. Fortalecer el enfrentamiento a las ilegalidades, incluido la erradicación inmediata de las que surgen nuevas.* [4]

El Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT) es un instrumento de planificación de la economía nacional, complemento espacial determinante del PNDES [4], que implementa las acciones estratégicas del Plan de Estado para el enfrentamiento al Cambio Climático "Tarea Vida", de la Nueva Agenda Urbana (NAU) y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [9]. La implementación de la NAU contribuye al cumplimiento del ODS 11 de la Agenda 2030, hacer ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [10], la cual deviene política urbana a nivel local, cuya implementación realizan los actores y gestores municipales.

La Ley 145/2022 "Del ordenamiento territorial y urbano y la gestión del suelo" [11] junto al Plan de Estado para la implementación de la NAU en Cuba y el ENOT integran la Política Urbana Nacional que se concibe como plataforma que articula a todos los actores nacionales y locales desde sus competencias, en el logro de un objetivo común Desarrollo Urbano Sostenible [10].

En su Artículo 2 la Ley 145/2022 [11] dispone: "El ordenamiento urbano procura asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, en correspondencia con los procesos asociados a la urbanización y a su estructuración interna.". El cual estudia el hábitat humano como uso predominante en los asentamientos humanos, para lo cual analiza variables tales como: la población, su distribución espacial y el uso de suelo. El Artículo 3.1 dispone "El suelo, en el ordenamiento territorial y urbano y su gestión, como recurso finito, se ordena y delimita para servir de soporte a la actividad agropecuaria, forestal y minera, a las edificaciones, las infraestructuras técnicas, el equipamiento y los espacios públicos o se protege de la urbanización y de actividades no afines, según su vocación". En el apartado 2 plantea: "La gestión del suelo, como conjunto de procesos e instrumentos jurídicos, administrativos y técnicos, está dirigida a ocupar y utilizar de manera racional y sostenible el suelo para la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad y su desarrollo".

En la Política para las construcciones, viviendas y recursos hidráulicos se demanda:

> *Mantener la atención prioritaria al aseguramiento del Programa de Viviendas a nivel municipal, incrementando la producción local y la comercialización de materiales de la construcción, empleando las materias primas y tecnologías disponibles que permitan aumentar la participación popular.*
> *Recuperar viviendas que se emplean en funciones estatales, así como inmuebles que pueden asumir funciones habitacionales. Priorizar la construcción, conservación y rehabilitación de viviendas en el campo, teniendo en cuenta la necesidad de mejorar las condiciones de vida, las particularidades que hacen más compleja esta actividad en la zona rural y estimular la natalidad, con el objetivo de contribuir al completamiento y estabilidad de la fuerza de trabajo en el sector agroalimentario.*
> *Mantener y priorizar el Programa Nacional de la Vivienda de forma integral, como parte de la política aprobada, que abarque las directivas principales de la construcción, las formas de gestión para la producción, incluidas la no estatal y por esfuerzo propio, la rehabilitación, la conservación de viviendas, la transformación del fondo con condiciones más desfavorables y las urbanizaciones.*
> *Definir las prioridades para resolver el déficit habitacional, teniendo en cuenta un mayor aprovechamiento del suelo y el uso de tecnologías más eficientes.*

> *Fortalecer el sistema de Planificación Física* [actualmente, del Ordenamiento Territorial y Urbanismo] *y de la Vivienda a todas las instancias. Perfeccionar, simplificar e informatizar los procesos relacionados con los trámites de la vivienda* [4].

El Plan de Estudio E de la carrera Ingeniería Civil [12] promueve la formación de un profesional de perfil amplio estructurado a partir un tronco común para todo el país (currículo base o general) [13]. A partir de este contexto macrosocial, el currículo como proyecto educativo, que da respuestas a las necesidades sociales más generales de país y las individualidades de los sujetos del proceso, posee tres niveles de concreción. Estos niveles son: macrocurrícular, mesocurrícular y el microcurrícular [3].

El nivel macrocurrícular se corresponde con el Sistema Educativo e involucra al nivel nacional que realiza el diseño del currículo, señala el pensamiento educativo, las políticas educacionales, las grandes metas, orienta la concreción de los niveles meso y microcurricular [3] (1). En el caso de la Educación Superior, su elaboración está a cargo de los especialistas de la dirección pertinente del Ministerio de Educación Superior y los educadores y otros profesionales convocados para ese propósito [3] (3). En este nivel se definen los elementos básicos, comunes para todas las instituciones educativas a nivel nacional. La Comisión Nacional de Carrera elabora el modelo del profesional, el plan del proceso docente y el currículo base [13] (10). El Plan de Estudio "E" a partir de las demandas de la sociedad concibe:

> *El ingeniero civil para el país en las condiciones actuales debe continuar siendo de perfil amplio, con una sólida formación en las ciencias básicas y en las disciplinas básicas específicas (materiales de construcción, geotecnia y análisis de estructuras) capaz de resolver los problemas básicos más generales y frecuentes que se presentan en sus campos de acción y esferas de actuación profesional, dejando para etapas posteriores de formación (basadas en la necesaria educación continua) los problemas más especializados o que se presentan con menor frecuencia* [12].

En el nivel mesocurrícular se materializa el proyecto curricular del centro en cada institución educativa. El mesocurrículo contiene los principios y los fines del centro, los recursos docentes y didácticos disponibles y necesarios para implementarlo, así como, las estrategias educativas y curriculares, el reglamento para los docentes y estudiantes y el sistema de gestión educativa [1]. En la Educación Superior corresponde a las Comisiones de Carrera en cada centro universitario decidir el currículo propio respondiendo a las particularidades de cada territorio, los cursos optativos/electivos y los objetivos de cada año de la carrera. También se ocupan de la elaboración de los programas de asignaturas derivadas de las disciplinas docentes y demás actividades investigativas y laborales que realizan los estudiantes [3].

El nivel microcurricular corresponde al trabajo que se realiza en el proceso de enseñanza-aprendizaje, donde se materializa el currículo diseñado, como respuesta a las demandas de la sociedad. Este contiene los componentes didácticos, actividades y las orientaciones metodológicas para su realización [1]. El diseño del microcurrículo abarca una clase u otra actividad, una situación de enseñanza-aprendizaje del proceso pedagógico, una unidad de clases del programa de cualquier asignatura, una disciplina o asignatura porque diseñar el microcurrículo es planificar situaciones ambientales complejas. En este nivel también se concreta, se realiza el rediseño curricular, el cual consiste en: reelaborar el programa diseñado de forma total o en algunas de sus partes con la finalidad de perfeccionarlo [3].

En la gestión urbana y en el desarrollo local intervienen diversos actores económicos y sociales, posibles egresados de la ingeniería civil que requieren comprender los complejos procesos urbanos y locales para la toma de decisiones a nivel de ciudad y del territorio, ya sea este municipal, provincial o nacional, contribuyendo a su desarrollo sostenible. La posición que se defiende en el presente trabajo es la necesidad de la comprensión de estos procesos la cual debe iniciarse desde la formación del profesional integral y competente.

Partiendo de lo anterior, en este trabajo se reflexiona sobre cuáles transformaciones se deberían realizar al microcurrículo a partir de las demandas que a la formación integral del ingeniero civil imponen los retos que enfrentan las ciudades y territorios, derivados de la realidad actual y los requerimientos sobre el desarrollo sostenible. Realizado bajo el enfoque dialéctico materialista, se emplearon métodos teóricos y

empíricos, donde se destaca la observación participante de las autoras como docentes de la carrera de ingeniería civil en las disciplinas: principal integradora y ciencias empresariales; así como, especialista en ordenamiento territorial y urbanismo.

## 2. DESARROLLO

### Desafíos para el desarrollo local

A decir de Fernández, Guzón y Jover [5] la adecuada selección de las personas que pueden desempeñarse como intendentes, y en general de los funcionarios públicos merece mayor atención en la gestión del desarrollo local. Por lo cual, estos autores, enfatizan en la creación de capacidades a ese nivel. Consideran también necesario avanzar en la implicación del conjunto de actores que operan en los municipios, comunidades y consejos populares. Así como, multiplicar los procesos de formación, según las particularidades y potencialidades territoriales, tanto de actores como de gestores.

Se han incorporado diversos actores económicos al desarrollo local que implementan las herramientas de gestión de las estrategias de desarrollo local: los PDL. Entre estos actores han surgido, según datos del Ministerio de Economía y Planificación [14] nuevas formas de gestión económica: las microempresas, medianas y pequeñas empresas y cooperativas no agropecuarias (MIPYMES) destinadas a actividades constructivas de: servicios de construcción; instalación, mantenimiento y reparación de sistemas hidráulicos y de climatización; actividades de paisajismo y mantenimiento de áreas verdes; producción de diversos materiales de la construcción: pinturas y barnices, baldosas, losas y bloques (hormigón, cemento y yeso), artículos refractarios; fabricación de vidrio y productos de vidrio; servicios de desbroce, chapea de marabú y otras plantas indeseables; instalación, reparación y mantenimiento a equipos de bombeo y conductores hidráulicos; e, instalación de sistemas eléctricos.

Muchas de estas MIPYMES, según datos del MEP [14] se encuentran localizadas en los municipios cabeceras provinciales, incidiendo en la transformación de las ciudades capitales de provincia y los asentamientos humanos aledaños. Los territorios con mayor aparición de estos tipos de empresas son: La Habana, Artemisa, Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Santiago de Cuba y Holguín. Existe una mayor concentración en La Habana, Matanzas y Villa Clara y en menor medida en Holguín y Santiago de Cuba. La otra actividad con mayor nivel de aparición es la destinada a la producción y oferta de alimentos, las cuales directamente no demandan fuerza de trabajo calificada en la actividad constructiva, pero sí en el diseño y ejecución de los establecimientos, interviniendo de esta forma favorable o desfavorablemente en la modificación de la morfología urbana y arquitectónica, así como, en la tipología urbana, arquitectónica y estructural de las edificaciones.

### Prioridades para la gestión urbana

En la Estrategia Ambiental Nacional de Cuba [16] se identifican como parte de los problemas ambientales a la degradación de los suelos (1997, 2007, 2010, 2015 y 2020) y al deterioro de las condiciones sanitarias en los asentamientos humanos (1997, 2015 y 2020) entre otros que afectan la calidad de vida de la población. La degradación de los suelos tiene entre sus factores la acción antrópica, con el impacto producido por y en áreas densamente pobladas, las alteraciones a la salud y la calidad de vida de la población, así como, el efecto de los cambios globales, en particular el cambio climático. Cuba tiene un alto grado de urbanización, según último Censo de población y viviendas el 76.8 % de su población es urbana; al cierre de 2020 el 21,3 % tiene 60 años o más y la población del país decreció en números absolutos [8].

Duverger y Álvarez [17] identificaban algunas de las prioridades que las ciudades cubanas debían afrontar, y que aún persisten en el 2024, entre ellas:

> *efectos del cambio climático; incidencia del envejecimiento de la población; cambios económicos: creación de empleos por cuenta propia, reorganización de la agricultura, reestructuración azucarera, desarrollo del turismo, entre otros; promoción del desarrollo endógeno de municipios y ciudades; magnitud del problema habitacional —incluyendo la urbanización— y su implementación; crecimiento excesivo en área de las grandes ciudades;*

*balance apropiado entre nueva construcción, mantenimiento y reconstrucción; necesidad de detener el deterioro urbano; integración urbana, incluyendo los nuevos centros de ciudad; rehabilitación de las redes infraestructurales: acueducto, alcantarillado, viales, electricidad, telefonía y comunicaciones; gestión integrada de los residuales sólidos; movilidad de todo tipo, incluyendo la peatonal; promoción, ejecución, uso y cuidado de los espacios públicos, entre otros* [17] [18].

Los PDL como herramientas en las estrategias de desarrollo municipal para la gestión local del patrimonio cultural [8] tanto urbano como rural, construido y edilicio tienen incidencias en las ciudades y el resto de asentamientos humanos. Cuba cuenta con ciudades con declaratorias como patrimonio cultural de diversa índole a lo cual también hay que prestar atención, desde la formación.

Para enfrentar estas prioridades urbanas se requiere de la participación, institucional y social, de múltiples actores urbanos definidos en la Ley 145/2022 [11] en su Artículo 95: órganos locales del Poder Popular; delegaciones de instituciones de otros niveles de subordinación; entidades económicas, productivas y de servicios, y otros organismos e instituciones cuya actividad incida en el ordenamiento territorial y urbano; universidades, institutos y centros de investigación científicos enclavados en el territorio objeto de análisis; medios de comunicación; sociedad civil; población. Muchos de estos actores y gestores ya han aparecido en las aulas universitarias. A través de la observación participante de las autoras de este trabajo, docentes de la carrera en las disciplinas ciencias empresariales y principal integradora, han constatado el incremento de su número desde el 2022 con menos aparición en el Curso Regular Diurno pero con mayor presencia en el Curso Por Encuentro.

**Desafíos para el microcurrículo como respuesta a las demandas de la sociedad**

El ODS 4 [19], en su meta 7, declara "De aquí al 2030, asegurar que todos (…) adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida saludables, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura del desarrollo sostenible" Tuvilla, al respecto, plantea:

> *"(...) la gobernanza conlleva para los ODS un proceso de enseñanza aprendizaje. Y define a las personas como el tipo de canal curricular para ejercer la función pública municipal o local.* (Continúa la fuente) *los responsables políticos municipales y locales, como educadores con sus discursos y realizaciones prácticas, han de conocer los distintos currículos por los que transmiten a la ciudadanía sus enseñanzas. La política hoy requiere un enfoque integrado, basado en sólidos fundamentos éticos y morales incluso en el contexto de la ciudad educadora o de aprendizaje (...) En la ciudad educadora y de aprendizaje se ha de interpretar y proteger los cuatros pilares de la educación"* [20].

Se coincide con Pérez [21] cuando identifica **dos desafíos socio-culturales** que conlleva la inclusión del concepto Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) en las comunidades educativas. El **primero**: **comprender y valorar** positivamente este **concepto**, para después vincularlo a experiencias de enseñanza-aprendizaje y finalmente impulsar cambios en los programas de las asignaturas y la práctica docente. El **segundo**: generar conocimientos que resulten de un proceso de análisis e interpretación del propio entorno ambiental, económico y socio –cultural.

Se concluye, coincidiendo con Tuvilla [20]: sí entre todos no se logra que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles se generarán problemas urbans y territoriales aún más graves. Los cuales afectan, en última instancia, a todos los ciudadanos. La desigualdad puede provocar disturbios e inseguridad, la contaminación deteriora la salud de todos y afecta a la productividad de los trabajadores y por tanto a la economía, y los desastres naturales pueden alterar el estilo de vida general.

Igualmente se concuerda con Núñez [22] sobre la necesidad de identificar la transversalidad de los contenidos vinculados con el Desarrollo Sostenible, de los métodos, escenarios y recursos de educación - en un sentido de mayor multi, inter y transdisciplinariedad, así como en el énfasis en la educación de competencias integradoras de conocimientos, destrezas, valores y sentimientos hacia la sostenibilidad, la creatividad y el pensamiento crítico e innovador en la identificación y solución de los problemas del entorno bajo el prisma de la acción humana para el Desarrollo Sostenible.

Se asume, coincidiendo con Gómez et al. [23] sobre la necesidad de realizar un diagnóstico al plan de estudios e identificar las asignaturas que contribuyen a cada uno de los 17 ODS. Y de este modo, definir los contenidos precisos para mejorar la formación de los ingenieros civiles para alcanzar las metas de la Agenda 2030.

Se ratifica que la introducción del enfoque humanista en las carreras técnicas, la percepción social de la ciencia y la tecnología debe ser educada en los profesionales y estudiantes de ciencias e ingenierías con el mismo énfasis con el que aprenden y enseñan otros saberes y habilidades, como planteó Núñez [24]. En este trabajo, coincidiendo con lo planteado por Duverger [25] también se considera, la necesidad del fomento de este enfoque a través de la labor extensionista con la participación interdisciplinaria y transdisciplinaria en tareas de alto impacto social, relacionadas con el diseño y transformación de asentamientos humanos y su interrelación con los componentes del medioambiente, para promover el desarrollo local. Desde estas dos vertientes de actuación se podría mitigar el efecto de los factores que dificultan la implementación del ordenamiento urbano, de asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

## 3. CONCLUSIONES

Luego de analizar el Plan de Estudio “E” de la carrera de ingeniería civil [10], de revisar las prioridades urbanas y la aparición de nuevos actores que inciden en el desarrollo local se concluye que: la implementación de transformaciones en el modelo económico y social cubano, así como la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la población en los asentamientos humanos demandan al currículo un proceso de adecuación e innovación permanente, materializados a nivel de microcurrículo, en el proceso de enseñanza aprendizaje, donde confluyen los actores educativos, los docentes y los estudiantes provenientes de diversas fuentes: actores y gestores urbanos y locales.

En el currículo se sintetizan elementos culturales como: conocimientos, habilidades, hábitos, valores, actitudes, y modos de actuación, incorporados a todos los niveles de concreción curricular. Es en el microcurrículo de la ingeniería civil donde se materializan los conocimientos económicos, sociales, ambientales, jurídicos sobre las ciudades y asentamientos humanos en general, las habilidades para interpretar y transformar estos espacios, los hábitos de trabajo en equipo, colaborativo, multi, inter y transdisciplinario, los valores relacionados con la responsabilidad, honestidad, transparencia; las actitudes como solidaridad, humildad, tolerancia a la diversidad, etc.; y modos de actuación como planificar, localizar, gestionar, diseñar, ejecutar, conservar, investigar e innovar para lograr la formación de un egresado integral y competente que contribuya al desarrollo sostenible que aspira el país.

## RECONOCIMIENTOS

Las autoras desean agradecer a todos los estudiantes, profesores y especialistas, que directa o indirectamente, han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

1. HORRUITINER, Pedro. *La universidad cubana. El modelo de formación*. La Habana: Editorial Félix Varela, 2006. 219 pp. ISBN 959-258-894-5.
2. PÁEZ, Verena y otros. *Currículo y Contexto Educativo.* La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 2013. 145 pp. ISBN 978-959-13-2495-5.

3. PÁEZ, Verena. *Curso de Entrenamiento El currículo y el desarrollo sostenible*. Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana, 2022.
4. PCC**.** *Conceptualizción del modelo económico y social del desarrollo socialista. Lineamientos de la política ec onómica y social del partido y la revolución para el período 2021-2026.* La Habana: Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2020. Disponible en Web: https://www.pcc.cu/conceptualizacion-del-modelo-economico-y-social-cubano-de-desarrollo-socialista
5. MEP. *Política para Impulsar el Desarrollo Territorial* [en línea]. La Habana. Ministerio de Economía y Planificación [ref. de 4 de agosto 2020]. Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu/sites/default/files/Documentos/POLITICA%20PARA%20IMPULSAR%20EL%20DESARROLLO%20TERRITORIAL.pdf.
6. FERNÁNDEZ, Aurora, GUZÓN, Ada y NÚÑEZ, Jorge."*El desarrollo local en Cuba: institucionalización y desafíos*". *Revista Iberoamericana de Gobierno Local*, 2023, núm. 24, ISSN: 2173-8254. Disponible en Web: https://revista.cigob.net/download/f28d24de-59a8-4cd5-9796-3d79289ac18f
7. Decreto No. 33/2021"Para la Gestión Estratégica del Desarrollo Territorial", de 11 de marzo de 2021 [ref. de 4 de octubre 2024]. Disponible en Web: https://www.gacetaoficial.gob.cu
8. CASTRO PREMIER, Mailyn Esther. "Las estrategias de desarrollo municipal, instrumento clave para la gestión local del patrimonio cultural". *Revista Arquitectura y Urbanismo*, 2020, vol. 41, núm. 3, pp. 67 - 75. Disponible en Web: https://rau.cujae.edu.cu
9. MARICHAL, Anelis María. "*Esquema de Nacional de Ordenamiento Territorial. Retos y oportunidades*". *Revista Planificación Física-Cuba*, 2017.
10. INOTU. *Política Urbana Nacional en Cuba* [en línea]. La Habana. [ref. de 16 de agosto 2021]. Disponible en Web: https://www.inotu.gob.cu/
11. ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR. Ley 145/2021 "Del Ordenamiento Territorial y Urbano y la Gestión del Suelo". *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. La Habana. Cuba. 2022. Disponible en Web: https://www.minjus.gob.cu
12. MES. *Documento base para el diseño de los planes de estudio "E" (Proyecto)*. La Habana. 2016.
13. MES. *Plan de estudio "E" carrera de ingeniería civil*. Ministerio de Educación Superior. La Habana: 2018
14. MEP. *Listado de las 103 muevas mipymes y CNA*. [ref. de 24 de noviembre 2021] Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu
15. MEP. *Listado de muevas mipymes y CNA*. [ref. de 28 de abril 2022] Disponible en Web: https://www.mep.gob.cu
16. CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025* [en línea]. La Habana. [ref. de 27 de agosto de 2024]. Disponible en Web: https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional/.
17. DUVERGER, Irina. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental" en *Curso de Ordenamiento Territorial y Urbanismo*. La Habana: Editorial Academia, 2011. 16 pp. ISBN 978-959-270-203-5 [Segunda parte].
18. DUVERGER, Irina y ÁLVAREZ, Concepción. "Gestión del planeamiento urbano. Dimensiones: económica, cultura, social y ambiental". *Planificación Física-Cuba*, núm. 17, 2013, ISSN 0138-6239.
19. UNESCO**.** "Declaración de Incheon y Marco de Acción ODS 4 – Educación 2030". París, 2016. Disponible en Web: https://unesdoc.unesco.org
20. TUVILLA, Fernando. "La *educación y la comunicación en el Objetivo 11 de los ODS* ". En actas de X Encuentro andaluz de experiencias en educación ambiental y sostenibilidad urbana, 19 de noviembre de 2019, Córdoba. Disponible en Web: https://www.famp.es
21. PEREZ-ORTEGA, Isabel. *Educación para el desarrollo sostenible más allá del currículo escolar. Reflexiones socio-culturales* https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/24282/EducacioDesarrolloSostenible.pdf?sequence=3 Disponible en Web: https://revista.sangregorio.edu.ec
22. Núñez Paula Israel A. "Educación para el desarrollo sostenible: hacia una visión sociopedagógica". *Controversias y Concurrencias Latinoamericanas* [en linea]. 2019, 11(19), 291-314[fecha de Consulta 4 de Octubre de 2024]. ISSN: . Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=588661549016
23. Gómez-Martín, M. Esther; Gimenez-Carbo, Ester; Ignacio Andrés-Doménech. "Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el plan de estudios del Grado en Ingeniería Civil de la Universitat Politècnica de València". *INNODOCT*, Valencia. 2019, vol 11, núm. 3, pp. 507 - 515 DOI: http://dx.doi.org/10.4995/INN2019.2019.10094. Disponible en Web: https://riunet.upv.es/handle/10251/151200.

24. Nuñez, Jorge. *Universidad conocimiento y desarrollo nuevas encrucijadas. Una lectura desde ciencia tecnología y sociedad*. La Habana: Editorial UH. 2020. 299 pp. ISBN 978-959-7251-245-8. https://www.researchgate.net/publication/342178758_Universidad_conocimiento_y_desarrollo_nuevas_encrucijadas_Una_lectura_desde_ciencia_tecnologia_y_sociedad
25. DUVERGER, Irina. "Hábitat, medio ambiente y ordenamiento urbano: desafíos para la educación científica en Cuba hoy". Directora: Dolores Vilá Blanco. Tesina de Entrenamiento Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología (PSCT), Universidad de La Habana, La Habana, 2022.

**Sobre las autoras**

M. Sc. Arq. Irina Duverger Johnston
Centro de Estudios para la Arquitectura y la Construcción Tropical (CECAT) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae) Profesor Asistente, Profesor Principal para escuelas ramales. Es graduada de: Arquitectura, por el Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella" (ISPJAM), de la Universidad de Oriente; de Especialista de Posgrado en Evaluación de Impacto de la Minería y la Construcción en el medioambiente, por el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Antonio Núñez Jiménez" (ISMMM); y, de Máster en Ciencias en Gestión Ambiental, Mención Evaluación de Impacto Ambiental, por el Instituto de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InsTEC) de la Universidad de La Habana. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC), de la Sociedad Cubana de Geografía (SCG), de la Asociación Nacional de Contadores y Economistas de Cuba (ANEC) y la Asociación de Pedagogos de Cuba (APC).

Ing. Alicia Espinosa Gronzo
Centro de Estudios para la Arquitectura y la Construcción Tropical (CECAT) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae) Profesor Auxiliar, se desempeña como Metodóloga. Es graduada de: Ingeniera Civil, por la Cujae. Es miembro de la Unión Nacional de Arquitectos de la Construcción de Cuba (UNAICC).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INTERDISCIPLINARIEDAD EN FUNCIÓN DE LA RETENCIÓN ESCOLAR

**Julia Milexy Flores López[1], Manuel de la Rúa Batistapau[2]**

[1]Dirección Historia y Marxismo-Leninismo. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". [2]Dirección Historia y Marxismo-Leninismo. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría".
jflores@icb.cujae.edu.cu mrua@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La concepción de la docencia contemporánea, tanto en Cuba como en el mundo, ha tenido en cuenta por mucho tiempo la necesidad de formar a las futuras generaciones desde la perspectiva del contenido y las habilidades a desarrollar para satisfacer las necesidades del modelo de sociedad. En correspondencia con esto los planes de estudio fueron encaminados por un periodo aproximado de 4 a 5 años en los que los estudiantes solo recibían conocimientos y en determinados espacios los ponían en práctica. Aún con el trabajo constante de todos los factores no se ha logrado sostenidamente la correspondencia entre los estudiantes que ingresan a estos niveles educativos y los que lo concluyen. Entre las causas que se han identificado están las bajas por insuficiencia docente y la deserción. Esto ha favorecido los desequilibrios en cuanto a la retención escolar en las universidades y también de los docentes. Una de las alternativas en función de contribuir a la retención escolar en los niveles de enseñanza, fundamentalmente en el nivel superior es el uso de la interdisciplinariedad en la docencia, para logar desde la motivación y solución de problemas de la vida real, desde la teoría, contribuir a fomentar el interés, así como trabajar en conjunto con las materias específicas para alcanzar los objetivos propuestos. El uso efectivo de la interdisciplinariedad como una vía desde los primeros años podría contribuir al mejoramiento del proceso formativo; por lo que es una necesidad reflexionar sobre la importancia de la interdisciplinariedad en función de la retención.

**PALABRAS CLAVES:** Interdisciplinariedad, Retención.

## INTERDISCIPLINARY BASED ON SCOOL RETENTION

**ABSTRACT**

The conception of contemporary teaching, both in Cuba and in the world, has long taken into account the need to train future generation from the perspective of the content and skills to be developed to meet the needs of the society model. In correspondence with this, the curricula were directed for an approximate period of 4 to 5 years in which the students only received knowledge and in certain spaces put in to practice. Even with the constant work of all the factors, the correspondence between the students who enter these educational levels and those who conclude it has not been steadily achieved. Among the causes that have identified are school dropouts and dropouts. This has favored imbalances in terms of school retention in universities and also among teachers. One of the alternatives in terms of contributing to school retention at the teaching levels, is the use of Interdisciplinarity in teaching, to achieve from motivation and solution of real-life problems, from theory, contribute to fostering interest, as well as working together with the specific subjects to achieve the proposed objectives. The effective use of Interdisciplinarity as a way from the early years could contribute to the improvement of the training process; so it is necessary to reflect on the importance of Interdisciplinarity in terms of retention.

**KEY WORDS:** Interdisciplinary, Retention.

## 1. INTRODUCCIÓN

La concepción de la docencia contemporánea, tanto en Cuba como en el mundo, ha tenido en cuenta por mucho tiempo la necesidad de formar a las futuras generaciones desde la perspectiva del contenido y las habilidades a desarrollar para satisfacer las necesidades del modelo de sociedad que en los textos se describe.

En correspondencia con esto los planes de estudio se han encaminado por mucho tiempo a que por un periodo aproximado de 5 o 4 años el estudiante solo recibía conocimientos, para que en determinados y pocos espacios de tiempo los ponga en práctica, mientras que, en perfiles específicos, se desarrollaran los llamados Cursos para aquellos trabajadores que lo necesitaran desde sus funciones específicas.

Aún con el trabajo constate de todos los factores no se ha logrado sostenidamente el deseado ascenso y correspondencia entre los estudiantes que ingresan a estos niveles educativos y los que lo concluyen, afectando esto el proceso formativo general, así como la incidencia directa en la sociedad.

En los últimos cinco años se han identificado variadas causas que han afectado el proceso exitoso de culminación de estudios, entre las que se encuentran las bajas, producidas por insuficiencia docente y la deserción que responde fundamentalmente a la emigración y en menor medida a problemas de salud y maternidad.

Muchos de los factores de riesgo identificados (Actitud personal que asumen los estudiantes hacia su carrera y su motivación, relación negativa con los profesores, insuficiencia en la preparación obtenida en los niveles educativos precedentes y deficiencias en el desempeño docente) tienen un reflejo directo en el trabajo de las asignaturas básicas y generales. El uso efectivo de la interdisciplinariedad desde los primeros pudiera contribuir al mejoramiento del proceso formativo.
Todo esto ha favorecido los desequilibrios en cuanto a la retención escolar en las universidades y también de los docentes; razones estas que llevan a la necesidad de reflexionar sobre la importancia de la interdisciplinariedad en función de la retención.

## 2. PROBLEMÁTICA: RETENCIÓN

En función del contexto a lo largo de la historia se han desarrollado diversas estrategias y vías para la docencia, y la formación en general de las futuras generaciones, determinando en cada situación la problemática a solucionar.

De esa variedad aún en los tiempos actuales destaca el tema de la retención escolar y cómo contribuir a disminuir sosteniblemente la deserción y el abandono escolar. Existen varias alternativas de trabajo en función de solucionar esta problemática. En este trabajo se dirigirá la mirada a una de ellas.

Una de las alternativas en función de contribuir a la retención escolar en los niveles de enseñanza, fundamentalmente en el nivel superior es el uso de la interdisciplinariedad en la docencia, para logar desde la motivación y solución de problemas de la vida real, desde la teoría, contribuir a fomentar el interés, así como trabajar en conjunto con las materias específicas para alcanzar los objetivos propuestos.

Las concepciones de los programas de estudio están desarrolladas sobre la base de las necesidades de la realidad social, modeladas y sistematizadas con teorías y análisis científicos que proyectan una visión de futuro para los contextos socioeconómicos y culturales de las sociedades, y que se ajustan según los cambios acaecidos. Por lo tanto, tener en cuenta que la realidad es constantemente cambiante, que la base económica de las sociedades y las superestructuras se ajustan y proyectan las necesidades de las personas; también los procesos formativos si no se ajustan a estas características pueden influir no intencionadamente a la deserción, teniendo en cuenta que los programas formativos ya no satisfacerían las necesidades de los estudiantes.

Es importante destacar que esta mirada no solo debe dirigirse a los estudiantes, puesto que este fenómeno también está incidiendo en los docentes por diversos factores.

¿Cómo se podría evidenciar esta situación en docentes y estudiantes?
Pues en los últimos 5 años, debido a la cantidad de hechos que cambiaron radicalmente el contexto socioeconómico y comunicativo mundial, algunos factores afectaron y afectan indiscutiblemente la retención docente.

Entre estos factores se pueden mencionar: la pandemia de la COVID-19; el encarecimiento de la vida, con el aumento de los precios, fundamentalmente los de necesidad básica, el acceso a las nuevas tecnologías de comunicación e información, lo que propicia el aumento a gran escala del trabajo a distancia, por la vía digital; y la colonización cultural, que ha llevado a la hiperbolización de modelos de consumo y culturalmente globalizados neoliberalmente que atentan, incluso, contra las proyecciones culturales identitarias.

Todos estos elementos se manifiestan también en el proceso formativo de las universidades del mundo, y por supuesto en Cuba, lo que ha llevado a que las mismas busquen alternativas para mantener desde sus principios la retención de un claustro, capacitado, calificado y con voluntad y compromiso para continuar con la tarea de educar a las futuras generaciones; así como mantener a los jóvenes y por lo tanto formarlos para la sociedad.

Desde el trabajo educativo y formativo el uso de la interdisciplinariedad en el procedo docente, en el proceso de extensión y desde las propias concepciones de los planes y programas de estudio, podría contribuir a la retención.

## 3. INTERDISCIPLINARIEDAD

Cuando se trata el tema de la interdisciplinariedad en el contexto educativo, se deben tener en cuenta muchos elementos que tienen como principales, la relación de contenidos que tengan puntos en común o nodos conceptuales.

En el 2014, en un trabajo sobre el tema en cuestión se hace referencia a un texto de Edgar Morín de 1994, en el que se evidencia la importancia de la interdisciplinariedad para el conocimiento y el contexto y en el V Taller Internacional sobre Enseñanza de la Física y el I Taller sobre Enseñanza de las Ciencias Experimentales y la Matemática celebrado en diciembre de 1998 en Cuba, se reflexionó acerca de las cuestiones de la enseñanza de las ciencias. En este contexto se determinó la imposibilidad de lograr cambios en la educación científica desde posiciones tradicionales, en los marcos disciplinares descontextualizados de la realidad.

Es destacado en varios ámbitos que la interdisciplinariedad tropieza con los intereses gremiales de los especialistas, las ambiciones territoriales de los académicos y el desinterés para todo lo que no sea el corto plazo de los administradores públicos

No en último lugar hay que contar con un obstáculo (…) el neologismo "particulocentrismo": muchos de los que en principio se muestran partidarios de la interdisciplinariedad sostienen que la reconstrucción de la unidad del saber tiene que realizarse a partir y alrededor de la disciplina particular que ellos mismos cultivan, sobre todo si se trata de una ciencia de moda, como la biología molecular, la física de partículas, la cosmología, la neurociencia, la ecología o las ciencias de la complejidad…" [1].

Estos análisis evidencian como a pesar de qué se ha manifestado en muchos contextos la necesidad desde la enseñanza, desde la educación de concebir intencionadamente las vías para reflejar las relaciones existentes en la realidad, aún desde los marcos de las estructuras disciplinares y de asignaturas, muchos se mantienen escépticos o renuentes, así como mantienen los enfoques parcializados o reduccionistas en cuanto al tema en cuestión.

La interdisciplinariedad "… puede verse -también- como una estrategia pedagógica que implica la interacción de varias disciplinas, entendida como el diálogo y la colaboración de éstas para lograr la meta de un nuevo conocimiento." [2]. En este caso se hace referencia a la concepción de la interdisciplinariedad como estrategia pedagógica, marcándose su intención en la importancia del tema

formativo y educativo, por lo que las acciones que se realicen tienen que estar encaminadas hacia los objetivos de esta magnitud.

"La interdisciplinariedad se declara como uno de los principios que sustentan el cambio educativo, tiene como objetivo formar en los educandos una visión del mundo integradora y sus consiguientes valores, actitudes y formas de actuación para comprender y resolver los problemas complejos de la realidad en que viven, lo cual implica asumir un nuevo enfoque, un nuevo estilo de trabajo para desarrollarlo, basado en la colectividad y la cooperación, requiere un cambio de actuación, de actitud de todos los participantes del proceso de enseñanza-aprendizaje y de sus relaciones,…" [3]. Esta acepción se enfoca la necesidad de la cooperación y relaciones entre los valores y las habilidades a desarrollar en función de una transformación actitudinal y práctica del sujeto en la sociedad en que vive, aplicando los conocimientos adquiridos.

Según estudios realizados en Quebec existen diversos tipos "… de interdisciplinariedad basados en la relación con el saber disciplinario, los objetivos sociales y la concepción epistemológica de las relaciones interdisciplinarias. Esta proliferación de concepciones atribuidas a la interdisciplinariedad puede encontrarse tanto en la educación como en la formación inicial de docentes, al igual que en otros campos disciplinarios y de formación profesional." [4]. Razones estas que evidencian que desde hace un buen tiempo y en diversas realidades del mundo la interrelación es ya un hecho, y que se aplica en varios campos docentes.

Varios autores plantean que es importante trabajar la interdisciplinariedad desde el aspecto vertical, o sea, desde las disciplinas de un plan de estudio determinado con los objetivos generales de la disciplina, habilidades generales del profesional y modo de actuación del profesional que cerraba en cada uno de los años con objetivos generales y modos de actuación a determinado nivel en primero, segundo, tercero y cuarto años. Por tanto, al trabajar la interdisciplinariedad es importante desarrollar, desde cada una de las disciplinas y asignaturas, aquellas potencialidades a las que se llamaron nodos de articulación, o sea, donde están aquellos núcleos de contenido considerándose que están implícitos conocimientos, habilidades y valores asociados a ellos.

Cuando se habla de interdisciplinariedad se debe de hablar aunque sea esencialmente del contenido en cuanto a conocimientos, se debe ver la habilidad asociada y los valores asociados, ahora si es otra disciplina puede ser que la esencia esté en los valores, pero tiene que ver el conocimiento asociado y la habilidad asociada, porque esa es una triada que no se debe ver independientemente.
La interdisciplinariedad desarrollada en todos los niveles de enseñanza ofrece oportunidades para solucionar problemáticas en las disciplinas y asignaturas en función de la retención docente, en la medida en que permita la colaboración, contribuya a la motivación y al aprendizaje integral constante, como por ejemplo "… una posibilidad basada en la enseñanza integrada, es decir, se hace una propuesta fundamentada en la interdisciplinariedad entre materias académicas." [5].

El desempeño con el uso de la interdisciplinariedad no solo como relaciones entre disciplinas, sino también interrelaciones que generan síntesis, que parte de la existencia de sistemas complejos que generan una forma de organización científica de trabajo integrado, donde el conocimiento se mueve en la dialéctica entre disciplinariedad e interdisciplinariedad, la primera como punto de partida y la segunda como totalizadora; permite alcanzar el nivel que se exige de profesionalización en los planes de estudio E, en correspondencia con la integración del ciclo de formación en cuatro años, con un mayor reflejo de la integración de la formación, fundamentación y especialización, desde las características contextuales existentes.

Después de realizar este análisis se asume como definición de interdisciplinariedad, "…cualquier relación entre dos o más disciplinas o asignaturas, que puede tener varios niveles, así como el intercambio recíproco y la comunicación amplia entre los cambios del saber que la componen…" [6]; teniendo en cuenta su amplitud en cuanto a las relaciones interdisciplinarias que pueden darse entre varias disciplinas y/o asignaturas contribuyendo a la integración.

La necesidad de la aplicación de la interdisciplinariedad en la formación universitaria está dada, por la necesidad de actualización práctica de los procesos y fenómenos, con mayor énfasis en el desarrollo de la creatividad, así como acentuación de la formación general e integral; planteando como uno de sus objetivos esenciales, la formación de los futuros profesionales; por lo que la retención docente es vital y las estrategias y actividades interdisciplinarias desarrolladas también tienen que tener entre sus objetivos este.

Desde esta perspectiva y después de este análisis se evidencia la significatividad de la interdisciplinariedad, para la práctica del propio proceso Docente Educativo. En este punto tener en cuenta que una concepción ajustada al contexto y con el uso de la interdisciplinariedad, puede contribuir decisivamente a la retención tanto escolar como docente.

## 4. CONTEXTUALIZACIÓN, INTERDISCIPLINARIEDAD Y RETENCIÓN

"El mundo de hoy impone al hombre de nuestros días el enorme reto de prepararse para enfrentar una sociedad globalizada, donde la ciencia y tecnología se desarrollan vertiginosamente con una tendencia a marginar al ser humano como sujeto y centro de su atención." [7] ¿Se prepara el mundo y se actúa en consecuencia con este planteamiento? En consideración de los autores, sí lo hace; y se debe seguir trabajando en este sentido, razón por la cual concebir un proceso docente educativo desde cualquier realidad, es un reto.

Un reto que en los tiempos actuales plantea que debe trabajarse para que la educación no sea un privilegio y que se desee tenerla, acceder a ella e impartirla.
Las realidades y sus cambios han propiciado la evaluación y adaptación desde la creación de estrategias y la reelaboración de las teorías que sustentan las mismas. En el área educativa aplicar mecanismos y herramientas que contribuyan a la concepción de estrategias y vías que permitan a la educación desde la interdisciplinariedad formar a las futuras generaciones de jóvenes y también a los educadores, también es un desafío.

En función de esto se han desarrollado disímiles interpretaciones y planteamientos a favor y en contra, pero que evidencian la importancia del tema, en la medida en que, por ser el proceso formativo, en general un ente multifactorial, y además inherente a la humanidad, atañe e involucra a las sociedades.
En correspondencia con la significación en el ámbito educativo del ciclo básico su implementación en contextos americanos trae consecuencias que pudieran no ser generales, pero ello no va en detrimento de su marcada importancia, en la medida en que son variados los criterios para las concepciones educativas. Por ejemplo, en Uruguay se ha dado una tendencia a la correspondencia entre el nivel socioeconómico y la culminación de estudios, relacionada en este contexto con la significatividad del ciclo básico. Lo que evidencia como desde la propia concepción de los planes de estudio se tiene en desventaja este elemento, lo que contribuye a la poca retención escolar.

Esta es una de las consecuencias relacionadas con el ciclo básico referidas desde variados aspectos a la motivación, al trabajo con las disciplinas y asignaturas, la interconexión con el trabajo extracurricular y todas las influencias educativas a las que los estudiantes están expuestos en el proceso formativo.
También es importante reflexionar en torno a cómo estos elementos afectan no solo a la retención escolar, sino que también la concepción de la educación tiene que tener en cuenta al otro sujeto determinante del proceso: el profesor; y por ejemplo en este elemento su nivel socioeconómico podría contribuir a su poca superación y la satisfacción de sus necesidades básicas como individuo, lo que derivaría en sus capacidades y aptitudes para mantenerse como docente.

Debe destacarse también que, aunque es relacionado en algunas investigaciones la deserción, retención, el abandono escolar y la calidad del proceso docente educativo; esta relación puede no ser directamente proporcional; debido a que confluyen muchos más factores, aunque estos pueden ser importantes si se intenciona el trabajo coherentemente con los ejercicios propuestos desde la concepción interdisciplinaria.
En todas las instituciones del país se trabaja en función de "… la formación de un profesional capaz de interpretar y asimilar los avances tecnológicos que en lo fundamental se desarrollan bajo la fuerte presión

que ejerce el proceso de perfeccionamiento de la Educación Superior…"[8]; siempre encaminado al aporte a la sociedad de un profesional que contribuya a la solución de las crecientes problemáticas.
"La formación integral se comprende como un estilo educativo centrado en el desarrollo de las dimensiones humanas, que debe ser abordado por la educación superior." [9]. Es preciso acotar que en el contexto del ciclo básico, destacado fundamentalmente en Cuba, confluye el llamado Currículo Propio y el Currículo Básico, compuesto por Ciencias Básicas, Ciencias Naturales; Ciencias Humanísticas y Sociales. Estas clasificaciones varían en consecuencia con las especificaciones de los perfiles de estudio, pero por lo general se respetan los principios del sistema nacional educativo.

A nivel internacional el desempeño de los procesos en el nivel superior de formación ha seguido un modelo tradicional en algunos aspectos, pero la innovación y transferencia tecnológica, fundamentalmente en las comunicaciones, ha marcado pautas importantes en el cambio de paradigmas educativos.

Hoy se está hablando de integrar el conocimiento desde la interdisciplinariedad en función de la realidad y la práctica social, sin olvidar el impacto importante que tienen las tecnologías de la información y las comunicaciones; incluso con el desarrollo de los juegos digitales.

Es también de destacar que la incidencia, por tanto, positiva de la interdisciplinariedad en el contexto educativo, permite el desarrollo de la integración desde la perspectiva formativa, y siendo consecuentes su desarrollo en el ciclo básico es necesario y evidente en tanto en este último se comienza a formar el futuro profesional.

## 5. ALGUNAS ACCIONES

En función de la retención y con el uso de la interdisciplinariedad en la Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, de Cuba, se desarrollan variadas acciones.
Desde la concepción de la educación única en el nivel superior, bajo el amparo de una concepción de perfil amplio, con una sólida fundamentación científica, social y humanista: bajo también los análisis contextuales actuales está desarrollándose un proyecto de investigación que tiene como objeto de estudio la Retención escolar.

Se han desarrollado varias investigaciones desde estudios bibliográficos, aplicación de instrumentos, realización de actividades metodológicas, utilización de las redes sociales en función de este objetivo.
Como parte de estos estudios se han realizado acciones para propiciar la interdisciplinariedad en el ciclo básico de formación de nuestras carreras, como vía para enfrentar el fracaso escolar y la deserción en los dos primeros años de las carreras que es donde prioritariamente se desarrollan las asignaturas básicas y generales. Entre las acciones se encuentran las siguientes: Realización de trabajo docente-metodológico fundamentado en la cooperación y colaboración entre colectivos de diferentes asignaturas y disciplina para compartir objetivos, contenidos y métodos de enseñanza en el ciclo. Identificación y elaboración de la malla curricular de las asignaturas impartidas desde el ICB, donde se resaltan sus vínculos y relaciones en función del fortalecimiento de su influencia formativa. Transmitir los métodos de pensamiento de la filosofía, la economía y la historia en la solución de los problemas ingenieriles de ciencia y tecnología.

Promover la idea de la compatibilización con los problemas de la defensa en todas las soluciones ingenieriles. Reforzar actividades extracurriculares con interés de integración. Foros, Competencias de conocimiento entre facultades (primer y segundo año), Investigación Formativa, etc.

Introducir una asignatura integradora de contenidos de todas las asignaturas a final de segundo año (evaluar si sistemas de ingenierías o Fundamentos de las soluciones de la ingeniería). Integrar nuestros objetivos a los objetivos de las prácticas que se realizan en primer y segundo año. En el caso de las ciencias sociales en otros años de las carreras.

Vincular las actividades de extensión universitaria y la participación en proyectos comunitarios y de desarrollo local, de alumnos de los primeros años con el objetivo de que integren y apliquen lo aprendido en nuestras asignaturas. Abordaje de los contenidos particulares a partir de los nodos conceptuales

interdisciplinarios identificados para el ciclo. Introducción en los sistemas de evaluación de las asignaturas de trabajos integradores para el cierre de las asignaturas y disciplinas. Proyectos extracurriculares que pudieran derivar en proyectos de investigación y formar parte de los trabajos de diploma. Estructuración de un sistema de tareas integradoras interdisciplinarias para cada año de estudio.

Diseño de visitas a museos, centro laborales y comunidades que permitan integrar los objetivos y contenidos de las asignaturas del año. Aprovechamiento de los recursos soportados en las TIC y en el uso de las redes sociales para el establecimiento de las relaciones entre las asignaturas del ciclo básico. Desarrollo de dos talleres científicos metodológicos, a nivel de ICB, para el fortalecimiento de las relaciones interdisciplinarias.

Establecer actividades curriculares y extracurriculares de concreción de las estrategias curriculares previstas en los planes de estudio. Aún puede ser prematuro establecer una relación causal directa entre estas acciones y su reflejo en la disminución del fracaso escolar y el incremento de la retención en los primeros años de las carreras, mucho más en las complejas situaciones en que realizamos hoy nuestro PEA, pero indudablemente se ha logrado revelar a la interdisciplinariedad como una necesidad y una potencialidad de trabajo en el ICB que redunda en una mayor fortaleza de las influencias formativas.

## 6. CONCLUSIONES

El trabajo formativo es una tarea de toda la sociedad por lo que implica que todos estemos involucrados. Pero directamente en la formación se debe seguir trabajando en función de alcanzar disminuir el fracaso escolar por problemas docentes en las asignaturas básicas y generales de las carreras de ingeniería y de este modo contribuir a aumentar los niveles de retención.

Es importante perfeccionar el trabajo metodológico para incrementar la retención del docente puesto que si no se forman y permanecen los docentes en esta actividad no es posible formar a las futuras generaciones.

El fortalecimiento de la interdisciplinariedad, desde sus variadas acepciones es posible y factible como vía para aumentar los niveles de retención.

## REFERENCIAS

1. ARANA, J. Seminario ¿Es posible la interdisciplinariedad? Teoría y práctica. Universidad de Sevilla. Pamplona. PDF unillanos.edu.cu 2001
2. FREIRE, E. La planeación interdisciplinar en la formación del profesional de la educación. Maestro y Sociedad. Maestroysociedad.uo.edu.cu 2018
3. LONGCHAMP-GES, N., La interdisciplinariedad: algunas consideraciones desde la carrera Licenciatura en Educación Preescolar. Maestro y Sociedad. Maestroysociedad.uo.edu.cu 2018
4. LENOIR, Y. Interdisciplinariedad en educación: una síntesis de sus especificidades y actualización. Interdisciplina I, núm.1 Universidad de Sherbrooke, Quebec, Canadá. 2013
5. CORRIEDO, A.; CECHINI, J. A. ¿Cómo aumentar la actividad física diaria dentro del horario escolar? Ejemplo de un proyecto interdisciplinar entre Educación Física y matemáticas. Journalof Sport and Health Research. 2019
6. DE LA RÚA, M. Estrategia curricular interdisciplinaria para la enseñanza de las ciencias sociales en CFOM. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógicas. Cuba. 2000
7. FREIRE, E. La planeación interdisciplinar en la formación del profesional de la educación. 2018
8. CASTAÑO DE ARMAS, R. Concepción didáctica para la disciplina contabilidad en el ciclo básico de la carrera contabilidad. Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación. 2018
9. RODRÍGUEZ, B. Interdisciplinariedad, aproximación contextual y algunas implicaciones para la educación inclusiva. CURIGINAL. 2021.

## RECONOCIMIENTOS

**Los autores desean agradecer a todo el colectivo de trabajo del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad tecnológica de La Habana que tanto hace por el desarrollo favorable del proceso formativo.**

**Sobre los autores**

**Julia Milexy Flores López** es Máster en Ciencias, con categoría docente Asistente. Actualmente es docente de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, impartiendo las asignaturas del Ciclo Básico, fundamentalmente las referidas a las Ciencias Sociales. Se desempeña como Subdirectora Docente de la Dirección de Historia y Marxismo-Leninismo, área que forma parte del Instituto de Ciencias Básicas de esta institución, al cual pertenece y contribuye activamente. Trabaja arduamente en proyectos de investigación, así como se forma en el Centro de Educación Avanzada de la universidad en con vistas a título de Doctor en Ciencias.

**Manuel de Jesús de la Rúa Batistapau** es Doctor en Ciencias Pedagógicas, con categoría docente Titular. Actualmente es docente de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, impartiendo las asignaturas del Ciclo Básico, fundamentalmente las referidas a las Ciencias Sociales. Hasta hace unos pocos meses era el Director General del Instituto de Ciencias Básicas de esta institución, al cual pertenece y contribuye activamente. Trabaja arduamente en varios proyectos de investigación, así como forma parte de la planta de prestigiosos profesores del Centro de Educación Avanzada de la universidad en la labor de formación, también, de las futuras generaciones de máster y doctores.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INTERDISCIPLINARIEDAD EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS

**Tania Céspedes Bordallo[1], Julia Milexy Flores López[2], Diana Rosa García Hernàndez[3]**

[1]Dirección General del Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Cujae. Calle 114 e/ Rotonda y Ciclo Vía, Marianao, La Habana.[2]Dirección Historia y Marxismo-Leninismo. Universidad Tecnológica de la Habana ".
[3]Depertamento Enseñanza Militar. Universidad Tecnológica de la
[1]taniac@icb.cujae.edu.cu
[2]milexyfloreslopez@gmail.com
[3]dianarosagh@tesla.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La formación del profesional de nivel superior en Cuba garantiza la preparación integral de los estudiantes universitarios. Esta se concreta en una sólida formación científico-técnica, humanista y de valores ideo políticos y éticos. A partir de lo anterior se estructuran los currículos universitarios. En el currículo base se ubica Preparación para la Defensa (PPD), disciplina de formación general de carácter obligatorio para todas las carreras del país y con un único programa, que responde a la lógica interdisciplinaria de las ciencias militares, políticas, sociales, económicas, y que articula con otras de la profesión a lo largo de la carrera. La interdisciplinariedad es una condición necesaria para establecer el vínculo con el modelo del profesional de la carrera, lo que asegura el enfoque formativo del proceso docente educativo de la disciplina a través de los nodos interdisciplinarios, las tareas integradoras, la práctica laboral, las investigaciones con enfoque interdisciplinario y los ejercicios de culminación de estudios. Desde los planes de estudio de las ingenierías que se estudian en la Cujae, también es una exigencia que en los colectivos de año se propicie el enfoque interdisciplinario de la disciplina PPD con las restantes disciplinas y asignaturas de la carrera. De ahí que el objetivo del presente trabajo sea fundamentar la importancia de esta implementación de las relaciones interdisciplinarias de esta disciplina con otras en la formación de los ingenieros y arquitectos.

**PALABRAS CLAVE:** Preparación para la Defensa, Interdisciplinariedad, Formación

## INTERDISCIPLINARITY IN THE TRAINING OF ENGINEERS AND ARCHITECTS

## ABSTRACT

The training of higher-level professionals in Cuba guarantees the comprehensive preparation of university students. It is embodied in a solid scientific-technical, humanistic, and ideopolitical and ethical values training. Based on the above, university curricula are structured. The basic curriculum includes preparation for Defense, a general training discipline of a mandatory nature for all careers in the country and with a single program, which responds to the Interdisciplinarity logic of military, political, social and economic sciences and which articulates with others in the profession throughout the career. Interdisciplinarity is a necessary condition to establish the link with the model of the career professional, which ensures the formative approach of the educational teaching process of the discipline through the interdisciplinary nodes, integrative tasks, work practice, research with an interdisciplinary approach and the exercises of completion of studies. From the engineering curricula that are studies at CUJAE, it is also a requirement that the year´s groups promote the Interdisciplinarity approach of the PPD disciplines and subjects of the courses. Hence, the objective of this work is to substantiate the importance of this implementation of the interdisciplinary relationships of this discipline with others in the training of engineers and architects.

**KEY WORDS:** Defense Readiness, Interdisciplinarity, Training

## 1. INTRODUCCIÓN

La formación del profesional de nivel superior en Cuba garantiza la preparación integral de los estudiantes universitarios. Esta se concreta en una sólida formación científico-técnica, humanista y de valores ideopolíticas y éticos; cuyo resultado se muestre en profesionales revolucionarios que, logren un desempeño exitoso en su esfera profesional, en un contexto determinado [1,2]. Dicha formación se desarrolla de forma curricular y extracurricular, en las que se integran los procesos docente, investigativo y extensionista (entre las que se encuentran las tareas de alto impacto) [3].

A partir de lo anterior se estructuran los currículos universitarios, por la existencia de tres tipos de contenidos curriculares (base, propio y optativo/electivo). En el currículo base se ubica "Preparación para la Defensa" (PPD), disciplina de formación general de carácter obligatorio para todas las carreras del país y con un único programa, que contribuye desde lo curricular y lo extracurricular al desarrollo de cualidades de la personalidad del estudiante y al logro de los objetivos del plan de estudio [4].

Preparación para la Defensa es una disciplina docente que responde a la lógica interdisciplinaria [5] de las ciencias militares, políticas, sociales, económicas, y que articula con otras de la profesión a lo largo de la carrera. En ella se integran aspectos didácticos con los modos de actuación del profesional, al arrojar como resultado la organización de sistemas conceptuales, habilidades y valores relativos [4] a la seguridad y defensa del país, que se presentan en la actividad profesional o son objeto de trabajo de la profesión.

Atendiendo a estas exigencias el colectivo de disciplina PPD de la Cujae despliega acciones que propicien la implementación de las relaciones interdisciplinarias en el Proceso Docente Educativo. De ahí que el objetivo del presente trabajo sea fundamentar la importancia de esta implementación de las relaciones interdisciplinarias de esta disciplina con otras en la formación de los ingenieros y arquitectos.

## 2. LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LA FORMACIÓN DE PROFESIONALES

La Interdisciplinariedad, en su sentido amplio, es cualquier tipo de relación que se establece entre dos o más disciplinas, por lo que puede manifestarse en diferentes niveles de relación: intra disciplinariedad, multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad. En un sentido estrecho, es la forma de articulación entre dos o más disciplinas, en la cual existe intercambio recíproco y comunicación amplia entre los campos del saber (metodológico, conceptual y axiológico) que las componen [6].

Desde una perspectiva instrumental, la interdisciplinariedad resuelve problemas de la existencia cotidiana con base en prácticas particulares. En la formación de profesionales estas relaciones se llevan a cabo a través de la planificación y ejecución de actividades docentes interdisciplinarias, del trabajo por proyectos estudiantiles integradores y de evaluaciones integradoras [7].

La implementación de las relaciones interdisciplinarias se basa en los principios siguientes:

Pluralismo epistemológico: se admite como válido no sólo el conocimiento científico y lo natural, tal como pregona el positivismo, sino también el proveniente de otros espacios: el antropológico, histórico, legislativo, psicosocial y teológico, todos legítimos y equivalentes en importancia y valor.

Discontinuidad: no se puede establecer un orden lógico y jerarquizante entre los diferentes modos de conocimiento, el proceso constructivo no se realiza a través de escalas o niveles rígidos. Cada disciplina posee sus propias fases y en la medida que tenga claridad en ellas podrá relacionarse y articularse con otras.

Interdependencia: las ciencias, por distintas que ellas sean, pueden establecer nexos de articulación y ligación mutua

Integración teórica: además del estilo de cada disciplina para describir, explicar, comprender e interpretar la realidad, la interdisciplinariedad crea una instancia que posibilita la interpretación conceptual conjunta, comprensiva y descriptiva de esa realidad estudiada [7].

Entre las formas más comunes de implementar las relaciones interdisciplinarias se encuentran la identificación de los nodos conceptuales y el empleo de métodos de enseñanza [6,7] estos son: Métodos de situaciones, Métodos de discusión, Método de Proyecto, Métodos de simulación, Juegos de roles y Modelación previa e instantánea.

La disciplina PPD se estructura en tres núcleos de conocimientos: Seguridad Nacional, Defensa Nacional y los contenidos de las disciplinas del plan de estudio que se vinculen a la PPD; este último núcleo puede estar contenido en una asignatura o disperso en las otras disciplinas del plan de estudio. Esta estructura se complementa con las actividades de la EPMI, del TPI y de la preparación de las MTT. Está presente en todas las modalidades de estudio de las carreras universitarias. Su nivel de generalidad exige que su diseño didáctico sea interdisciplinario y que esté en correspondencia con el modelo del profesional [8,9].

La interdisciplinariedad es una condición necesaria para establecer el vínculo con el modelo del profesional de la carrera, lo que asegura el enfoque formativo del proceso docente educativo de la disciplina a través de los nodos interdisciplinarios, las tareas integradoras, la práctica laboral, las investigaciones con enfoque interdisciplinario y los ejercicios de culminación de estudios.

Desde los planes de estudio de las ingenierías que se estudian en la Cujae, también es una exigencia que en los colectivos de año se propicie el enfoque interdisciplinario de la disciplina PPD con las restantes disciplinas y asignaturas de la carrera [10,11,12,13,14].

## 3. LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO DEL PERFIL ELÉCTRICO DESDE LA DISCIPLINA PREPARACIÓN PARA LA DEFENSA

Como resultado de la interdisciplinariedad están las relaciones interdisciplinarias las cuales expresan los puntos de encuentro y cooperación entre las disciplinas y sus mutuas influencias [7].
Estos puntos de encuentro y cooperación se establecen a través de aquellos contenidos de PPD que se vinculan con el plan de estudio. Estos contenidos son:

- Seguridad Internacional: del Derecho Internacional Humanitario, las violaciones y los conflictos. La lucha de poder y el papel de la ONU en la seguridad internacional. Problemas globales que afectan la seguridad internacional.
- Seguridad regional: la integración de América Latina, las relaciones internacionales. Estrategia de seguridad nacional de los EEUU y su impacto en la seguridad internacional, regional y en Cuba.
- Seguridad Nacional Cubana: principios y fundamentos de la seguridad nacional cubana, poderío nacional, intereses y objetivos de la seguridad nacional, riesgos, amenazas y agresiones a la seguridad nacional, desafíos de la seguridad nacional, política agresiva de EEUU hacia Cuba y su impacto.
- Defensa civil: fundamentos y estructura de la defensa civil cubana, sistema de medidas de la defensa civil cubana, desastres naturales, tecnológica y sanitaria, reducción del riesgo de desastre.
- Defensa nacional: fundamentos de la defensa nacional cubana, estructura, formas de agresión, guerra no convencional, sistema defensivo territorial, preparación del personal, del teatro de operaciones militares y de la economía para la defensa, compatibilización, sistema de demandas, reservas materiales [15].

Las relaciones interdisciplinarias que se establecen a partir de estos contenidos son en dos direcciones: la que se establece con las disciplinas del ciclo básico y las que se establece con las disciplinas del currículo propio. Esto permite el desarrollo, en los estudiantes, de la capacidad de desempeñar su actividad profesional y resolver los problemas profesionales que se le presenten con una visión de seguridad y defensa.

Estas relaciones van a facilitar el vínculo de los contenidos con la vida, el incremento de la motivación por la disciplina y la activación del proceso cognitivo de los estudiantes, así como el trabajo en equipo tan necesario en los ingenieros y arquitectos.

En el caso de las relaciones interdisciplinarias que se establecen con las disciplinas del ciclo básico (Filosofía Marxista-Leninista, Historia de Cuba, Educación Física, Matemática Superior, Física General, Química General y Dibujo) tiene sus particularidades. Específicamente las relaciones con Filosofía Marxista-Leninista e Historia de Cuba, que son de la misma área del conocimiento, es más estrecha; sus contenidos se constituyen soporte para la comprensión de los contenidos de PPD, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Relaciones interdisciplinarias de Filosofía, Marxista-Leninista e Historia de Cuba con Preparación para la Defensa.

| | |
|---|---|
| Historia de Cuba | Pensamiento martiano y de Fidel<br>Relaciones EEUU-Cuba<br>Unidad del pueblo en torno al PCC<br>El socialismo en cuba<br>Política científica y tecnológica<br>Acciones neoliberales y subversivas |
| Filosofía<br>Marxismo -Leninismo | Ideología y eticidad de la revolución cubana<br>Sujetos y actores sociales en la actualidad, revolución y progreso<br>El ideal comunista y socialista<br>Teoría valor-trabajo<br>Imperialismo<br>Desarrollo-subdesarrollo<br>Globalización y neoliberalismo<br>Socialismo<br>Documentos del PCC<br>Conflictos e integración política<br>Discriminación<br>Geopolítica e integración regional<br>Dominación, hegemonía y centros de poder<br>Fidel y la defensa de los estados<br>Derecho internacional<br>Cuba y las relaciones internacionales |

Referente a las relaciones interdisciplinarias que se establece con las disciplinas Educación Física, Matemática Superior, Física General, Química General y Dibujo, están en correspondencia de la aplicación de sus contenidos a la actividad profesional de la ingeniería. Como por ejemplo la preparación física de las MTT, la preparación del territorio como teatro de operaciones militares, el empleo de químicos en la guerra, el cuidado y protección al medio ambiente, entre otros.

Particularmente las relaciones interdisciplinarias con el currículo propio de las carreras de ingeniería se establecen a través de los contenidos que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Relaciones interdisciplinarias de las disciplinas del currículo propio de las carreras de ingeniería con Preparación para la Defensa.

| Carreras | Currículo propio | Contenidos de las disciplinas |
|---|---|---|
| Perfil eléctrico | | |
| Ingeniería Biomédica<br><br>Ingeniería Automática | Ciencias empresariales | Actores de la economía nacional<br>Papel del ingeniero en la economía<br>Dirección y gestión empresarial<br>Planificación y contratación económica<br>Presupuesto |

| | | |
|---|---|---|
| Ingeniería Telecomunicaciones y Electrónica<br><br>Ingeniería Eléctrica<br><br>Ingeniería Informática | | Consecuencias de los incumplimientos de los contratos<br>Sistema de control interno<br>Daños y perjuicios económicos al patrimonio público<br>Generación de alternativas de las soluciones técnicas<br>Proyectos de inversiones |
| | Circuitos eléctricos | Circuito eléctrico<br>Análisis y diseños de circuitos eléctricos<br>Sistema de medición<br>Empleo de instrumentos eléctricos y electrónicos de medición<br>Evaluación de errores en los resultados de las mediciones |
| | Electrónica | Amplificadores, reguladores de voltaje, generadores y conformadores de ondas, circuitos, bloques lógicos<br>Diodos y transistores, fuente de alimentación lineal<br>Microcontroladores, semiconductores, convertidores |
| | Programación | Lenguaje de alto nivel de actualidad<br>Aplicaciones informáticas visuales<br>Programación |
| | | Tecnologías de cómputo y emergentes<br>Algoritmo para la solución de aplicaciones<br>Programación orientada a objetos en lenguaje C++<br>Sistemas computacionales y operativos<br>Empleo de códigos para el desarrollo de aplicaciones<br>Algoritmos paralelos y distribuidos<br>Rendimiento de las aplicaciones desarrolladas |
| | Instrumentación Biomédica | Empleo de la instrumentación biomédica y electrónica<br>Seguridad radiológica<br>Equipos médicos y biomédicos |
| | Instrumentación | Metrología, mediciones, medios de medición, procesamiento de datos, sistemas automatizados, autómatas programables, automatización industrial, comunicación industrial e inalámbrica |
| | Bioingeniería | Ética del empleo del correo electrónico, intranet e internet<br>Instalación y funcionamiento de hospitales, centros de investigación y departamentos biomédicos<br>Investigaciones asociadas a proyectos ramales nacionales internacionales e I+D<br>Sistemas biomédicos |
| | Ciencias Básicas Biomédicas | Investigaciones biomédicas en cuanto a virus, reino animal, biodiversidad, el hombre y genética |
| | Señales y sistemas | Sistemas biomédicos<br>Sistemas, redes y servicios telemáticos en el entorno hospitalario<br>Seguridad en las redes de información biomédicos |
| | Bio-rehabilitación | Empleo de biomateriales, de la biomecánica<br>Rehabilitación terapéutica |
| | Sistema de control | Sistemas lineales invariantes en el tiempo, sistemas no lineales |

| | | |
|---|---|---|
| | | Termodinámica<br>Maquinas eléctricas<br>Automatización |
| | Sistema de computación | Microprocesadores y microcontraladores<br>Sistemas de entrada/salida |
| | Automática | Análisis de la información cientifico-tecnica<br>Estado actual y perspectivo de la automática<br>Materiales y componentes eléctricos y electrónicos<br>Proyecto de desarrollo de programas, sistemas digitales, de instrumentación y de control<br>Normas cubanas relacionadas con la automática<br>Metodología de proyectos de investigación-desarrollo y de investigación científica<br>Trabajo en equipo |
| | Fundamentos de las comunicaciones | Señales, series y transformadas<br>Procesos estocásticos y ruido<br>Potencia y energía<br>Sistemas lineales e invariantes<br>Teoría de la información<br>Modulaciones |
| | Redes de telecomunicaciones | Arquitectura, gestión y diseño de redes<br>Sistema de transmisión<br>Fundamentos de la comunicación<br>Virtualización<br>Redes de acceso, móviles y transporte<br>Control y señalización<br>Seguridad de las telecomunicaciones |
| | Sistema de radiotelecomunicaciones | Ondas electromagnéticas, terrestres, de radio, ionosférica, guiadas y rectangulares<br>Radiación y recepción de ondas de radio<br>Agrupaciones de antenas<br>Radiadores elementales lineales y en forma de espiras y radiadores prácticos<br>Radiocomunicación, sistema de radiotransmisor y radiorreceptor<br>Televisión digital |
| | Telecomunicaciones y electrónica | Desarrollo histórico-social de la carrera y principios éticos<br>Normas y regulaciones del país<br>Vínculo con la producción y los servicios<br>Utilización de sensores, transductores y circuitos<br>Diseño construcción y explotación de circuitos y sistemas electrónicos<br>Redes y servicios de telecomunicaciones<br>Impacto ambiental causado por la tecnología<br>Valoración económica |
| | Infraestructura de los sistemas informáticos | Redes de computadoras<br>Seguridad de las tecnologías, infraestructuras y sistemas informáticos |
| | Inteligencia computacional | Probabilidades<br>Inteligencia artificial<br>Investigaciones de operaciones |
| | Ingeniería y gestión de software | Programación<br>Historia de la informática<br>Modelos de datos<br>Modelo servidor-cliente en la web |

| | | |
|---|---|---|
| | | Ingeniería y calidad de software |
| | Ingeniería eléctrica | Aplicaciones de la electricidad<br>Sistema electro energético nacional cubano<br>Efecto de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano<br>Lámparas incandescente, fluorescente y LED<br>Instalaciones eléctricas<br>Aisladores, extinción del arco eléctrico<br>Sistema de puesta a tierra |
| | Generación de electricidad | Esquemas de generación de electricidad<br>Centrales eléctricas |
| | Sistema electromecánico | Características constructivas del transformador, de las maquinas asincrónicas y de las maquinas sincrónicas<br>Conversión de energía electromecánica<br>Mecánica del accionamiento eléctrico |
| | Sistema electro energético | Sistema electro energético cubano<br>Consumidor eléctrico<br>Líneas y conductores<br>Evaluación del sistema de potencia<br>Equipos primarios y secundarios de protecciones eléctricas<br>Redes de transmisión y distribución |

Una vez identificados los nodos interdisciplinarios, se requiere del empleo de métodos de enseñanza, que faciliten su aplicación en el proceso docente educativo.

Se requiere del empleo en clases (conferencias, clases prácticas, seminarios) de situaciones reales que se presenten en la esfera de actuación profesional y que tengan un impacto en la seguridad y defensa nacional, en la cual para su solución requieran integrar los conocimientos adquiridos en PPD y otras disciplinas. El empleo de estas situaciones puede ser al inicio de la clase para darle solución al final de la misma, ejemplificando un contenido de PPD o como trabajo extraclase, independiente o grupal. Al emplearlo como trabajo extraclase se puede combinar con el método de discusión, método de la ciencia o el método histórico; posteriormente será discutida la situación en otra clase, donde los estudiantes plantean el problema, hacen referencia a la información encontrada, muestran diferentes vías y formas de solución para finalmente plantear la solución y argumentar su decisión.

El método de discusión se puede emplear en las conferencias, con la finalidad que sean los propios estudiantes los que aborden y expliquen el contenido. Se divide el grupo en equipos, cada uno desarrolla un tema que le va a dar el profesor y luego el equipo lo expone para el resto del grupo, el rol del profesor en esta clase es de orientador y moderador para velar por la lógica del contenido. Este método es factible al abordar los fundamentos de la Seguridad y la Defensa en relación con políticas y leyes que establecen el desarrollo de su modo de actuación en la esfera profesional, para que evidencien la alineación de su modo de actuación con los intereses y objetivos de la seguridad y la defensa del país.

Otra forma de implementación de las relaciones interdisciplinarias es el empleo del método de proyecto, en el que el estudiante toma una mayor responsabilidad con su propio aprendizaje. Se puede desarrollara través de tareas integradoras con las disciplinas con las que se coincide en el periodo. En la que los estudiantes realicen una misma tarea, con la que integren conocimiento y requiera del trabajo en equipo. Puede constituir una evaluación dentro del sistema evaluativo, dependiendo de la magnitud, sistemática, parcial o final. Este método se conjuga con el método de la ciencia.

También se puede integrar la disciplina a los proyectos integradores del año, como un aspecto a desarrollar en los mismos, y que constituya una evaluación. Este puede extenderse hacia su inclusión

permanente y obligatoria en los ejercicios de culminación de estudio, como un requisito a cumplir, lo que los va entrenar en el proceso de compatibilización.

Un ejemplo de la aplicación de este método está en la realización de seminarios integradores en la que los estudiantes desarrollan el tema de su proyecto de año desde un enfoque de seguridad y defensa. El empleo e impacto de su proyecto de año en el logro de los intereses y objetivos de la seguridad (proceso de informatización de la sociedad cubana, proceso de automatización de la producción y los servicios, reducción del riesgo de desastre, respuesta y enfrentamiento a las amenazas y agresiones al país, enfrentamiento a la guerra no convencional y la subversión, entre otros).

Una salida a la realización de estos trabajos es su presentación en las jornadas científicas de la facultad y en los Talleres de Educación Patriótico Militar e Internacionalista.

Se pueden realizar visitas a centros de la producción y los servicios, donde puedan evidenciar las tareas de la defensa que le son asignadas a los ingenieros, la organización del centro para la defensa, el impacto de la labor que realiza en la seguridad nacional. También se puede visitar museos u otros lugares que permitan visualizar la relación entre las disciplinas y de estas con el modelo del profesional. Ejemplo memorial de la denuncia donde no solo se establecieron relaciones interdisciplinarias con las disciplinas de ciencias sociales, sino que se aportó al TPI y la EPMI, así como los estudiantes de automática pudieron visualizar el empleo de la tecnología en función de la seguridad cultural, el rescate de la identidad, también apreciaron el impacto de las agresiones de los gobiernos de EEUU en su esfera de actuación profesional.

También se requiere de un trabajo cooperado entre los colectivos de disciplina y de estos con los colectivos de carrera en que las relaciones interdisciplinarias se conciban desde los objetivos de los programas de estudios. Así como un trabajo metodológico interdisciplinar en el que se planifique, organice y ejecute el proceso docente educativo con un enfoque interdisciplinario.

## 4. CONCLUSIONES

La implementación de las relaciones interdisciplinarias en la Preparación para la defensa en la formación de ingenieros y arquitectos en una necesidad.

Entre sus fundamentos se encuentra que esta disciplina está presente en todas las modalidades de estudio de las carreras universitarias. Su nivel de generalidad exige que su diseño didáctico sea interdisciplinario y que esté en correspondencia con el modelo del profesional.

La interdisciplinariedad como condición necesaria para establecer el vínculo con el modelo del profesional de la carrera segura el enfoque formativo del proceso docente educativo de la disciplina a través de los nodos interdisciplinarios, las tareas integradoras, la practica laboral, las investigaciones. Por lo que la utilización de métodos adecuados contribuye decisivamente al desarrollo satisfactorio del proceso.

Estas actividades se manifiestan en discusiones, proyectos, seminarios y tareas integradoras.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todo el colectivo de trabajo del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad tecnológica de La Habana que tanto hace por el desarrollo favorable del proceso formativo.

## REFERENCIAS

1. DÍAZ-CANEL MM. Sistema de gestión del gobierno basado en ciencia e innovación para el desarrollo sostenible en Cuba [tesis de doctorado]. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas; 2021.

2. SABORIDO JR, Alarcón R. La integración de la Universidad: experiencias de Cuba. Revista Cubana de Educación Superior [internet]. 2018 [consultado 26 de octubre de 2021]; 37(3): 288-307. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142018000300017
3. MES. Resolución 47 Reglamento organizativo del proceso docente y de dirección del trabajo docente y metodológico para las carreras universitarias. Gaceta oficial No.129 Ordinaria de 2022 GOC-2022-1133-0129 [internet]. Cuba: Ministerio de Educación Superior, 2022 [consultado 24 de octubre de 2022]; Disponble en: https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-129-ordinaria-de-2022
4. MENA SILVA TA, López Calichs E, Silva Rojas LR. Una nueva mirada: sistema para el trabajo metodológico en disciplinas docentes complejas. Mendive, Revista de Educación [internet]. 2020 octubre – diciembre [consultado 13 de mayo de 2021]; 18(4): 923-939. Disponible en: http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1835
5. DÍAZ T. Modelo para el trabajo metodológico del proceso docente educativo en los niveles de carrera, disciplina y año académico en la Educación Superior [tesis de doctorado]. Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río. Grupo de estudios de didáctica de la Educación Superior; 1998.
6. BELL RODRÍGUEZ, R. F., Orozco Fernández, I. I., y Lema Cachinell, B. M. (2022). Interdisciplinariedad, aproximación conceptual y algunas implicaciones para la educación inclusiva. UNIANDES Episteme, 9(1), 101-116.
7. DE LA RÚA BATISTAPAU. El ICB y la interdisciplinariedad en las carreras de ingeniería y arquitectura. 2023
8. QUESADA ROMERO R. Transformaciones de la educación superior en Cuba y el modelo pedagógico de la disciplina preparación para la defensa. Congreso Universidad. Editorial Universitaria Félix Varela [internet]. 2014 [consultado 4 de julio de 2020]; III (2):1-15. Disponible en: http://revista.congresouniversidad.cu/index.php/rcu/article/view/591Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería Biomédica. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2017.
9. QUESADA ROMERO R. Fundamentos para contextualizar el Programa Básico General de la disciplina Preparación para la Defensa a las carreras del Plan E. Cuba: Departamento Enseñanza militar. Ministerio de Educación Superior; 2016 octubre 12.
10. MES. Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería Eléctrica. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2018.
11. Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2017.
12. MES. Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería Informática. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2017.
13. MES. Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería en Automática. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2017.
14. MES. Plan de estudio "E" Carrera Ingeniería Biomédica. Cuba: Ministerio de Educación Superior; 2017.
15. MES. Programa general de la disciplina Preparación para la Defensa para las carreras del curso diurno de cuatro años. Cuba, La Habana: Ministerio de Educación Superior; 2017.

**SOBRE LOS AUTORES**

Tania Céspedes Bordallo es Máster en Didáctica de las Humanidades, con categoría de Asistente. Actualmente es docente de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, impartiendo asignaturas del Ciclo Básico, fundamentalmente las referidas a las asignaturas de Preparación para la Defensa. Hasta hace unos pocos meses era la Subdirectora del Instituto de Ciencias Básicas de esta institución, actualmente es la Directora General, al cual pertenece y contribuye activamente. Trabaja arduamente en proyectos de investigación, así como forma parte del proyecto de doctorado del Centro de Educación Avanzada de la universidad formándose como futura Doctora en Ciencias de la Educación.

Julia Milexy Flores López es Máster en Ciencias, con categoría docente Asistente. Actualmente es docente de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, impartiendo las asignaturas del Ciclo Básico, fundamentalmente las referidas a las Ciencias Sociales. Se desempeña como

Subdirectora Docente de la Dirección de Historia y Marxismo-Leninismo, área que forma parte del Instituto de Ciencias Básicas de esta institución, al cual pertenece y contribuye activamente. Trabaja arduamente en proyectos de investigación, así como se forma en el Centro de Educación Avanzada de la universidad con vistas a título de Doctor en Ciencias de la Educación.

Diana Rosa García Hernández es Máster en Ciencias, con categoría docente Auxiliar. Actualmente es docente de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, impartiendo las asignaturas del Ciclo Básico, fundamentalmente las referidas a las asignaturas de Preparación para la Defensa. Se desempeña como Jefe del Departamento Enseñanza Militar área que forma parte del Instituto de Ciencias Básicas de esta institución, al cual pertenece y contribuye activamente. Trabaja arduamente en proyectos de investigación para el perfeccionamiento de la enseñanza de PPD en la formación del ingeniero, entre otros.

# LA "TAREA VIDA" Y SU TRATAMIENTO INTERDISCIPLINARIO EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL EN LA CUJAE

**Alberto Matos Guerra[1], Julia Milexy Flores López [2]**

1 Dirección de Investigación y Posgrado, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". 2 Departamento de Historia y Marxismo Leninismo, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"

1 amatos@icb.cujae.edu.cu
2 jflores@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La presente ponencia recoge la experiencia de los autores como profesores de la asignatura Estudios en Ciencias, Tecnología y Sociedad de la Universidad Tecnológica de la Habana, la misma está centrada en la Política Ambiental del Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático, con estudiantes de Arquitectura y de algunas ingenierías, guiados por la Estrategia Ambiental Nacional del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, (CITMA), y la Estrategia Ambiental del Ministerio de Educación Superior, (MES), y de la Institución, con el propósito de elevar la cultura ambiental de los futuros profesionales como parte de su formación integral; influir en su educación ambiental, y evaluar cómo ello ha de repercutir en su modo de actuación en correspondencia con los objetivos de la Tarea Vida y de la educación superior cubana. Se expresan a lo largo del trabajo momentos considerados importantes desde el punto de vista didáctico, que tal vez puedan enriquecer otras experiencias. Finalmente resaltar en la revisión bibliográfica se tuvo en cuenta el criterio de valiosos especialistas cubanos en el tema ambientalista.

**PALABRAS CLAVE.** Tarea Vida, futuro profesional, educación ambiental, cambio climático, interdisciplinariedad.

## THE "LIFE TASK" AND ITS INTERDISCIPLINARY TREATMENT IN PROFESSIONAL TRAINING AT THE CUJAE.

**ABSTRACT**

This paper collects the experience of the authors as professors of the subject Studies in Sciences, Technology and Society at the Technological University of Havana, it is focused on the Environmental Policy of the State to Confront Climate Change, with Architecture students. and some engineering, guided by the National Environmental Strategy of the Ministry of Science, Technology and Environment, (CITMA), and the Environmental Strategy of the Ministry of Higher Education, (MES), and the Institution, with the purpose of raising the environmental culture of future professionals as part of their comprehensive training; influence their environmental education, and evaluate how this has an impact on their way of acting in correspondence with the objectives of Task Life and Cuban higher education. Moments considered important from a didactic point of view are expressed throughout the work, which may perhaps enrich other experiences. Finally, it should be noted that the criteria of valuable Cuban specialists on environmental issues were taken into account in the bibliographic review.

**KEY WORDS**. Life Task, professional future, environmental education, climate change, interdisciplinarity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Tarea Vida o plan del Estado cubano para enfrentar al cambio climático, tiene un alcance multisectorial y multidisciplinar en el amplio sentido de las palabras, no se reduce a un organismo, organización o entidad, es de interés para todos los sectores de la población; desde esa realidad se centra el tratamiento didáctico como parte del proceso de formación de arquitectos e ingenieros en la Universidad Tecnológica de la Habana.

La experiencia presentada es resultado del abordaje de la temática desde la asignatura Estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad, (ECTS), conocida también como Problemas Sociales de las Ciencias y la Tecnología, que generalmente se ubica entre 3er y 4to años de los diferentes planes de estudio, caracterizada por el enfoque crítico de las consecuencias o problemas generados por el uso indiscriminado de los avances de la ciencia y la tecnología, incluyendo los problemas medioambientales. Para el colectivo de la asignatura tiene relevancia la problemática ambiental y su repercusión en el desarrollo sostenible, enfatizando en este caso en la Tarea Vida. Al tema se dedican 4 horas del programa, enfocado en la estrategia de Educación Ambiental del Ministerio de Educación Superior y las indicaciones que emitió el organismo cursos atrás para el tratamiento curricular de la Tarea Vida.

Se ha comprobado que los estudiantes a estos niveles dominan los principales problemas que alteran el cambio climático a nivel global y sus principales causas; pero no siempre es así respecto a la Tarea Vida, por lo que la labor pedagógica aquí mostrada responde a la necesidad ampliar el horizonte cultural de los estudiantes en cuanto a la conservación y protección del medio ambiente tal como se intenciona en la Estrategia Ambiental Nacional del CITMA.

El objetivo propuesto es reflexionar desde la experiencia pedagógica interdisciplinaria, sobre la importancia que tiene para la formación de los futuros profesionales de Arquitectura y las ingenierías de la universidad, el Plan de Estado cubano para el Enfrentamiento al Cambio Climático o Tarea Vida, considerando la pertinencia de los procedimientos didácticos aplicados como respuesta a la Estrategia Ambiental del MES y al principio de Educación, Comunicación e Información Ambiental Ciudadana expresado en la Estrategia Ambiental Nacional del CITMA.

Al valorar los resultados finales, se pudo evidenciar mayor solidez en los razonamientos de los estudiantes de las distintas carreras sobre la temática ambiental nacional y su mayor identificación con la importancia de la Tarea Vida para su pronto actuar profesional. En cuanto a los profesores que comparten la experiencia, sienten estar contribuyendo con la parte comunicacional-educativa que demandada el plan del estado cubano ya mencionado, y en consecuencia, con la Estrategia Ambiental del Ministerio de Educación Superior.

## 2. DESARROLLO

En la asignatura Estudios de Ciencia y Tecnología, tradicionalmente conocida como Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología, uno de sus temas está dedicado a los problemas medioambientales, sus causas y manifestaciones en el cambio climático; la política ambientalista de la revolución cubana y el desarrollo sostenible. En ese espacio del contenido, al que se le dedican 4 horas del plan de estudio E, ajustado a la Resolución 83/20 del MES para las asignaturas de las disciplinas Historia-Marxismo Leninismo, se especifica la Tarea Vida o Plan de Estado cubano para el enfrentamiento al cambio climático.

### Base teórica

El trabajo docente educativo puede apoyarse teóricamente con otros documentos normativos de la política ambiental nacional como, por ejemplo: la Ley 81/97 del medio ambiente o por la ley Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente (Ley150/22), la que da fuerza jurídica a la Tarea Vida. Otros documentos son la Estrategia Ambiental del MES; la Estrategia Ambiental Nacional para el período 2016-2020, el Programa Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible para el período 2016-2020, ambas del CITMA, y que a consideración de los autores mantienen vigencia, entre otros como, el

Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 y Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas hasta el 2030, entre otros.

Posibles materiales didácticos para el tema Tarea Vida, el contexto ambiental internacional y el desarrollo sostenible, abundan en internet y en los medios de difusión masiva nacionales que sirven para facilitar la gestión informativa de estudiantes y profesores. La motivación que se pueda despertar por el tema es vital para lograr los objetivos educativos propuestos. Como material de apoyo, el video "VIDA" [1]. es a nuestro entender uno de los más completos para exhibir en el aula, muy didáctico en sí, brinda una panorámica nacional acerca de las áreas vulnerables priorizadas identificadas, acompañado de imágenes de la mayoría de esos lugares y tiene una duración de 10:19 minutos. No obstante, son abundantes los materiales audiovisuales de este tipo, así como reportes de la prensa, entrevistas, publicaciones especializadas del CITMA y de otros organismos, artículos científicos, etc. El portal del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, siempre está dispuesto a ayudar en la búsqueda y entrega de información como otro recurso a disposición.

Complementando la Tarea Vida, en los últimos años se han aprobado importantes leyes, decretos leyes decretos, etc. que regulan por ejemplo el uso y protección de agua, la pesca, los recursos naturales y el medio ambiente en su conjunto. No es necesario presentar en clase todo el material porque no alcanza el tiempo, pero, sirven como recursos de apoyo para ampliar la cultura ambiental de los estudiantes y profesores, incluyendo los de otras especialidades, como Ingeniería Hidráulica, Geofísica y demás.
Pero si importante es la preparación teórica, también lo son los conocimientos que pueda tener el profesor sobre el plan de estudio de las respectivas carreras en las que va a ejercer, ello facilitará su gestión a favor de los estudiantes. Es necesario que éstos sientan útil y comprometida la profesión con la política ambiental nacional.

**Algunos antecedentes científicos, políticos y legales a considerar**

El plan de la Tarea Vida, está en correspondencia con las preocupaciones que, sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible, generan discusiones, análisis y compromisos entre las más altas autoridades políticas a nivel mundial en las reiteradas cumbres de jefes de estado y eventos convocados por las Naciones Unidas. El mismo da respuesta principalmente al objetivo 13 de la Agenda de la ONU para el Desarrollo Sostenible que expresa:" Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos." [2].

Tampoco es resultado de una larga meditación desde un buró, es la síntesis de largas y minuciosas investigaciones científicas lideradas por el CITMA con la participación de otros organismos de la Administración Central del Estado, lo que le impregna un carácter multicientífica y multisectorial. Respalda al plan la larga experiencia acumulada por el país en el enfrentamiento a fenómenos atmosféricos como períodos de intensas lluvias, sequías, tormentas, ciclones y huracanes con todas sus consecuencias, donde la prioridad siempre ha sido salvar la vida humana, proteger los recursos materiales, la vida de los animales, los cultivos y la economía en su conjunto. En las tareas de recuperación han participado todos los actores de la sociedad, liderados por la máxima dirección política del país, Fidel es el recuerdo más visible en este accionar, y junto a él todos los organismos del Estado, la Defensa Civil Nacional, los Consejos de Defensa a todos los niveles, las comunidades, los vecinos y las familias.

Con razón a Fidel se le considera el padre inspirador de la política ambientalista cubana de enfrentamiento al cambio climático, "Siempre estuvo al tanto de los efectos de este fenómeno y avizoró de manera oportuna las maneras de contrarrestarlo".[3]. Es histórico y trascendente su discurso en la Primera Cumbre de la Tierra efectuada en Río de Janeiro pronunciado el 12 junio de 1992. Allí alertó a políticos y a la comunidad internacional de la gravedad de los problemas ambientales, del peligro del cambio climático y sus causas, señaló a los responsables principales y alertó por vez primera, sobre el peligro de extinción de la especie humana, a la vez que llamó a emplear los avances de la ciencia y la tecnología a favor del desarrollo y nuevamente alertó que "Mañana será demasiado tarde para hacer lo que debimos haber hecho hace mucho tiempo".[4]. Por su vigencia ese discurso es imprescindible para entender con sentido crítico y constructivo el contexto en el cual Cuba define su política contra el cambio

climático, al respecto es sugerible uno de los videos que con la intervención del Comandante en Jefe circulan en la internet.

En abril de 2016, el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba aprobó los Lineamientos de la Política Económica y Social para el período 2016-2021. [5]. El número 107 dice:
"Acelerar la implantación de las directivas y de los programas de ciencia, tecnología e innovación, dirigidos al enfrentamiento del cambio climático, por todos los organismos y entidades, integrando todo ello a las políticas territoriales y sectoriales, con prioridad en los sectores agropecuario, hidráulico y de la salud. Elevar la información y capacitación que contribuya a objetivizar la percepción de riesgo a escala de toda la sociedad."

Un año después, en abril de 2017, el Consejo de Ministros aprobó el Plan de la Tarea Vida que es rectorado, asesorado y controlado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente en el que se recoge en su integridad la intención del lineamiento mencionado. Concebido en cinco acciones estratégicas y once tareas a ejecutar a corto, mediano, largo y muy largo plazos, hasta el 2100, lo que explica en parte su flexibilidad y adaptabilidad al ritmo variable del cambio climático y a las posibilidades económicas del país. Con razón se le califica también como multisectorial, interdisciplinario, transdisciplinario y multidisciplinario.

El artículo 27 de la Constitución de la República de 1976 se expresa: "El Estado protege al ambiente y recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras.

Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección de del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y de todo el uso potencial de la naturaleza." [6].
En la actual Constitución, se ratifica lo anterior en el artículo 11 del siguiente modo: "el poder jurisdiccional y soberano del Estado sobre el medio ambiente y todos los recursos naturales del país, incluyendo la plataforma continental en extensión y zonas contiguas acorde al derecho internacional". [7], y en el inciso f del artículo16 expresa:
"Promueve la protección y conservación del medio ambiente y el enfrentamiento al cambio climático, que amenaza la sobrevivencia de la especie humana, sobre la base del reconocimiento de responsabilidades comunes, pero diferenciadas; el establecimiento de un orden económico internacional justo y equitativo y la erradicación de los patrones irracionales de producción y consumo." [7].

Y en el artículo 90, inciso j se establece que todo ciudadano cubano tiene entre sus deberes: "Proteger los recursos naturales, la flora y la fauna y velar por la conservación de un medio ambiente sano." [7]

**Dos conceptos a considerar: mitigación y adaptación**

El plan estatal de enfrentamiento al cambio climático contiene dos estrategias cuya esencia y comportamiento es muy importante que sean comprendidas por los estudiantes en su dinámica dialéctica, son ellas la mitigación y la adaptación. Entendida la mitigación como medidas para paliar o aminorar, los daños causados por fenómenos climáticos o aquellos posibles a ocurrir en un corto plazo; en cambio, las medidas de adaptación al cambio climático en lo fundamental, tienen carácter preventivas y de adaptabilidad a los posibles cambios que gradualmente ha de sufrir el clima, por lo que gradualmente han de irse aplicando precedidas por estudios de factibilidad y proyectos de ejecución. En algún momento uno y otro proceso se presuponen: mitigación es fundamentalmente actuar sobre los efectos; en la adaptación prevalece el carácter preventivo. "Un principio de partida e insoslayable para la adaptación, es que esta tiene que basarse en las estimaciones del futuro climático; las medidas que no tengan esta prospectiva, no son medidas de adaptación". [8].

Los estudiantes llegan a identificar las acciones que desde hace algunos años se llevan a cabo por diferentes organismos e instituciones del estado pertenecientes a tanto a la mitigación como a la adaptación, por ejemplo: en cuanto a mitigación, las medidas de recuperación tras el paso del huracán Ian por Pinar del Río o las medidas preventivas en espera del mismo, el enfrentamiento a los incendios

forestales, la inyección de arena a las playas afectadas por la erosión, etc. En cuanto a la adaptación, se puede citar la siembra de mangles en zonas costeras bajas y desprotegidas, la reforestación de campos y ciudades, la introducción gradual de nuevas fuentes de energías no contaminantes, etc.

Tanto las medidas de mitigación como las de adaptación requieren de un soporte económico, que es insuficiente en el país, por lo que se apoya en la cooperación internacional para lo que existe el llamado Fondo Verde para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, creado en el 2011 por la Convención Marco de las Naciones Unidas, cuyo objetivo es ayudar a los países más necesitados y vulnerables. Entre los acuerdos de París 2015 está el que los países más desarrollados donen cien mil millones de dólares cada año a partir del 2020, cuestión que enfrenta resistencia por los países donantes, por lo que su cumplimiento es lento y su entrega a los países destinatarios está permeado por la burocracia, lo que ha sido denunciado en foros internacionales por Cuba, que plantea la necesidad de una nueva arquitectura financiera internacional para el cambio climático y que la entrega de esta ayuda no esté sujeta a presiones políticas. [9]. No obstante, varios proyectos concebidos al calor del Plan Vida, reciben tal contribución.

**Algunas opiniones de los estudiantes respecto a cómo contribuir desde su profesión a la tarea Vida**

En intercambios desde las clases y las tareas evaluativas orientadas a los estudiantes con fines evaluativos durante varios cursos, y principalmente durante los cursos a distancia desarrollados en tiempos de la COVID-19, las respuestas dadas por éstos, respecto a la vinculación de la profesión con la Tarea Vida, posibilitaron concentrar opiniones y sugerencias que meritan dar a conocer.

Estudiantes de cuarto año de Arquitectura y Urbanismo, sostienen que cada situación geográfica generará un urbanismo característico y diferenciado, cada sitio con su entorno y características necesitará de medidas específicas; hay que aprovechar al máximo las condiciones medioambientales como los recursos hídricos, la luz solar y el ecosistema en su conjunto. Uno de los equipos de estudio citó la norma 20 del Código de ética de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, (UNAICC), que plantea: “Introducir los enfoques y medidas que coadyuven a la reafirmación de los conceptos de desarrollo sostenible, en las acciones que se realizan para mitigar los efectos del cambio climático y otras graves consecuencias”. [10]. Otros plantean que se deben respetar las costumbres y tradiciones culturales de cada lugar cuando haya que trasladar a algún poblado de áreas vulnerables a zonas seguras, ello coincide con la tarea Vida y está en el código mencionado.

Consideran diseñar y construir viviendas y urbanizaciones enfocadas en la integración de tres elementos fundamentales para el desarrollo sustentable y el bienestar social: lo ambiental, social y económico, utilizando materiales resilientes con el ambiente y las personas, respetando el entorno inmediato y su biodiversidad, acorde a las condiciones económicas del país, teniendo en cuenta el ahorro energético, el abasto de agua potable; el tratamiento de los desechos sólidos y líquidos con la fórmula de reducir, reutilizar y reciclar, para lo que proponen poner en marcha acciones pedagógicas dirigidas a la población sobre el consumo responsable y la educación ambiental. Acercar los servicios básicos comunitarios para facilitar la movilidad y transportación de las personas. No permitir nuevos en zonas identificadas como vulnerables por peligro de penetración marina, inundaciones por intensas lluvias, u otros factores de riesgos. Dan debida importancia al arbolado público, por lo que aporta al medio ambiente y a la salud de las personas.

Como se puede observar y un tanto lógico, prevalecen criterios de adaptación al cambio climático. Algunos adoptan un enfoque crítico al sugerir ideas constructivas y paisajísticas en el campo del turismo, coincidiendo por lo general con criterios del plan del estado cubano. Consideran trabajar estrechamente con los gobiernos locales con enfoque multidisciplinarios y multisectoriales.

Estudiantes del tercer año de Ingeniería Química, reconocen que las industrias aportan un alto índice de elementos contaminantes a la atmósfera, a las aguas, los suelos, etc. que sus consecuencias son nocivas a la biodiversidad y al hombre, incluyendo la salud humana y la economía del país. Se pronuncian por el empleo de tecnologías más resilientes con el medio ambiente, por sustitución de los combustibles fósiles por fuentes generadoras de energías limpias, la necesidad de introducir a mayor ritmo los paneles solares, la energía eólica, la bioenergía generada por la biomasa y el biogás, etc. Emplear tecnologías que

posibiliten ahorrar y reutilizar el agua; Acrecentar el uso de plantas desalinizadoras en zonas contaminadas por la salinización de las aguas, aplicar técnicas de recuperación de suelos contaminados, sustituir agroquímicos por biofertilizantes en la agricultura, utilizar materiales constructivos resistentes a la contaminación marina y generadores de menos contaminación ambiental corrosión tanto zonas costeras como en las alejadas de las costas. Evitar grandes concentraciones de sustancias químicas tóxicas cercanas a la población, entre otras sugerencias.

Los de tercer año Ingeniería Industrial, acorde con su función de diseñar, organizar y dirigir procesos productivos y de servicios, plantean ser vigilantes y cuidadores de que se adopten las medidas para elevar la calidad y la eficiencia de la producción y los servicios evitando al máximo posible daños al medio ambiente y a la seguridad física y mental de las personas, trabajadores y clientes; garantizar la higiene en el ambiente laboral y la protección física, igualmente sentirse identificados con la eficiencia y productividad del trabajo acorde a las demandas de la economía del país, de la que depende la aplicación del plan de estado para combatir los efectos del cambio climático; instrumentar cursos de capacitación del personal de dirección y del resto de los recursos humanos en los que se incluyan temas relacionados con la educación ambiental.

Los posibles ingenieros mecánicos, consideran que por las características geográficas de Cuba es posible contribuir desde su profesión con el empleo de nuevas fuentes de energías en sustitución de las energías fósiles emisoras de gases de efecto invernadero; aluden a la arquitectura bioclimática en la proyección de los edificios para aprovechar principalmente la luz solar y la temperatura generada por el sol; también la energía eólica, la hidráulica usadas desde tiempos remotos, y la energía fotovoltaica en sistemas aislados, desconectados del sistema energético nacional, tal y como se emplean en zonas rurales del país, entre otras tecnologías como el calentador y el secador solar, muy usados en el secado del arroz, tabaco, café, maderas, plantas medicinales, el agua, entre otros ejemplos que permiten importantes ahorros económicos.

Optan por la formación de una ética nueva, responsable y solidaria en pos del desarrollo ambiental y económico sustentables basado en el uso racional de los recursos naturales desde la empresa y el territorio, sustituir los motores de combustión altamente contaminantes equipos con motores eléctricos como gradualmente se viene haciendo, evitar el uso de materiales metálicos altamente corrosivos dañinos al medio ambiente y a la salud humana, ponderan el trabajo desarrollado a favor de la Tarea Vida por la universidad Marta Abreu de Las Villas, a favor del medio ambiente, la educación ambiental y el uso de energías renovables para el desarrollo sostenible del país.

Destacan la responsabilidad ética del ingeniero mecánico con el cuidado y protección del medio ambiente y que desde el propio diseño el proceso industrial debe marchar apegado a las exigencias del Plan Nacional de Desarrollo para el período 2020-2030, sienten la responsabilidad de contribuir a la formación de recursos humanos respetuosos del medio ambiente.

Darle un sentido “práctico” o lo más visual posible al plan del estado cubano para enfrentar los efectos del cambio climático, deja positivos resultados en los estudiantes, si el propio profesor se identifica a plenitud posible con el contenido y lo desarrolla didácticamente de la mejor manera. En los criterios anteriores, emitidos por los estudiantes se nota identificación con los objetivos trazados y sobresale la interdisciplinariedad, pues existen juicios que se repiten, muchos de los cuales no se incorporaron al aparecen en otra de las especialidades, una muestra más de la interdisciplinariedad.

## 3. CONCLUSIONES

## 4.

Trabajar desde la docencia la política ambiental del estado cubano entre los estudiantes de Arquitectura y las ingenierías en los años terminales de las carreras, deja positivos resultados en su formación profesional; los ayuda en la toma de conciencia para convertirse en generadores de posibles soluciones ante los desafíos que impone al país el cambio climático.

En la Universidad Tecnológica de la Habana existen condiciones teóricas y experiencias participativas, para desde la labor docente educativa, elevar la cultura ambientalista de los futuros ingenieros y arquitectos como elemento básico en su formación integral, por lo cual es recomendable generalizar desde

la interdisciplinariedad la Tarea Vida como política de Estado para mitigar los efectos del cambio climático.

**REFERENCIAS**


1. CITMA. Vida: Plan del estado para el enfrentamiento al cambio climático. [ref. de 6 de octubre de 2017]. [en línea]. YouTube.

2. GOICOCHEA CARDOSO, O. [ref. de 6 de octubre de 2020]. Cuba actualizó su compromiso a la mitigación el cambio... [en línea]. Disponible en: http://www.ceniainternet cu-noticias.

3. PÉREZ MONTOYA, E.R. [ref. de 15 de mayo de 2017]. Tarea Vida: Estrategia cubana para hacer frente al cambio... [en línea]. http://mesaredonda.cubadebate.cu ›

4. CASTRO, F. [ref. de 19 de noviembre de 2018]. Discurso en Río de Janeiro. [en línea]. Fidel Castro Ruz, Soldado de las Ideas. Disponible en: YouTube

5. GRANMA. [ref. de 12 de Julio 2017]. Lineamientos de la Política Económica y Social para el período 2016-2021. [en línea]. https://www.Granma.cu

6. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE CUBA. [ref. de 1992]. Editora Política, La Habana.

7. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE CUBA. [ref. de 2019]. Editora Política. La Habana. ISBN978-959-01-1066-5

8. PLANOS, E. Sobre la adaptación al cambio climático. Serie Entendiendo el Cambio Climático. ISBN: 978-959-300-159-5. Editorial AMA. [en línea]. insmet.cu- Disponible en: http://ccc.insmet.cu › files › 04 ADAPTACION_0 MITIGACIÒN. [ref. de 2019].

9. PÉREZ MONTOYA E.R. Cuba instó a crear una nueva arquitectura financiera más ... [en línea]. Disponible en: http://www.acnu.org.cu › artículos › cuba-insto-crear-...Cuba instó a crear una nueva arquitec.

10. UNAICC. [ref. de noviembre de 2018]. Código de Ética Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. [en línea]. Disponible en: https://www.unaicc.cu › código-de-ética.


**Sobre los autores**


1. Alberto Matos Guerra, es profesor de Ciencias Sociales en la Universidad Tecnológica de la Habana, metodólogo del Instituto de Ciencias Básicas de dicha universidad. Profesor Auxiliar y Máster en Ciencias de la Educación Superior. Miembro de la Subcomisión Nacional de Problemas Sociales de Ciencia y Tecnología del MES.

2. Julia Milexy Flores López, profesora de Ciencias Sociales. Subdirectora de la Dirección de Historia Marxismo en la Universidad Tecnológica de la Habana. Profesora Asistente y Máster en Ciencias en proceso del doctorado.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CASO DE ESTUDIO: SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN UNA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Iraima Rafaela Rabelo Solano[1], Yoan Miguel Reyes Vilan[2], Hiram La O Hernandez[3], Yadary Ortega[4]**

Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba.

[1]iraimarabelo020@gmail.com, [2]yoanmigre@ind.cujae.edu.cu, [3]hiramla@tesla.cujae.edu.cu, [4]yadary@gmail.com

**RESUMEN**

La investigación asumió como propósito diseñar un procedimiento para desarrollar semilleros de investigación, utilizando como metodología la investigación-acción participativa, donde los investigadores desde la planificación hasta el control y la mejora estuvieron involucrados en el desarrollo de los semilleros. Se desarrolló un procedimiento de 5 etapas y 12 actividades; el cual fue probado y mejorado con dos iteraciones. El desarrollo de los semilleros de investigación lega un aumento de 18 estudiantes involucrados en Grupos de Investigación, una participación voluntaria de 91 estudiantes de forma extracurricular, vinculación en proyectos con el organismo BIOCUBAFARMA y entradas a fase de negociación para contratar servicios o firma de convenios con las empresas estatales participantes. El trabajo desarrollado constituye un ejemplo de actividad extracurricular que coloca al estudiante en un rol protagónico y demanda actuaciones en consecuencia con el Plan de Estudios, acercando al mismo a la realidad empresarial y reforzando la conexión universidad-empresa y el sistema de gobierno basado en ciencia, tecnología e innovación.

**PALABRAS CLAVES:** semilleros de investigación, actividad extracurricular, universidad-empresa

## CASE STUDY: RESEARCH SEEDBEDS IN A FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING

**ABSTRACT**

The purpose of the research was to design a procedure to develop research seedbeds, using participatory action research as a methodology, where researchers were involved in the development of the seedbeds from planning to control and improvement. A procedure of 5 stages and 12 activities was developed; it was tested and improved with two iterations. The development of the research seedbeds resulted in an increase of 18 students involved in research groups, a voluntary participation of 91 students in extracurricular activities, involvement in projects with the BIOCUBAFARMA organization and entry into the negotiation phase to contract services or sign agreements with the participating state companies. The work developed is an example of an extracurricular activity that places the student in a leading role and demands actions in line with the Study Plan, bringing the student closer to the business reality and reinforcing the university-business connection and the government system based on science, technology and innovation.

**KEYWORDS:** research hotbeds, extracurricular activity, university-business

## 1. INTRODUCCIÓN

Los semilleros de investigación se entienden como pequeñas comunidades de aprendizaje auto gestionadas que buscan lograr la concientización, integración interdisciplinaria y la formación integral por medio de la investigación [1]

Al criterio de [2] los semilleros de investigación son una actividad ideal para fomentar las habilidades técnicas y científicas en los estudiantes, a través del aprendizaje experiencial; y fomentando un

importante vínculo con la práctica. En el trabajo de [3] se resalta la importancia de la relación de los semilleros de investigación con la formación curricular de los estudiantes. Coincide con ambos criterios la investigación de [4]; añadiendo la validez en el contexto universitario donde se ha presentado de forma histórica como un reto la enseñanza de la investigación.

Desde la concepción de [5] se busca visibilizar experiencias educativas solidarias que permitan a los estudiantes ampliar su horizonte de aprendizaje, tener una formación integral, y comprometerse en la transformación de su comunidad junto con otros actores sociales. Finalmente, pretenden fortalecer y difundir una cultura participativa, solidaria y de compromiso universitario, y cómo fortalecer el compromiso de los actores universitarios, ya sean estudiantes como docentes, personal de apoyo y graduados. [6]

La carrera de Ingeniería Industrial en Cuba tiene como objetivos principales participar activamente en la vida social demostrando su sólida preparación como ingeniero industrial, modelar las relaciones que se establecen entre los materiales, recursos y el desarrollo sostenible de una organización y diagnosticar, diseñar, operar, controlar y mejorar procesos de producción y servicios en toda la cadena de valor, propiciando la participación y colaboración de los trabajadores, el desarrollo de la calidad de vida y la protección del medioambiente [7]. Para el cumplimiento de estos objetivos, el nuevo plan de estudios E vincula directamente a los estudiantes desde el primer año de la carrera con los procesos de producción y servicios a partir de su trabajo como operarios en los mismos.

Posterior a la COVID 19, en una primera etapa post pandémica no existían las condiciones técnico-organizativas, materiales para las que se crea el Plan E, la semipresencialidad impuesta por diversos factores del entorno disminuían el tiempo que los estudiantes pasaban en la escuela, interactuaban entre ellos, afectaba las actividades prácticas y empresariales por problemas con la movilidad, el combustible, los materiales.

En una facultad universitaria donde se estudia ingeniería y el entorno descrito, las elevadas cargas de trabajo, múltiples funciones del profesor, problemas estructurales y de comunicación han conducido a que la actividad investigativa, su vinculación con las empresas y otras organizaciones quede deprimida afectando un componente fundamental de la formación profesional.

Los estudiantes vinculados a Grupos de Investigación de forma activa no llegan al 10% de la matrícula de la facultad, lo que deja carencias al momento del ejercicio de culminación de estudios, poca cultura de publicación y divulgación de los resultados científicos y poco contacto con la realidad empresarial y los entornos productivos del país.

Como solución alternativa viable con las restricciones del entorno cobra fuerza el paradigma de los semilleros de investigación, con el propósito de elevar la motivación por la investigación de los estudiantes de la Facultad y según [8] desarrollar habilidades básicas de investigación desde los primeros años de la carrera. El propósito de la presente investigación es diseñar el procedimiento para desarrollar los semilleros de investigación, y socializar los resultados obtenidos tras dos experiencias con esta práctica docente extracurricular.

## 1. METODOLOGÍA

Para potenciar en los estudiantes habilidades de caracterización de problemas y pensamiento crítico para la resolución de los mismos, el plan cuenta con asignaturas de currículo propio como Introducción a la Ingeniería, Introducción a la Ingeniería Industrial y Prácticas Laborales, que brindan técnicas y herramientas básicas de los ingenieros para la descripción de procesos y análisis de problemas.

En el contexto estudiado, a pesar de recibir esta formación desde el primer año de la carrera, los estudiantes se encuentran insatisfechos con la vinculación a la investigación y al trabajo en empresas como algo más que un ejercicio docente.

La captación de estudiantes para Grupos de Investigación se ha visto afectada por la insuficiente divulgación de informaciones asociadas al trabajo investigativo realizado, como forma de obtener un conocimiento primario de su gestión; unido a la no formalización de procedimientos para la selección de estudiantes, resulta en una considerable cantidad de estudiantes en último año de la carrera desvinculados de grupos de investigación, sin trabajo investigativo precedente al ejercicio de culminación de estudios. En la facultad se ha avanzado en la promoción de la actividad científica, sin embargo, un levantamiento general de necesidades planteadas por los estudiantes concluye en la priorización de acciones para elevar los índices de estudiantes vinculados a la investigación y a la publicación de artículos científicos. Esto potenciado posteriormente por la pandemia de la COVID 19 y los desajustes curriculares que provocó, teniendo como uno de sus mayores impactos la disminución de la motivación por parte de los estudiantes por vincularse a tareas de investigación, menor disponibilidad de tiempo de los recursos humanos docentes al enfrentar un escenario educativo completamente diferente, al cual ajustarse de forma ágil y consciente, desencadenó la conformación de los Semilleros de Investigación como una iniciativa de los estudiantes, con un mínimo de tutoría docente.

Los semilleros de investigación surgen como una respuesta a la necesidad de introducir a los estudiantes, a través de un proceso de motivación, participación y aprendizaje continuo, a la práctica y metodología de la investigación científica. Además, buscan contribuir en la formación integral de los actuales y futuros profesionales por medio del acercamiento al saber investigativo como estrategia de desarrollo del pensamiento y de resolución de problemas.

En la investigación se utiliza la metodología investigación-acción, con ciclos de acción-reflexión crítica con cada iteración y cada actividad. La investigación- acción es un método muy usado en el ámbito docente, adoptando como práctica constante la reflexión crítica acerca de lo que se hace en pos de mejorar. En la fase de planificación se diseña el procedimiento a seguir y las actividades que comprenden cada etapa, a modo de hoja de ruta para lograr el desarrollo de los semilleros. En la Figura 1 se muestra el procedimiento seguido para el desarrollo de los semilleros de investigación.




Figura 1. Etapas de desarrollo de los ¨Semilleros de Investigación¨. Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento descrito es usado como base de forma general en los dos casos en los que se han desarrollado los Semilleros de Investigación en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Cujae, siendo flexible a cambios que impone el dinamismo de la realidad y condiciones variables. A continuación, se describen las actividades y roles como tuvieron lugar en ambas ocasiones, permitiendo reconocer las variaciones ocurridas en actividades.

**Primera iteración:**

1. Preparación

Esta primera etapa implica el proceso inicial en el que los participantes se familiarizan con los conceptos y objetivos del semillero. Es una fase introductoria en la que se prepara a los estudiantes, posiblemente mediante capacitación y recursos básicos, para iniciar su participación en los semilleros.

Teniendo como Actividades clave, la **i**nducción sobre los propósitos y metas del semillero, la identificación de los temas de investigación a abordar y la capacitación inicial en herramientas y metodologías de investigación. En esta etapa debe existir una interrelación entre los roles que intervienen que permita generar sólidas bases para el desarrollo de la actividad.

Los Roles involucrados son los coordinadores del semillero, quienes proveen las instrucciones iniciales; los estudiantes que reciben la formación básica y los tutores quienes brindan apoyo sobre las competencias investigativas necesarias

2. Talleres de Investigación:

Esta etapa se centra en la implementación de talleres donde los estudiantes ponen en práctica las metodologías investigativas aprendidas. Es una fase de formación intensiva en la que se fomenta el aprendizaje práctico.

Las actividades clave son: **r**ealización de talleres formativos y colaborativos, desarrollo de habilidades investigativas como la búsqueda de información, análisis de datos y redacción científica; así como ejercicios prácticos para la aplicación de las herramientas y metodologías aprendidas en entornos simulados.

Intervienen como Roles los tutores que facilitan los talleres y supervisan los avances; los estudiantes quienes participan activamente en las sesiones de formación y los expertos invitados que pueden brindar formación especializada en ciertas áreas del conocimiento.

3. Trabajo en Empresas:

En esta etapa, los estudiantes aplican el conocimiento y las competencias adquiridas en contextos empresariales o de campo. Esta fase está orientada a la aplicación práctica y la inmersión en situaciones reales, relacionadas con un área del conocimiento que se corresponde con un problema definido para la entidad. Tomando como principio la aplicación del pensamiento científico y las técnicas y herramientas transmitidas durante las sesiones anteriores, de conjunto a la guía del tutor; deben desarrollar un trabajo científico y proponer alternativas en correspondencia con la realidad empresarial y con aplicabilidad.

Un rol de suma importancia en esta etapa es el contacto en la empresa que debe atender el proyecto, brindar retroalimentación y acompañar con información y su percepción el desarrollo del trabajo de los estudiantes y los tutores.

4. Generalización de los Trabajos:

El propósito de la etapa es la divulgación de los resultados obtenidos en las investigaciones. Se trata de una etapa de evaluación y expansión de las experiencias investigativas hacia un público más amplio o en otros contextos. También sirviendo de intercambio para retroalimentación de los estudiantes y que

comprendan las limitaciones de su investigación, otras alternativas que pueden tener en cuenta y posibles mejoras al trabajo realizado.

La socialización de la experiencia permite a los estudiantes reconocer cómo en diferentes situaciones se aplican los métodos y técnicas que conocieron; y es un estímulo y reconocimiento al trabajo realizado el poder divulgarlo en el marco de una actividad científica y presentarlo a decisores de las empresas, con oportunidad de ser publicado en revistas científicas estudiantiles.

5. Continuidad del Vínculo:
Esta última etapa promueve la sostenibilidad y el fortalecimiento de las relaciones creadas entre los participantes y las instituciones involucradas. El objetivo es mantener el vínculo más allá del proyecto específico para asegurar la continuidad de la formación investigativa.

En la última etapa para garantizar el vínculo de los estudiantes **se c**onsolidan las redes de investigación entre los estudiantes y las empresas; el seguimiento a los egresados de los semilleros y su integración en otros proyectos y el establecimiento de convenios de colaboración a largo plazo entre instituciones académicas y empresariales.

**Segunda iteración:**

Para la descripción de la segunda iteración se resaltan los aspectos de mayor impacto.

1. Preparación

El primer contacto **s**e realizó durante un taller del proyecto **SCIEnC(e) 4 SuRe**, facilitando el vínculo con empresas interesadas en trabajar con la Universidad de La Habana, a partir de este taller se identificaron empresas con problemas vinculados a la Ingeniería Industrial para diseñar los talleres que abordaran soluciones.

Teniendo definidos los problemas a resolver en la etapa de realización de trabajos en las empresas se seleccionaron problemáticas de baja-media complejidad, y los estudiantes idóneos con trayectoria en investigación para presentar los talleres, asesorados por profesores especialistas en estos temas.

2. Talleres de Investigación:

Durante esta etapa se realizaron dos sesiones por semana con actividades prácticas, fomentando la observación crítica, la creatividad y la retroalimentación: Se aplicó una encuesta para conocer la percepción de los estudiantes y ajustar futuros eventos.

3. Trabajo en Empresas y Jornada Científica

Los estudiantes durante esta etapa aplicaron las herramientas aprendidas en problemáticas reales, acompañados por un tutor y el representante de la empresa; culminando con la presentación de resultados en la Jornada Científica Estudiantil de la facultad. Sin presentación de informe técnico, con evaluación por tribunales de profesores y premiación basada en el desempeño.

Los recursos tomados para la realización de los semilleros fueron estudiantes de diversos años (principalmente de 1ro a 3ro); profesores asesores y organizadores; empresas colaboradoras, que proporcionaron las problemáticas; y tutores recién graduados y profesores jóvenes que acompañaron a los estudiantes.

En la segunda iteración existió un aumento en la participación en comparación con el año anterior, lo que evidencia el prestigio ganado en el desarrollo del primer semillero y el interés de los estudiantes por participar en actividades investigativas prácticas.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han realizado dos iteraciones de semilleros de investigación. En la Figura 2 se muestra la participación por año académico en ambas iteraciones, y se evidencia como aumenta el número de participantes, principalmente de primer año.

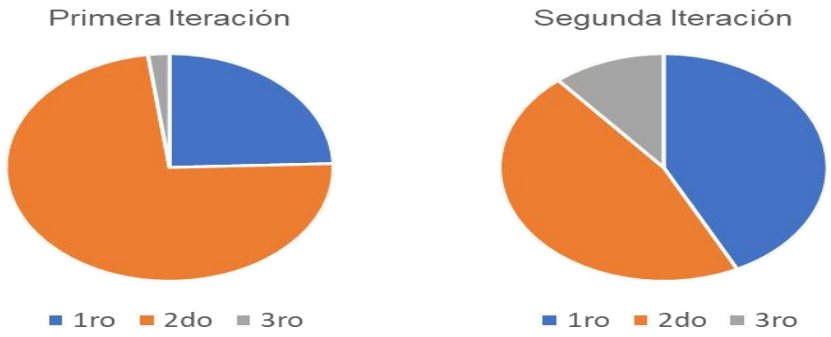



Figura 2. Distribución de participantes en los semilleros de investigación por año académico.
Fuente: Elaboración Propia

En el marco de la Jornada Científica de la Facultad 2023 se presentaron 12 trabajos resultado del ejercicio final de los semilleros, y en la iteración del 2024, 27 trabajos fueron presentados en este evento estudiantil. Un importante resultado es la incorporación de 18 de los estudiantes al Grupo Científico Estudiantil asociado al Departamento de Ingeniería Industrial, los cuales se han integrado a proyectos con empresas, programas y eventos internacionales con resultados satisfactorios.

El vínculo Universidad-Empresa se fortalece, logrando la inserción de los estudiantes para el desarrollo de sus Prácticas Laborales y la posibilidad de continuar el proyecto iniciado en el trabajo de los Semilleros, en caso de conformidad de ambas partes.

En la Figura 3 se muestra el nivel de satisfacción y la percepción de la calidad de los encuentros para una muestra de 54 (segunda iteración). El nivel de satisfacción posee una media de 8.85 puntos, y la percepción de la calidad 8.78, por lo que se observa un elevado nivel de conformidad en cuanto a ambos aspectos de los encuentros.

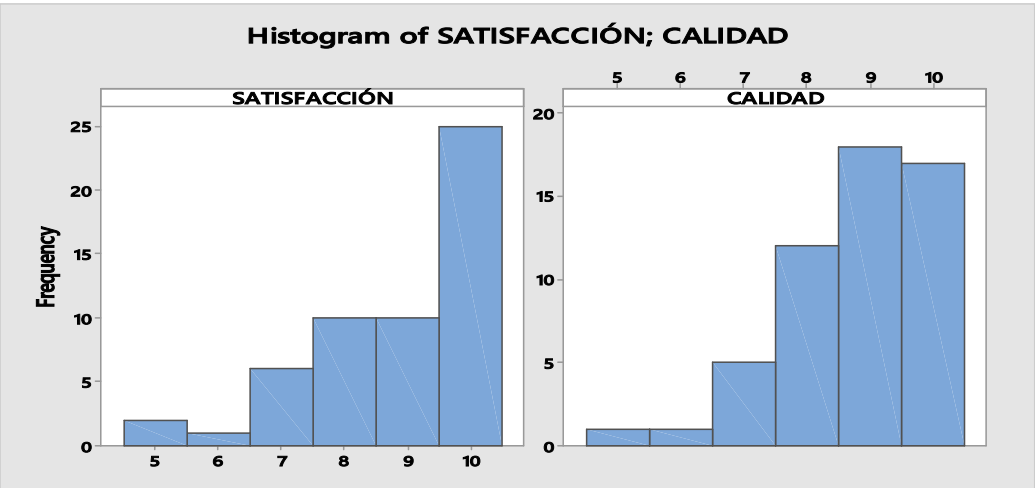


Figura 3. Nivel de satisfacción y percepción de calidad con los semilleros de investigación.
Fuente: Elaboración Propia

En una muestra de 54 estudiantes, el 100% coincide en que debería repetirse la iniciativa en el año 2025, validando la alta calidad y satisfacción percibidas. De igual manera, organizadores, presentadores y profesores, observaron un alto nivel de interés por parte de los participantes.

Si se analizan ambas experiencias con el objetivo de obtener una retroalimentación de cara a futuras iteraciones, se han de resaltar ciertos puntos de mejora, así como aprendizajes relevantes. En este aspecto destaca la inclusión de la fase previa de Levantamiento de Problemas Empresariales en la segunda iteración; en la que se levantaron problemas específicos directamente de las empresas colaboradoras. Esto permitió que los talleres fueran diseñados con un enfoque claro en las necesidades reales, asegurando que los estudiantes trabajaran con desafíos prácticos y pertinentes para el entorno empresarial. Esta fase no estaba presente en la primera iteración, lo que limitaba la relevancia de los problemas abordados y permitió potenciar la aplicación del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). Con tal enfoque se estructuraron los talleres para que los estudiantes trabajaran en la resolución de problemas complejos del mundo real, lo que promovió el aprendizaje activo y la capacidad de aplicar conceptos teóricos en situaciones prácticas. Esta metodología innovadora fortaleció la efectividad del aprendizaje en la segunda fase.

También fue implementado un sistema de Retroalimentación y Evaluación más detallado, que incluía encuestas y reuniones de revisión para evaluar el progreso de los estudiantes. Este sistema permitió hacer ajustes en tiempo real, asegurando que los estudiantes recibieran el apoyo necesario y que las actividades se adaptaran según las necesidades emergentes. Esta estructura fue mucho más robusta que en la primera iteración, donde la retroalimentación era menos formalizada.

Como recomendaciones de mejora para las próximas iteraciones se plantean establecer métricas claras de Evaluación del Impacto, siendo esencial desarrollar indicadores específicos que permitan medir el impacto de los semilleros, en términos de desarrollo de competencias investigativas, satisfacción de las empresas y éxito en la implementación de soluciones. Esto ayudará a cuantificar los logros y a identificar áreas de mejora con mayor precisión; así como fortalecer la capacitación inicial de los estudiantes que imparten talleres con mayor seguimiento por los profesores tutores. Otro aprendizaje fue ampliar la difusión de resultados y el reconocimiento público, considerando que los logros de los semilleros deben tener mayor visibilidad tanto dentro como fuera de la universidad. Se recomienda difundir más ampliamente los resultados a través de conferencias, publicaciones, redes sociales y colaboraciones con medios de comunicación. Además, se podría considerar establecer premios o certificaciones para los estudiantes que destaquen, lo que serviría para motivar la participación y el compromiso.

## 3. CONCLUSIONES

Los Semilleros de Investigación han demostrado ser una estrategia eficaz para fortalecer la conexión universidad-empresa, promover la formación integral de los estudiantes y fomentar una cultura de investigación desde los primeros años de la carrera. A través de dos iteraciones se logró, no solo aumentar la participación estudiantil, también establecer vínculos sólidos con empresas relevantes, lo que permitió que los estudiantes aplicaran sus conocimientos en situaciones reales y adquirieran habilidades clave para su desarrollo profesional como futuros ingenieros industriales.

Uno de los resultados más destacados ha sido la incorporación de 18 estudiantes a grupos científicos, evidenciando el éxito del semillero como una vía para canalizar el interés en la investigación hacia la integración en proyectos más formales. Además, el incremento en el número de proyectos presentados en

las jornadas científicas, con 27 trabajos en la segunda iteración, refleja la consolidación de esta práctica y el interés creciente por parte de los estudiantes.

El modelo de colaboración implementado permitió la interacción constante entre la universidad y las empresas, potenciando la empleabilidad y mejorando la preparación práctica y participación activa de las empresas en la identificación de problemas y la co-creación de soluciones con estudiantes y tutores; lo cual evidencia el valor de los semilleros como una plataforma para la transferencia de conocimientos y la innovación aplicada.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer profundamente a todas las personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo y éxito de los semilleros de investigación en la Facultad de Ingeniería Industrial. En particular, expresamos nuestro agradecimiento a la profesora Yadary Ortega, cuya guía y experiencia en la coordinación académica fueron fundamentales. De igual manera, agradecemos a Marta Abreu, Sonia Fleitas y Gladys Ash Hernández, por su valioso apoyo y colaboración a lo largo del proceso, aportando su conocimiento especializado que enriqueció el contenido de los talleres. Queremos destacar el papel esencial que jugaron los estudiantes de años terminales que impartieron los talleres, compartiendo sus conocimientos y experiencias para guiar a sus compañeros más jóvenes en la exploración de temas complejos y actuales. También extendemos nuestra gratitud al personal de las empresas colaboradoras, quienes abrieron sus puertas para que los estudiantes pudieran aplicar sus habilidades en entornos reales, permitiendo así una formación práctica y significativa.

En esta segunda iteración, el trabajo de Collins Estrada y Emily Jiménez fue especialmente destacado, ya que asumieron la organización y coordinación del proyecto con un alto nivel de compromiso y dedicación. Finalmente, agradecemos a la UJC y la FEU por su continuo respaldo, que facilitó la ejecución de estas iniciativas académicas y fortaleció la comunidad investigativa en nuestra facultad.

Gracias a todos ellos, estos semilleros han podido desarrollarse y consolidarse como una herramienta clave para la formación integral y el crecimiento profesional de nuestros estudiantes.

## REFERENCIAS

1. PARRA, Nora Milena Roncancio; ESPINOSA, Hilda. "Un breve acercamiento a la formación de los semilleros de investigación. Precisiones acerca de algunas diferencias entre la formación investigativa y la investigación formativa". *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 2010, vol. 2, no 1, p. 152-157.
2. TORRES, Esteban Rodríguez; GÓMEZ, Henri Emmanuel López; CISNEROS, Juan Diego Dávila. Importancia de los semilleros estudiantiles en las universidades, para la investigación científica. *Negonotas Docentes*, 2023, no 22, p. 50-62. [en línea]. Disponible en: https://revistas.cun.edu.co/index.php/negonotas/article/view/886
3. PINO, Ulises Hernandez. "Propuesta curricular para la consolidación de los semilleros de investigación como espacios de formación temprana en investigación". *IeRe*, 2005, vol. 1, no 2, p. 1-12.
4. *NUMA-SANJUAN, Nahín; MÁRQUEZ DELGADO, Rodolfo Alfonso. Los Semilleros como espacios de investigación para el investigador novel. Propósitos y Representaciones, 2019, vol. 7, no 1, p. 230-239.* [en línea]. Disponible en: https://doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.289
5. RUDI, Juan Manuel, et al. "Laboratorios híbridos en ciencias experimentales: una estrategia metodológica para la inclusión educativa en la escuela secundaria". *Revista de Extensión Universitaria+ E*, 2024, vol. 14, no 20, p. e0010.
6. RICOL, Ada Esther Portero; MORENO, Maritza González; JARDO, Ricardo Machado. "La extensión universitaria como proceso sustantivo integrador. Organización necesaria". *Revista Referencia Pedagógica*, 2016, vol. 4, no 2, p. 193-206 p.

7. PÉREZ DE ARMAS, Marle; CURBELO HERNÁNDEZ, Mario; NÚÑEZ CHAVIANO, Quirenia. "Pertinencia y diseño curricular, una mirada desde la carrera de ingeniería industrial en la universidad de Cienfuegos". *Conrado*, 2019, vol. 15, p. 68-76.
8. VERA-FERNÁNDEZ, Carly Gabriela; FERNÁNDEZ-NIETO, Ever Lafaid. "Los semilleros de Investigación" hacia la consolidación de una cultura investigativa en el contexto universitario. Revisión de literatura 2017-2023. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 2024, vol. 12, no 2, p. 188-201. [en línea]. Disponible en: https://doi.org/10.15649/2346030X.3445

**Sobre los autores**

Iraima Rafaela Rabelo Solano: Profesora Auxiliar Técnico de la Docencia (ATD) en el Departamento de Informática Empresarial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Su labor académica se centra en la enseñanza de Sistemas de Información, promoviendo la integración de tecnologías en entornos empresariales. Analista de procesos en el Hotel Nacional de Cuba. Secretaria de Funcionamiento de la Unión de Jóvenes Comunistas (UJC) del Comité Primario de la Facultad y ha liderado iniciativas de investigación e innovación a través de los "Semilleros de Investigación".

Yoan Miguel Reyes Vilán: Ingeniero Industrial | Analista de Procesos | Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Presidente de la Federación Estudiantil Universitaria de la Facultad de Industrial (2022- 2023). Actualmente se desempeña como Secretario General del Comité Primario de la Unión de Jóvenes Comunistas en la Facultad y Profesor Instructor en el Departamento de Recursos Humanos, brindando a los estudiantes herramientas clave para la gestión eficiente de procesos y el análisis organizacional.

Hiram La O Hernández. Ingeniero Industrial | Analista de Procesos | Análisis de datos. Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Jefe del departamento de contratación económica de la CUJAE, se ha logrado incrementar el nivel de servicio a los clientes internos, la satisfacción del cliente, generar herramientas de análisis de datos y proteger el proceso de errores humanos con mecanismos organizativos. Ha formado parte de la organización de eventos científicos como CLEIN Cuba 2022. Actualmente ejerce como Director de Planificación.

Yadary Cecilia Ortega González. Ing. Informática (CUJAE, 1998). Dra. en Ciencias Técnicas (CUJAE, 2016). Profesora Titular. Fue Jefa del Departamento y del Grupo de Investigación de Informática Empresarial de la Facultad de Ingeniería Industrial en la CUJAE, desde el 2011. Decana de la Facultad de Ingeniería Industrial desde 2022. Miembro de la Unión de Informáticos de Cuba. Profesora de pregrado en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas de Información en la Especialidad en Dirección y Gestión Empresarial en la Escuela Superior de Cuadros del Estado y del Gobierno.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA EDUCACIÓN INTERCULTURAL Y LAS COMPETENCIAS INTERCULTURALES EN LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS SALVADOREÑOS

**Nelson A. Quintanilla Juárez.**[1]
Universidad Don Bosco. Calle al Plan del Pino, Soyapango, San Salvador.
e-mail: nquintanilla@udb.edu.sv

**RESUMEN**

La multiculturalidad presente en la sociedad salvadoreña es una realidad que tiene una gran influencia en diversas manifestaciones individuales y colectivas de la población. Uno de los objetivos de la educación intercultural, necesaria en toda sociedad multicultural, es generar en las personas, la convicción que la diversidad cultural es una realidad innegable y que no debe verse como un peligro, sino como una oportunidad de enriquecimiento y crecimiento.

El objetivo de la investigación era generar conocimiento que ayude a interpretar el nivel del desarrollo que la educación intercultural tiene dentro de los procesos formativos de las instituciones de educación superior salvadoreñas. También conocer qué influencia ha tenido en la formación de competencias interculturales y las brechas existentes en el desarrollo y las proyecciones de la educación intercultural.

Se confirmó que los funcionarios de las Instituciones de Educación Superior tienen sus propios conceptos sobre educación intercultural. La mayoría de ellos relacionadas con la interpretación personal de cada funcionario, más que a una conceptualización institucional desplegada en las universidades. Todos los sujetos investigados reconocieron la importancia que hoy en día tiene la formación de competencias interculturales en los estudiantes, tanto para su buen desempeño dentro de un equipo profesional como para la convivencia en su grupo social. Los estudiantes reconocen la importancia de la formación intercultural, identificando ciertas acciones que las IES realizan con ese propósito.

Por medio de la investigación se pudo concluir que existe conciencia sobre la importancia de la educación intercultural en las IES salvadoreñas, que se están desarrollando algunas acciones para promoverla, pero también se reconoce que todavía hay camino por recorrer en esta temática.

**PALABRAS CLAVES:** Multiculturalidad, educación intercultural, competencias interculturales, educación superior.

LA EDUCACIÓN INTERCULTURAL Y LAS COMPETENCIAS INTERCULTURALES EN LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS SALVADOREÑOS

**ABSTRACT**

The existing multiculturalism in Salvadoran society is a reality that has a great influence on diverse individual and collective manifestations of the population. One of the objectives of intercultural education, necessary in any multicultural society, is to generate in people the conviction that cultural diversity is an undeniable reality and should not be seen as a danger, but as an opportunity for enrichment and growth.

The objective of the research was to generate knowledge that helps to interpret the level of development that intercultural education has within the formative processes of Salvadoran higher education institutions. Also to know what influence it has had on the development of intercultural competencies and existing gaps in the development and projections of intercultural education.

It was discovered that the officers of the Higher Education Institutions have diverse conceptualizations about intercultural education, most of them related to the personalized interpretation of each officer, more than to an institutional conceptualization. All of them recognized the importance that nowadays has the formation of intercultural competences in students, both for their good performance within a professional team and for the coexistence in the social group. Students recognize the importance of intercultural education, identifying certain actions that HEIs carry out for this purpose.

Through the research it was possible to conclude that there is awareness of the importance of intercultural education in Salvadoran HEIs, that some actions are being developed to promote it, but it is also evident that there is still a long way to go in this area.

KEY WORDS: Multiculturality, intercultural education, intercultural competencies, higher education.

## 1. INTRODUCCIÓN

La diversidad cultural en la sociedad es un aspecto que ha quedado reflejado en la Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural, aprobada por unanimidad por la Conferencia General de la UNESCO en el 2001 [1]. Sin embargo, a pesar de su reconocimiento, todavía no logra impactar de manera significativa a los sistemas educativos de algunos países. Las principales causas de los conflictos multiculturales son debido a que en las sociedades coexisten personas de diferentes culturas. Esto pone de manifiesto diferentes formas de vivir la vida y de ver el mundo. Es dicha diversidad lo que le da sentido y determina la forma en la cual cada persona percibe la realidad. También es importante mencionar que ninguna cultura es cerrada, sino que, dada su característica dinámica, la propia cultura permite ser influenciada por otras costumbres culturales y viceversa. [2]

Debido a que las interacciones interculturales son una característica constante en la vida moderna, se requiere que las personas desarrollen competencias interculturales. Entendidas estas como las habilidades para desempeñarse en situaciones diversas en un contexto local o global. La capacidad para aprender a vivir juntos y estar preparados para enfrentar conflictos, pero en pleno respeto de los valores y los derechos del otro. Estar en condiciones de comportarse con suficiente responsabilidad personal respetando a cada individuo con quien se trate. Al mismo tiempo, este enfoque intercultural puede apoyar para evitar la generación de estereotipos y prejuicios, y la discriminación de grupos minoritarios, ya que incluye en su proceso educativo la formación en conocimiento, valores y actitudes positivas hacia la diversidad cultural.

Por esta razón, existe la necesidad de promover fuertemente la educación intercultural, cuyo objetivo es poner en contacto a diversas culturas, para que, a través de la aceptación de las costumbres, creencias y valores de los otros, sea capaz de generar convivencia pacífica entre ellas. La educación intercultural debe estar basada en una realidad tal, que reconozca, que todos tienen moldeadas en su personalidad ciertas costumbres que han configurado su identidad cultural. [3]

El propósito de este estudio ha sido determinar el nivel de la educación intercultural y del desarrollo de competencias interculturales en los estudiantes universitarios salvadoreños. Busca entender la importancia que las instituciones de educación superior salvadoreñas le asignan a la educación intercultural. También, ha buscado determinar si se está atribuyendo alguna importancia estratégica a esta actividad en sus procesos de planificación estratégica.

Para cumplir con estos objetivos, se realizaron entrevistas semiestructuradas a diversos sujetos informantes de universidades salvadoreñas. Los sujetos entrevistados han sido rectores, vicerrectores, decanos, directores y coordinadores de programas académicos, directores de unidades de internacionalización y estudiantes. Estos últimos con requisitos relacionados con su nivel de avance en su carrera y con algún tipo de experiencia intercultural durante su permanencia en la universidad a la que pertenecen.

## 2. ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación tiene el propósito de analizar el estado actual de la educación intercultural en El Salvador y del desarrollo de las competencias interculturales en los estudiantes. Se buscaba identificar las modalidades de educación intercultural desarrolladas en las IES salvadoreñas, describir de qué manera los estudiantes han sido parte de la educación intercultural y determinar avances y logros en la formación y el desarrollo de las competencias interculturales de dichos estudiantes pertenecientes al nivel de educación superior en El Salvador.

Para su ejecución se seleccionó un enfoque metodológico cualitativo, ya que dicho enfoque tiene relevancia específica para el estudio de las relaciones sociales y proporciona información acerca de las dimensiones de significado que los informantes utilizan para diferenciar los objetos y los acontecimientos en su mundo [4]. Además, la investigación cualitativa es conveniente para trabajar con la subjetividad de los informantes y con la capacidad de análisis y de reflexión del investigador. Otra razón por la que se

selecciona el enfoque de investigación cualitativa es debido a la posibilidad de comprender mejor las perspectivas de los sujetos de estudio que serán investigados en las instituciones de educación superior y esto le permitirá al investigador convertirse en la voz de las personas con quienes está trabajando en la investigación.

Para este trabajo se reconoce que el paradigma que se ajusta a la naturaleza de la investigación es el interpretativo. Entre las principales características de dicho paradigma están: que la realidad de hechos observables y externos se forma por significados e interpretaciones elaboradas por el propio sujeto a través de una interacción con los demás en un contexto determinado; además, considera que el conocimiento es relativo a los significados que los sujetos le otorguen a esa realidad; y por último, se hace posible la captación de la realidad tomando en cuenta la intersubjetividad de los sujetos [5].

La investigación se realizó mediante la utilización de dos estrategias de recolección de información: la primera fue la entrevista a profundidad y la segunda la de grupos focales. Los sujetos informantes de cada una de las IES seleccionadas fueron, en primer lugar, los rectores. Además, se entrevistó a funcionarios, entre los que destacan vicerrectores, decanos, directores de internacionalización y directores de programas académicos de cada una de las IES de la muestra. Adicionalmente se realizaron entrevistas a estudiantes de las IES seleccionadas. Se seleccionaron 6 de las 18 IES acreditadas en El Salvador. La selección de las universidades tomó en consideración que fueran instituciones ubicadas en las 3 diferentes regiones geográficas del país. Esta selección buscó asegurar la representatividad del estudio, incluir una variedad de contextos culturales y organizacionales y brindar una visión amplia de cómo estos enfoques didácticos se implementan en distintos entornos.

Las entrevistas se centraron en sus experiencias y perspectivas sobre el estado de la educación intercultural, identificar las modalidades de educación intercultural que las IES ejecutan, determinar si esas acciones desarrollan competencias interculturales en los estudiantes y conocer algunas estrategias curriculares y extracurriculares de educación intercultural para el sistema de educación superior salvadoreño.

Después de realizada cada entrevista y grupo de enfoque, se procedió a la transcripción de la información recolectada de parte de los informantes, para el posterior análisis y emitir los informes requeridos para estas actividades. En total se realizaron seis grupos de enfoque y diez entrevistas individuales durante el proceso de la presente investigación. El total de sujetos informantes entrevistados fue de 37 personas. Todos los resultados fueron digitalizados y categorizados por medio del uso del software QDA MINER, herramienta informática para el análisis de datos cualitativos. Esta aplicación permite crear categorías, codificar respuestas, realizar anotaciones y hacer recuperación de codificación para análisis de las entrevistas. [6]

## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La ejecución de las entrevistas proporcionó suficiente información para elaborar un análisis interpretativo, el cual está estructurado en torno a una serie de temas considerados relevantes para esta investigación. Entre estos parámetros, que son objetivos de la presente investigación, se pueden mencionar, los siguientes: la educación intercultural y su estado en las IES salvadoreñas, las modalidades de las acciones curriculares y extracurriculares utilizadas para la educación intercultural en las universidades, las competencias interculturales desarrolladas por estudiantes de educación superior salvadoreño, los desafíos y recomendaciones de los principales actores para consolidar la educación intercultural en las IES salvadoreñas.

Uno de los resultados que vale la pena destacar es que se ha podido constatar que, en toda la comunidad universitaria en El Salvador, se tiene un claro y evidente reconocimiento de que la sociedad salvadoreña es una sociedad con una amplia diversidad cultural. Que esa realidad debe ser un motivo para que se promueva, de mejor manera, la educación intercultural en las universidades. Este reconocimiento de la multiculturalidad contradice el discurso oficial sobre monoculturalidad existente en el sistema educativo salvadoreño. Cada una de sus participaciones dejan claro que la diversidad está marcada por muchas características sociales y personales que han ido moldeando la identidad del pueblo salvadoreño y que esto genera una diversidad cultural importante en la sociedad de El Salvador.

También la investigación examinó sobre la conceptualización que tienen funcionarios y estudiantes acerca de la educación intercultural. Este punto presenta resultados interesantes ya que es un tema

conocido por la totalidad de los miembros de la comunidad académica, tanto por parte de los funcionarios como de los estudiantes. Pero es importante recalcar que el nivel de conocimiento sobre ello es diverso entre los entrevistados. Los hay desde aquellos que tienen una idea clara y reconocen el propósito y la necesidad de la educación intercultural, hasta algunos que aparentemente no lo tiene tan claro. Sin embargo, todos los entrevistados reconocen que la educación intercultural es una estrategia formativa que ayuda para que los estudiantes desarrollen habilidades interculturales para el reconocimiento y aceptación, o tolerancia, con otros grupos que tienen distintas visiones culturales a las propias.

Con relación al estado de la educación intercultural en las universidades salvadoreñas, todos los entrevistados coinciden en que existen algunos avances en este tema, pero este avance no es homogéneo en todas las IES salvadoreñas, hay casos en los cuales las actividades de educación intercultural son principalmente acciones que se realizan fuera de la formación curricular establecida en los planes de estudio, pero también las hay quienes ya las han incorporado en los procesos formativos curriculares. Las declaraciones de los estudiantes están más divididas sobre el estado de la educación intercultural en sus universidades. Hay opiniones que creen que es algo incipiente hasta aquellas que aseguran un desarrollo importante en la formación intercultural en sus universidades.

Entre las acciones dentro del currículo, se ha manifestado que existen asignaturas específicas dentro de los planes de estudio que abonan a la educación intercultural en los estudiantes. Además, observan que hay otras asignaturas en las cuáles sólo se tiene alguna unidad dentro del programa de la asignatura, que responden o está enfocado a temas de interculturalidad. Otro aspecto para destacar es que los estudiantes reconocen que hay casos en los cuales, aunque las asignaturas y su contenido programático no están directamente relacionados con la interculturalidad, los docentes le integran algunos enfoques personales al momento del desarrollo de las clases, que son afines con educación intercultural.

Desde el aspecto de actividades extracurriculares, es donde se señalan que hay mucha diversidad de acciones. Entre este tipo de actividades se reconoce, mayormente de parte de los estudiantes, que una de las acciones más fuertes son las relacionadas con la internacionalización de la educación, ya sean estas actividades en la forma de movilidades presenciales, de intercambios por semestre, pasantías de corta duración, asistencia a congresos internacionales, etc. Pero también, de manera virtual, por medio de acciones de internacionalización en casa como proyectos de aprendizaje colaborativo en línea (COIL), clases espejo, profesores visitantes, proyectos internacionales conjuntos, etc.

Los estudiantes, funcionarios y rectores indican que son importantes las acciones mediante las cuales los estudiantes son expuestos directamente a la realidad social de nuestro país, tanto en zonas urbanas deprimidas económica y socialmente, como a comunidades que están ubicadas en zonas rurales y que son comunidades vulnerables. Las acciones en esta línea son el servicio social estudiantil, acciones de vinculación social o programas de voluntariado disponibles las IES. Otra actividad extracurricular mencionada son las actividades relacionadas con el arte y la cultura y la pertenencia a sociedades estudiantiles, ya sean asociaciones locales o internacionales. Otras de las actividades extracurriculares son las ferias culturales, visitas guiadas a regiones que tengan significados culturales o que incluyan visitas a comunidades descendientes de pueblos originarios.

En este proyecto se investigaron cuáles son las competencias que, a criterio de rectores, funcionarios y estudiantes, han sido desarrolladas en los alumnos de las universidades incluidas en el estudio. Entre las competencias más declaradas están las siguientes: solidaridad, tolerancia, diálogo intercultural, respeto, reconocimiento y valoración de lo diverso, habilidades para la comunicación, trabajo en equipo inclusivos, convivencia, sensibilidad intercultural, mediación intercultural, empatía cultural, equidad, inclusión y cultura de paz.

## 4. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió sistematizar el conocimiento relacionado con la educación intercultural en las universidades salvadoreñas, conocer el nivel de la formación intercultural que se desarrolla en las IES salvadoreñas y se detectaron algunas de las brechas que existen entre la educación intercultural y las competencias interculturales requeridas para los estudiantes universitarios salvadoreños.

En la presente investigación se realizaron diversas acciones para conocer el estado de la educación intercultural en las universidades de El Salvador. Se ha establecido que la educación intercultural, tiene como centro del proceso educativo al estudiante, pero requiere de la participación de toda la comunidad

educativa. También se ha detectado la importancia de capacitar a los docentes y al personal de apoyo a la docencia para poder atender y trabajar adecuadamente con personas de origen culturalmente diverso.

Con base en los hallazgos, se puede manifestar que el significado de la educación intercultural no es homogéneo entre todos los sujetos informantes, sin embargo, se puede afirmar que, aunque es diferenciado, es suficiente para reconocer que la educación intercultural ayuda bastante a la formación integral de los estudiantes y a mejorar los niveles de las relaciones personales y sociales dentro de la sociedad salvadoreña.

Es necesario resaltar que las respuestas que han dado los estudiantes también reflejan un interés importante por la educación intercultural. Ellos identifican las acciones de educación intercultural realizadas por las IES y creen que deben difundirse todavía más entre los posibles interesados, pero también sugieren que conviene poner, a la disposición de los estudiantes, más opciones para desarrollar competencias interculturales.

Después de la investigación, se puede aseverar que, aunque no se visualiza una sistematización profunda sobre las acciones de educación intercultural realizada por las universidades, hay testimonios sobre que la mayoría de IES está realizando acciones que buscan fortalecer las competencias interculturales entre sus estudiantes. Estas acciones son reconocidas tanto por estudiantes como por rectores y funcionarios, admitiendo que todavía se debe perfeccionar y sistematizar más la educación intercultural.

la educación intercultural tiene una contribución al desarrollo de competencias interculturales en los estudiantes. Que esta contribución pudo haber sido logrado por diversas acciones y modalidades de educación intercultural en las cuales el estudiante ha participado. Los estudiantes manifiestan que la formación recibida y las actividades realizadas en la universidad a la que pertenecen contribuyó al desarrollo de las competencias listadas, pero también expresan que otro factor importante ha sido su participación en movimientos sociales, ya sea que hayan sido organizados en la comunidad en la que vive o planificadas por la iglesia en la que se congrega.

Los resultados obtenidos de esta investigación se estructuraron en torno a una serie de temas considerados relevantes, entre los que se pueden declarar que existe la convicción que la educación intercultural es un factor importante que puede crear espacios para la construcción de la convivencia y un buen apoyo para la formación del profesorado en educación intercultural. Además, puede aportar para evitar la reproducción de estereotipos y prejuicios como resultado de las acciones interculturales en los procesos formativos. Estos son grandes pilares en los que se apoya la educación intercultural, tal y como se ha puesto de manifiesto en el componente teórico de este trabajo, el cual permite explorar el contenido expresado acerca de cada uno de los aspectos del tema discutido.

Algunas de las brechas que se detectaron durante las entrevistas y las investigaciones documentales realizadas en la investigación, son las siguientes:

- El tema de la educación intercultural no está explícitamente presente en las planificaciones estratégicas de las IES investigadas.
- No se pudo evidenciar que las autoridades universitarias tengan una concepción de carácter institucional sobre educación intercultural y tampoco hay una definición homogénea acerca de ella entre los funcionarios de una misma IES.
- No se encontraron informes sistematizados sobre las acciones de educación intercultural que cada universidad haya realizado en las diferentes unidades de la institución.
- Ninguno de los funcionarios entrevistados manifestó la existencia de ejes curriculares sobre educación intercultural en la formulación de los planes de estudio vigentes en las universidades.
- Otro aspecto que se ha revelado es que no se tienen definidas las proyecciones, que cada universidad tiene planificadas, para ser implementadas dentro de los procesos formativos con los estudiantes.

Como ya se ha dicho antes, la mayoría de los rectores y funcionarios están conscientes de que, aunque se están realizando acciones que abonan a la educación intercultural, existen brechas que deben ser atendidas

tan pronto sea posible y dan sus opiniones y recomendaciones sobre cómo se podría retomar en la planificación estratégica de las acciones de educación intercultural en un futuro inmediato.

**REFERENCIAS**

1. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO. "Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural" Digital Library. Paris. Francia. 2001.
2. García, Alicia. "La educación intercultural en Segovia desde la perspectiva de sus protagonistas. Aportaciones a la formación del profesorado". Director Luis Torrego Egido. Tesis de doctorado, Universidad de Valladolid, 2014.
3. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO. "Directrices de la UNESCO sobre la educación intercultural" https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147878_spa. 2001
4. Flick, Uwe. *Introducción a la Investigación Cualitativa.* Madrid: Editorial Morata, 2007. ISBN 978-84-7112-480-7.
5. Guba, E. G., & Lincoln, Y. S." Paradigmas en competencia en la investigación cualitativa. En Por los rincones". *Antología de métodos cualitativos en la investigación científica*, 2009, vol 1, pp. 113-145.
6. Provalis Research. *QDA MINER TUTORIALS AND DEMOS* [en línea]. Montreal, Canadá. [ref. 20 de septiembre de 2024]. Disponible en Web: https://provalisresearch.com/es/resources/tutorials/.

**Sobre el autor**

Ing. Nelson A, Quintanilla Juárez. PhD. Director de Cooperación y Desarrollo Profesional de la Universidad Don Bosco en El Salvador. Miembro de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros Mecánicos, Electricistas, Industriales y Ramas Afines (ASIMEI). Miembro de la Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines (COPIMERA). Par evaluador para acreditación de programas de Ingeniería y Arquitectura de la Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería (ACAAI).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA INTERDISCIPLINARIEDAD Y EL IDIOMA INGLÉS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS

**1 Martha Pérez Labrada, 2 Caridad María.Cazañas Marisy, 3 Ainelis Díaz pérez**

1, 2, 3 Centro de Idiomas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE
mperez@icb.cujae.edu.cu
charity@icb.cujae.edu.cu
ainelisdi@icb.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La formación de profesionales en Cuba requiere del dominio del idioma inglés, el cual no solo se usa para la comunicación en la vida diaria, sino también con propósitos específicos dirigido a darle solución a problemas sociales, económicos, ambientales, etc. Por tanto, es necesario que las diferentes asignaturas que forman el currículo de las carreras en ciencias técnicas se vinculen para graduar profesionales competentes. En este sentido, el idioma inglés constituye una herramienta fundamental, ya que a través de algunos temas que se presentan se vinculan a temas que se abordan en otras y tributan a la interdisciplinariedad y a la formación integral de los futuros profesionales. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar algunas tareas diseñadas para vincular temas de asignaturas que conforman el currículo del ingeniero y el arquitecto con el idioma inglés y que se imparten a través de cursos en inglés con fines específicos, los cuales ayudan en la preparación del estudiante en el idioma para elevar su competencia comunicativa y contribuyen a su formación profesional.

**PALABRAS CLAVE:** idioma inglés, formación, interdisciplinariedad, profesionales, tareas

## INTERDISCIPLINARITY AND THE ENGLISH LANGUAGE IN TRAINING ENGINEERS AND ARCHITECTS

**ABSTRACT**

In Cuba, the training of professionals requires the mastery of the English language, which is not only used for daily communication but also for solving social, economic, environmental and other problems. For this reason, it is of great importance that the different subjects that make up the curriculum for technical sciences link together to contribute in the preparation of competent professionals. In this way, the learning of English language through courses for specific purposes constitutes an essential tool, because some topics delivered are related to topics taught in other subjects. This makes possible the carrying out of interdisciplinarity and the integral training of future professionals. This paper is aimed at presenting some tasks designed to achieve the interdisciplinary character of English language with other subjects in order to keep on improving the students´ communicative competence and influence on their professional education.

**KEY WORDS:** English language, training, interdisciplinarity, professionals, tasks.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales a nivel mundial reclaman una nueva forma de concebir el proceso de formación en las universidades, en el que es esencial el estudio, el dominio de las lenguas extranjeras, particularmente el idioma inglés, como la lengua de más amplia difusión internacional.

Resulta imperativo entonces considerar y potenciar el estudio de este idioma en las universidades cubanas para la comunicación internacional desde dos direcciones fundamentales: como instrumento que garantice la formación, auto superación y actualización académico - profesional y como vía de comunicación entre profesionales. En este sentido, se considera que el futuro egresado posea habilidades de comunicación oral y escrita en idioma inglés, lo que se garantizará mediante el diseño e implementación de una estrategia concebida para tales fines. [1]

El proceso de enseñanza - aprendizaje tiene entre sus objetivos no solo instruir al estudiante de los conocimientos que le permitan desarrollar habilidades para la solución de problemas relacionados con su perfil profesional, sino también, integrar el contenido de las diferentes asignaturas del currículo para contribuir a la formación integral del estudiante.
La formación en idioma inglés de los estudiantes de la educación superior está basada en el modelo del profesional de las carreras y se concibe como parte del proyecto educativo, socio–político y cultural de las universidades y las carreras. En consecuencia, esta formación se desarrolla simultáneamente en tres direcciones: [2]

a) La formación intensiva mediante un sistema de cursos con fines generales y fines específicos, así como de servicios académicos (talleres, tutorías, asesorías), que se imparten en las universidades fuera del Plan del Proceso Docente (PPD).
b) La formación extensiva mediante la estrategia curricular de idioma inglés en las carreras como parte de la formación académica, laboral, investigativa y extensionista de los estudiantes.
c) La autogestión del aprendizaje del inglés de los estudiantes a partir de los servicios académicos que se prestan en las universidades y de otras vías disponibles.

Es por ello que, durante el proceso de enseñanza – aprendizaje, los contenidos no deben estar enfocados de forma aislada, sino en función de lograr un vínculo interdisciplinario que favorezca la integración de los mismos para tributar al desarrollo del pensamiento lógico, los procesos de análisis, síntesis, inducción y deducción que favorecen al desarrollo de habilidades y capacidades para la formación de un profesional competente.

El desarrollo de habilidades para el aprendizaje del idioma inglés no solo constituye una herramienta para elevar el nivel cultural y técnico, sino también tributa en la formación académica profesional del futuro ingeniero y arquitecto. En este sentido, en los Centros de Educación Superior en Cuba, se lleva a cabo la política de perfeccionamiento del idioma inglés la cual se aplica de forma gradual y creciente, lo que permite egresar profesionales competentes en el dominio de este idioma. [3]

En la formación de un futuro ingeniero o arquitecto no solo debe tener conocimientos acerca de su profesión, a la vez, deben adquirir conocimientos relacionados con temas que apoyen, amplíen y refuercen los contenidos. Las tecnologías de la información y las comunicaciones, el idioma inglés y estudios sociales son algunos de las materias que impactan en la formación.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar algunas tareas diseñadas para vincular temas de asignaturas que conforman el currículo del ingeniero y el arquitecto con el idioma inglés y que se imparten a través de cursos con fines específicos, los cuales ayudan en la preparación del estudiante en idioma inglés para elevar su competencia comunicativa y contribuir a su formación profesional.

## 2. DESARROLLO

### Importancia del idioma inglés en la formación académica del futuro ingeniero y arquitecto

El estudio del idioma inglés debe permitirles a los estudiantes no solo comunicarse en situaciones de la vida diaria sino también acceder a información relacionada con su perfil de estudio, entenderla, y así poder utilizarla para comunicar sus informes, investigaciones, e interactuar con colegas. Por tanto, el idioma inglés es importante no solo como una herramienta para la formación académica del estudiante, sino también contribuye a la formación de valores en los mismos.

Para llevar a cabo esta tarea, es nuestra responsabilidad como profesores guiarlos en el desarrollo de las habilidades comunicativas en la lengua extranjera, que le permitan relacionarse con los contenidos de otras asignaturas del currículo y resolver tareas para darle solución a problemas encontrados durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El uso del idioma inglés debe servir como instrumento de formación, de auto superación y de actualización académico profesional por lo que la utilización práctica del idioma y su desarrollo debe implementarse través de las asignaturas y actividades del currículo con una participación creciente de la independencia cognoscitiva del estudiante. Además, tributa a la vinculación interdisciplinaria de las asignaturas dentro del plan de estudio para cumplir con su función de ser un instrumento de trabajo y coadyuva a la formación de una cultura general integral del futuro egresado. [1]

En el perfeccionamiento de la educación superior, la formación de profesionales con un dominio del idioma inglés se convierte en un objetivo fundamental a trabajar de forma sistemática sobre bases científicas, en tanto que, el dominio del idioma inglés como instrumento de formación, vía de acceso y de gestión del conocimiento y de acceso a la cultura, permitirá elevar la calidad de su formación, su reconocimiento y nivel de competitividad, respondiendo así a las necesidades y proyecciones de la formación integral del profesional, y en consecuencia, generando un impacto mayor en la formación del profesional y en el desarrollo socio-económico y cultural del país. [4]

Las universidades cubanas deben lograr los niveles deseados en el dominio de la competencia comunicativa en el idioma inglés que requiere un profesional. En este sentido el Ministerio de Educación Superior (MES) adopta el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas (MCERL) como base de la política nacional para la enseñanza del idioma inglés que se imparte en las carreras de ingeniería y arquitectura. [4]

En la puesta en práctica del perfeccionamiento del idioma ingles en el Centro de Idiomas de la Cujae se lleva a cabo un trabajo metodológico que incluye la selección de los contenidos a impartir para los cursos generales entre otros aspectos importantes, y se trabaja, además, en el diseño de cursos específicos que tributan a algunas de las carreras de ingeniería.

El propósito que se pretende con el diseño de los cursos específicos es lograr elevar el conocimiento de los estudiantes en relación con su perfil profesional, la búsqueda de información que le ayude en su preparación para la vida laboral y científica, así como en sus relaciones con colegas tanto nacionales como foráneos.

Es por ello, que también se hace necesario la utilización de materiales que son de interés para los estudiantes; que son aportados por otras asignaturas, y ayudan a ampliar sus conocimientos a través de la vinculación interdisciplinaria.

### Interdisciplinariedad

En este sentido algunos autores se refieren al concepto de interdisciplinariedad como
acto de cultura: el acercamiento a las relaciones de interdependencia es más amplio y abarcador y no exclusivo de un área del saber. [5]

Otro autor refiere que la interdisciplinariedad es la habilidad para combinar varias disciplinas, es decir, para interconectarlas y ampliar de este modo las ventajas que cada una ofrece [6]

La interdisciplinariedad exige la profundización en el contenido de las disciplinas que estudia cada profesional considerando las interrelaciones y los aportes de otras materias para la solución de problemas profesionales a los que se enfrentará en su desempeño profesional. [7]

La interdisciplinariedad en la enseñanza del inglés se construye desde la misma dinámica de trabajo que la sustenta. La integración en un saber profesional, de los saberes pedagógicos, de la especialidad y de otros que se requieran, demanda un espacio en el currículo de formación. De manera que esta tenga, progresivamente, la oportunidad de construirse en forma explícita e intencionada, a través de todo el proceso formativo del futuro profesional, para que pueda después continuar su desarrollo en el ejercicio de una forma armónica con el progreso social actual. [8]

Para lograr que el idioma inglés continúe favoreciendo positivamente en la formación del futuro profesional, se hace imprescindible la necesidad de impartir cursos con fines específicos en inglés para el desarrollo cognitivo y comunicativo de los estudiantes con el fin de que alcancen el nivel intermedio (B1) que se les pide como requisito de graduación. De esta forma, se analizan temas vinculados con otras asignaturas que se consideran son de interés para los estudiantes y permiten realizar un trabajo interdisciplinario. Para ello, se han considerado temas relacionados con el medio ambiente, su importancia, los elementos que lo componen, cuidado, factores de destrucción, etc. Otros temas de actualidad tales como el uso de las nuevas tecnologías, inquietudes de los jóvenes, adicciones, solo por mencionar algunos.

Además, se puede hacer uso de los libros y las Guías de Estudio que fueron diseñados y elaborados por profesores del Centro de Idiomas, y cuyos temas fueron colegiados con los especialistas quienes contribuyeron en su selección. El uso de la plataforma Moodle y la nube son importantes apoyos tecnológicos, al igual que el trabajo con documentos tales como artículos y resúmenes relacionados con el perfil de estudio.

Se considera que continuar desarrollando las habilidades de audición, lectura, escritura y expresión oral a través del curso con fines específicos posibilitará al estudiante un mejor desempeño en la comunicación oral y escrita a través de contenidos que contribuyan y promuevan la investigación para la solución de problemas, y de este modo, los ayudará en su preparación como futuro profesional.

**Descripción de la tarea**

En este sentido, la clase de idiomas se convertiría en un escenario donde se exponen y debaten temas que son importantes desde el punto de vista de la formación académica-profesional, ya que presentan temas relacionados con la salud, el impacto de los cambios ambientales, lugares culturales e históricos relevantes, el uso del idioma, importancia de la práctica del deporte, impacto de las tecnologías, avances ingenieriles en los diversos campos, además de otros temas, que pudieran ser propuestos por los mismos estudiantes. De este modo, el estudiante se convierte en un ente activo en la adquisición y aplicación del conocimiento en la solución de problemas.

Uno de los temas está relacionado con la asignatura Preparación para la Defensa y es, a partir de él que se prepararon algunas de las tareas que mostramos:

Debido a nuestra posición geográfica, nuestro país está expuesto todos los años al embate de eventos naturales tales como ciclones y huracanes. Afortunadamente, Cuba cuenta con un sistema de protección que permite tomar medidas para evitar o reducir las pérdidas de vidas y daños materiales. Además, la región oriental del país, específicamente, en Santiago de Cuba se están produciendo esporádicos movimientos sísmicos que, aunque no necesariamente se consideran terremotos, al igual que para los ciclones, huracanes e incendios forestales, existe un equipo preparado para prevenir, amortizar y poner en práctica todas las medidas de nuestro sistema de protección con vistas a evitar daños mayores.

Uno de los temas está relacionado con los desastres naturales que más daño causan, los huracanes. El mismo pudiera ser presentado y discutido por los estudiantes como parte de su auto preparación, presentación (ppt), y evaluación.

Para ello, la utilización del video constituye una forma interactiva como recurso educativo y de presentación del tema donde el estudiante hará una introducción del mismo como motivación.

A través de la auto preparación, la información que se obtiene en la búsqueda, así como y el video, el estudiante adquiere no solo vocabulario relacionado con su especialidad en idioma inglés, sino también puede responder a preguntas sobre el tema, que le realice el resto de los estudiantes; además le permite utilizar la información para la solución de diferentes tareas, hacer resúmenes de forma oral y escrita, debatir o comentar acerca del tema de manera individual, en parejas o en pequeños grupos, favoreciendo el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

De esta manera, los estudiantes deben ser capaces de describir las características de determinado evento a tratar desde el punto de vista geográfico, social, económico, etc. y describir las manifestaciones de dicho evento en las diferentes regiones donde ocurren. También deben enumerar las acciones que se desarrollan en nuestro país para hacerle frente a los eventos naturales que nos afectan. Además, deben establecer un paralelo con respecto a lo que se hace en nuestro país y como es la situación en otros países.

Esta actividad puede ser realizada por estudiantes de ingeniería y de arquitectura

**Temas propuestos**

- Natural disasters that affect our country. Hurricanes/cyclones: Concept, characteristics, types, consequences/damages, common regions affected by the natural event, measures taken by the Civil Defense to reduce the damages.
- Renewable Energy. Concept, characteristics, classification, sources, importance and how the use renewable energy can contribute to the economic development in Cuba.
- Importance of information and communication technology (ICT) in society. Objectives, function, types, advantages, disadvantages and components

**Ejemplo de uno de los temas:** El trabajo de la Defensa Civil en Cuba ante los desastres naturales

**Objetivo:** Expresarse oralmente a través del debate.

**Procedimiento:**

- Formación de pequeños equipos. Cada equipo tiene asignado un tema a presentar
- Presentación y explicación desde el punto de vista geofísico de las características que presenta la región del país que la hace vulnerable a un evento natural.
- Análisis comparativo de cómo se protege en nuestro país la vida y los recursos con respecto a otros países que han sido azotados por eventos naturales.
- Utilización de medios de enseñanza como videos, diapositivas u otro material que resulte para el desarrollo de la actividad.
- Toma de notas por parte del resto de los equipos para formular preguntas, dar sus criterios y debatir
- Propuesta de evaluación colectiva e individual tomando en cuenta la calidad de la presentación y el desempeño de los participantes

**Tarea**

Make an oral presentation about one of the tropical systems chosen

## 3. CONCLUSIONES

1. El conocimiento de un idioma extranjero se considera un elemento importante en la educación de los estudiantes universitarios para así contribuir a su formación como futuros profesionales.

2. El idioma inglés constituye no solo una herramienta para interactuar en temas cotidianos, sino también a través de temas relacionados con otras asignaturas que se pueden impartir en cursos con fines específicos para continuar la formación de los estudiantes de ingeniería y arquitectura, con el objetivo de establecer una vinculación interdisciplinaria.

3. La interdisciplinariedad ayuda a promover la investigación en temas relacionados con la carrera que se estudia y su aplicación práctica en la vida laboral y social.

**REFERENCIAS**

1.MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Documento Base para el Diseño de los Planes de Estudio "E", junio 2016.
2. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR Resolución 165- 2019, Artículo 4. 2019. Ministerio de Educación Superior
3. GONZÁLEZ, J M, DOMÍNGUEZ GÓMEZ Z. La política de perfeccionamiento de la enseñanza del inglés en la educación superior cubana y el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas (MCERL). Universidad de Matanzas " Camilo Cienfuegos" Monografía 2017.
4. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Documento base sobre el perfeccionamiento de la enseñanza del inglés (proyecto). 2017.
5. ESPINOSA, FREIRE E. La interdisciplinariedad en el proceso docente educativo del profesional en la educación. Universidad Técnica de Machala. Editorial Universo Sur. ISBN: 978-959-257-516-5. 2018. https://www.researchgate.net
6. DE LA TEJERA, CHILLÓN N, CORTÉS SENDÓN C, VIÑET LM and et al. La interdisciplinariedad en el contexto universitario. Revista Panorama. Cuba y Salud 2019. Vol 14. No 1. ISSN; 1991-2684, RNPS: 2136
7. BELL RODRÍGUEZ, RAFAEL F and et al. Interdisciplinariedad, aproximación conceptual y algunas consideraciones para la educación inclusiva. Universidad Regional Autónoma de Ecuador. Uniandes EPISTEME. Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación ISSN 1390-9150 Nro1/enero-marzo/Año 2022/p. 112.
8. VIZCARRA, BAZÁN M I and et al. La interdisciplinariedad del inglés en el currículo universitario y su importancia en la formación de profesionales competentes. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. 2016. https://www.researchgate.net

**Sobre los autores**

MSc. Martha Pérez Labrada es profesora de inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana, con una gran experiencia en la docencia y ostenta la categoría principal Asistente. Ha impartido cursos en pregrado y posgrado con calidad. Ha sido miembro del tribunal para cambio de categoría docente. Realiza una labor meritoria desde el punto de vista metodológico e investigativo en el campo de la didáctica para la enseñanza de las lenguas.

Lic. Caridad María Cazañas Marisy es profesora de inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene una vasta experiencia en la docencia y ostenta la categoría principal Auxiliar. Ha impartido diversos cursos en los niveles de pregrado, posgrados y en las empresas que lo solicitan. Es miembro del tribunal para cambio de categoría docente, para la obtención de categoría científica y para las clases de comprobación. Ha realizado trabajo metodológico e investigativo en el campo de la didáctica para la enseñanza de las lenguas.

Lic. Ainelis Díaz Pérez es profesora de inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Tecnológica de La Habana. Tiene experiencia en la docencia y ostenta la categoría principal Asistente. La profesora se destaca por su preparación metodológica e investigativa, sobre todo, en el campo de la didáctica. Ha impartido cursos en pregrado con calidad. Realiza una labor importante desde el punto de vista metodológico e investigativo.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE PROFESIONALIZACIÓN PARA LOS PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

**Ing. Guillermo Manuel Negrín Ortiz[1], Dr. C. Norberto Valcárcel Izquierdo[2], Dr. C. Yoan Martínez Márquez[3], MSc. Yalice Gámez Batista[4]**

[1,3,4]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera de San Antonio Km 2 y medio, Boyeros, La Habana, [2]Universidad de Ciencias Médicas de la Habana, Calle 146 # 3102, Playa, La Habana
[1]e-mail:gmnegrin@uci.cu

## RESUMEN

La mejora del desempeño es un proceso constante y consciente que se lleva a cabo de manera continua a través de la profesionalización dentro del marco del mejoramiento en lo profesional y lo humano que brinda la teoría de la educación avanzada. Este trabajo propone la selección del enfoque de valoración de la viabilidad de una estrategia de profesionalización para los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas partiendo de dos tipos de valoración. La primera orientada a la valoración teórica que se realiza mediante la consulta a expertos donde se selecciona el método Delphi para su procesamiento. Por otro lado, se plantea la valoración desde el punto de vista empírico con un estudio comparado donde en una fase pre-experimental se estudia el nivel de significación que tienen los cambios en la observación del desempeño profesional pedagógico posterior a la aplicación de la estrategia de profesionalización con la finalidad de cumplir con el objetivo trazado de presentar los resultados de la valoración de la viabilidad de la aplicación de la estrategia de profesionalización para los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Se valoran, por parte de los expertos, de Muy adecuado cada uno de los indicadores evaluados y en cada una de las dimensiones definidas se producen cambios significativos permitiendo demostrar la viabilidad de la estrategia de profesionalización.

**PALABRAS CLAVE:** validación, estrategia de profesionalización, sistemas de bases de datos, significación estadística.

## ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF A PROFESSIONALIZATION STRATEGY FOR PROFESSORS AT THE UNIVERSITY OF INFORMATICS SCIENCES

## ABSTRACT

Performance improvement is a constant and conscious process that is carried out continuously through professionalization within the framework of professional and human improvement provided by the theory of advanced education. This work proposes the selection of the approach to assess the viability of a professionalization strategy for teachers of Database Systems subjects in the Computer Science Engineering degree based on two types of assessment. The first is oriented to the theoretical assessment that is carried out by consulting experts where the Delphi method is selected for its processing. On the other hand, the assessment is proposed from the empirical point of view with a comparative study where in a pre-experimental phase the level of significance of the changes in the observation of the pedagogical professional performance after the application of the professionalization strategy is studied in order to meet the stated objective of presenting the results of the assessment of the viability of the application of the professionalization strategy for teachers of the Database Systems subjects in the Computer Science Engineering degree. The experts rate each of the evaluated indicators as Very Appropriate and significant changes occur in each of the defined dimensions, demonstrating the viability of the professionalization strategy.

**KEY WORDS:** validation, professionalization strategy, database systems, statistical significance.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores universitarios es un elemento que juega un papel fundamental en la actualidad [1]. La atención cuidadosa a este proceso permite que se cumplan las exigencias de calidad esperadas en la educación superior. La mejora del desempeño es un proceso constante y consciente [2] que se lleva a cabo de manera continua a través de la profesionalización dentro del marco del mejoramiento en lo profesional y lo humano que brinda la teoría de la educación avanzada [3],[4]. La Universidad de las Ciencias Informáticas mantiene desde su surgimiento el compromiso con la formación de profesionales altamente preparados en la rama de la informática que sean capaces de llevar a cabo la transformación digital de las organizaciones en Cuba [5] Una condición fundamental para cumplir este encargo es el conocimiento de asignaturas que permitan la manipulación de los datos, la optimización de los sistemas de gestión y el apoyo a la toma de decisiones. Estos temas son tratados en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas en las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos, que se encuentran en la transición del ciclo básico al ciclo profesional, por lo tanto, las acciones encaminadas al mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de sus profesores [6] tienen un impacto importante en la generalización de estos resultados a otras asignaturas y disciplinas. Para alcanzar los niveles de profesionalización [7] definidos el plan de estudios E de la Carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas [5] es necesario que la formación de los estudiantes sea de excelencia [8], [9], [10]. En opinión de los autores, en un primer paso para lograr impacto en la formación de los futuros ingenieros y mejorar el desempeño profesional pedagógico de los profesores de estas asignaturas se deben identificar los elementos que inciden negativamente su desempeño profesional pedagógico desde las dimensiones cognitiva, procedimental y actitudinal, definiendo un grupo de indicadores para su diagnóstico. Al realizar este inventario de problemas se pueden planificar acciones para mitigar estas carencias y, en segundo lugar, estas experiencias pueden ser generalizadas posteriormente a otras asignaturas y disciplinas. Las acciones anteriormente planteadas corresponden a una Estrategia de profesionalización cuyas acciones involucran formas de superación, capacitación, trabajo metodológico e investigación que producen resultados a corto, mediano y largo plazos con gran objetividad, flexibilidad y enfoque sistémico [11]. Una vez realizado el diagnóstico y ejecutadas las acciones de profesionalización es necesario valorar su viabilidad. El objetivo que persigue este trabajo está dado en: presentar los resultados de la valoración de la viabilidad de la aplicación de la estrategia de profesionalización para los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Para el estudio de la viabilidad se decide estudiar la validez desde el punto de vista teórico y empírico y luego se realiza un análisis para discutir sus resultados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La selección del paradigma de investigación mixto permite para la valoración de la viabilidad tanto de métodos cualitativos como métodos cuantitativos. La estrategia de validación que se sigue para la valoración de la viabilidad de la aplicación de la estrategia de profesionalización para los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas se fundamenta en el uso de la valoración de la viabilidad desde el punto de vista teórico y empírico. [12]

**Consulta a expertos (valoración teórica)**

Para llevar a cabo la valoración teórica se aplica la técnica de la consulta a expertos que según Ché J en 2008, se define como:
“La variante propia de la estadística no paramétrica con la necesaria valoración de no menos de 30 sujetos que desde los requisitos iniciales de identificación como expertos en un área del conocimiento o de la práctica en particular, emiten la autovaloración del estado del conocimiento de las fuentes y argumentos relacionados con el objeto que se investiga y los juicios de valor sobre el modelo que se desea construir o ya construido y se desea perfeccionar”. [13]

Para realizar la Consulta a expertos, se siguieron los siguientes pasos:

- Definición de objetivos para la selección de los expertos
- Selección de expertos
- Elaboración de cuestionarios

- Procesamiento y análisis de los resultados

De acuerdo a la metodología [13] para la selección de los expertos de la prueba de constatación teórica, se plantearon los siguientes objetivos, redactados en forma de requisitos [14] desde el punto de vista del conocimiento, experiencia y producción científica:

- Análisis teórico sobre el proceso de superación, capacitación, trabajo metodológico, profesionalización y el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas.
- Experiencia en la ejecución de Estrategias de profesionalización y el desempeño profesional pedagógico de los docentes.
- Trabajos de autores nacionales.
- Trabajos de autores extranjeros.
- Conocimiento en el diagnóstico de problemas del desempeño profesional pedagógico.
- Experiencia en el trabajo metodológico y la superación con profesores universitarios.

Al inicio del proceso de selección, se contó con la colaboración de 35 expertos, los cuales desempeñan funciones de profesores universitarios, responsabilidades metodológicas relacionadas con la formación, la superación y la investigación, Doctores en Ciencias Pedagógicas, en Ciencias de la Educación, todos poseedores de un alto nivel de conocimientos en esta área, y con una experiencia avalada por más de diez años como docentes en el nivel superior.

Esto permitió realizar un análisis objetivo desde la relación que se establece entre los conocimientos, habilidades, actitudes, valores y la propia Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Se aseguró que los expertos seleccionados conocieran el contenido de la Estrategia de profesionalización de forma impresa o en formato digital, lo que fue útil para la apreciación de los mismos, con relación a los siguientes indicadores:

- Nivel de fundamentación de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas.
- Nivel de estructuración de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas.
- Nivel de ejecución de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas.
- Nivel de organización dinámica de las acciones que se relacionan con el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas.

La confección del cuestionario que se aplicó, su comprensión, así como el procesamiento de la información aportada por los expertos, fue posible gracias a estos indicadores. Se utilizó la metodología Delphi, por ser adecuada para este tipo de investigación, al tener un nivel de confiabilidad del 99,9 % y un margen de error de 0,01. Los autores valoraron el grado de competencia de los expertos, al tener en consideración los criterios de 31 de ellos, a partir de que su coeficiente de competencia como experto (K), fue evaluado con un nivel Alto.

**Estudio comparado (valoración empírica)**

Para el estudio comparado del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos que participan en las acciones de la profesionalización se realizó la observación de 11 clases, que incluye las demostrativas y abiertas que ocurrieron en el colectivo de profesores durante el año 2023 y el primer semestre del año 2024, a los mismos individuos.

En la recogida de datos se estableció la siguiente Regla de decisión:

- Si el criterio se encontraba en Se Observa (SO), se considera como Bueno.
- Si el criterio observado está en la categoría de Se Observa A Veces (SOAV) o en No Se Observa (NSO), se considera como Malo.

Se justifica la selección de la prueba de Ji-Cuadrado de bondad de ajuste para determinar la significación de los cambios ocurridos como consecuencia de la aplicación de la Estrategia de profesionalización. En otro ámbito se selecciona esta distribución de probabilidad porque la cantidad de sujetos analizados constituye una muestra pequeña pues tiene menos de 30 profesores analizados. (Ché Soler & Pérez Jacinto, 2008)

Se propone como Hipótesis nula (H0): Si el profesor de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos participa en las acciones de la Estrategia de profesionalización, entonces no logra el mejoramiento de su desempeño profesional pedagógico.

Y como Hipótesis alternativa (H1): Si el profesor de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos participa en las acciones de la Estrategia de profesionalización, entonces logra el mejoramiento de su desempeño profesional pedagógico.

En ambas Hipótesis del Pre experimento la Variable Independiente (VI): Participación en las acciones de la Estrategia de profesionalización; la Variable Dependiente (VD): Mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores.

Una vez cumplida la Estrategia de profesionalización, se utilizaron las variables e indicadores identificados en la fase inicial de diagnóstico y fue aplicada nuevamente la guía de observación, lo que permitió realizar una valoración de la transformación ocurrida en el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez definidos los materiales y métodos para la valoración teórica y empírica se procede a presentar sus resultados para valorar la viabilidad de la aplicación de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas.

**Análisis de los resultados del Criterio de expertos.**

Una vez aplicado el instrumento se procede a realizar el procesamiento estadístico. Para ello se calcularon las frecuencias absolutas, las relativas y relativas acumuladas, estas últimas recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1: Cálculo de las frecuencias relativas acumuladas.

| | **MA** | **BA** | **AD** | **PA** |
|---|---|---|---|---|
| **Item 1** | 0.8710 | 0.9677 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 2** | 0.8065 | 0.9355 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 3** | 0.8710 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 4** | 0.7419 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 5** | 0.7419 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 6** | 0.8387 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 7** | 0.9032 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 8** | 0.7742 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Item 9** | 0.7742 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **Item 10** | 0.7742 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Se procede entonces a buscar su imagen en la tabla de la inversa de la distribución normal. Se calcula el valor de *N* mediante la fórmula (1):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{cant_{items}} Suma}{cant_{categ} * cant_{items}} = \frac{98.8}{5 * 10} = \frac{98.8}{50} = 1.98 \qquad (1)$$

Una vez obtenido el valor de *N* se procede a calcular las diferencias de *N-P* y a obtener los puntos de corte. Este cálculo se recoge en la Tabla 1:

Tabla 2: Cálculo de las imágenes según la tabla de la inversa de la distribución normal y los puntos de corte.

| | **MA** | **BA** | **AD** | **PA** | **Suma** | **Promedio** | **N-P** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Item 1** | 1.13 | 1.85 | 3.09 | 3.09 | 9.16 | **2.29** | **-0.31** |
| **Item 2** | 0.87 | 1.52 | 3.09 | 3.09 | 8.57 | **2.14** | **-0.17** |
| **Item 3** | 1.13 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.40 | **2.60** | **-0.62** |
| **Item 4** | 0.65 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 9.92 | **2.48** | **-0.50** |
| **Item 5** | 0.65 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 9.92 | **2.48** | **-0.50** |
| **Item 6** | 0.93 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.20 | **2.55** | **-0.57** |
| **Item 7** | 1.30 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.57 | **2.64** | **-0.67** |
| **Item 8** | 0.75 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.02 | **2.51** | **-0.53** |
| **Item 9** | 0.75 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.02 | **2.51** | **-0.53** |
| **Item 10** | 0.75 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 10.02 | **2.51** | **-0.53** |
| **Pto de Corte** | 0.891 | 2.809 | 3.09 | 3.09 | 98.8000 | | |

A partir del procesamiento y estudio de la información obtenida con la aplicación del instrumento se pudo constatar que los expertos consultados evalúan todos los indicadores como Muy Adecuados. En la pregunta abierta, los expertos no señalaron ningún problema de interés que pudiera ser determinante en el desarrollo de la Estrategia de profesionalización propuesta.

- El ítem número uno relacionado con el diseño de una Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas, fue valorado por los expertos como Muy Adecuado, con una significación de -0,31.
- El ítem número dos relacionado con los fundamentos de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas, fue estimado por los expertos como Muy Adecuado, con una significación de -0,17.
- De igual forma, con una significación de -0,62, fue valorado por los expertos el ítem número tres relacionado con la estructura de la Estrategia de profesionalización, como Muy Adecuado.
- El ítem número cuatro relacionado con las etapas y acciones de la Estrategia de profesionalización, fue un aspecto valorado como -0,50, en un nivel de significación de Muy Adecuado.
- El ítem número cinco relacionado con la finalidad de la Estrategia de profesionalización, fue un particular valorado como Muy Adecuado, en un nivel de significación de -0,57.

- El ítem número seis relacionado con las características de la Estrategia de profesionalización, fue un aspecto valorado como Muy Adecuado, en un nivel de significación de -0,67.
- El ítem número siete relacionado con la consideración del curso, la conferencia especializada, el entrenamiento, el taller metodológico y la autosuperación, como formas de organización para introducir la Estrategia de profesionalización, fue un aspecto valorado como Muy Adecuado, en un nivel de significación de -0,53.
- El ítem número ocho relacionado con la consideración del mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas, posibilitó que los expertos lo valoraran como Muy Adecuado, con un nivel de significación de -0,53.
- Los expertos valoraron como Muy Adecuado, con un nivel de significación de -0,53, el ítem número nueve que se relaciona con la contribución a las Ciencias de la Educación desde las relaciones que emanan de la Estrategia de profesionalización.
- El ítem número diez relacionado con la valoración general de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas, fue considerado por los expertos como Muy Adecuado, con un nivel de significación de -0,53.

Los resultados obtenidos del análisis de la Consulta a expertos permiten confirmar la viabilidad de la aplicación de la Estrategia de profesionalización para mejorar el desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas de acuerdo con las exigencias actuales de la Educación Superior en cuanto al movimiento del objeto de la carrera hacia la transformación digital de las organizaciones. En este punto se concluye que el objetivo de obtener una evaluación teórica de la Estrategia de profesionalización por parte de los expertos consultados se logra, lo que le permite avanzar en el proceso de valoración de la misma.

**Análisis de los resultados del Pre-experimento (Observación al desempeño)**

El cálculo se realiza con la fórmula de Chí cuadrado de bondad de ajuste ($\chi^2_c$) con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, es decir un 95.0 % de confiabilidad. Se compara con la tabla de valores críticos de la distribución (chi cuadrado) con grados de libertad g.l.=1. Como el nivel de significación planteado es $\alpha$ =0,05, la región de rechazo de la hipótesis nula en este caso particular es ≥ 3,84 (Pérez & Che, 2010). El cálculo de $\chi^2$ se realiza, mediante la fórmula (2):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{K} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2)$$

Donde:
$o_i$: es la frecuencia observada en cada subclase.
$e_i$: es la frecuencia esperada en cada subclase de acuerdo a la hipótesis nula.
$K$: número de subclases o categorías.

En el análisis de la significación de los cambios ocurridos en cada uno de los indicadores luego de la observación de las 11 clases, una por cada docente que participó en las acciones de la Estrategia de profesionalización, se obtuvieron resultados que aparecen en las Tablas 3, 4, 5.

Tabla 3: Resultados del análisis de la significación de las acciones de la Estrategia de profesionalización para la dimensión cognitiva

| | Antes de aplicar acciones de la estrategia | | Después de aplicar acciones de la estrategia | | | N= 11 Cambio |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Criterios | Bueno | Malo | Bueno | Malo | $\chi^2_c$ | |
| Dimensión 1: Cognitiva | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) Muestra conocimiento de las formas organizativas de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 3 | 8 | 11 | 0 | 29.33 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 100.00% | 0.00% | | |
| 2) Muestra conocimiento de los objetivos de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 5 | 6 | 11 | 0 | 13.2 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 45.45% | 54.55% | 100.00% | 0.00% | | |
| 3) Muestra conocimiento de los contenidos de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 8 | 3 | 11 | 0 | 4.13 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 72.73% | 27.27% | 100.00% | 0.00% | | |
| 4) Muestra conocimiento de los medios de enseñanza de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 3 | 8 | 10 | 1 | 22.46 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 90.91% | 9.09% | | |
| 5) Muestra conocimiento de los métodos de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 3 | 8 | 9 | 2 | 16.5 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 81.82% | 18.18% | | |
| 6) Muestra conocimiento de la evaluación de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 3 | 8 | 10 | 1 | 22.46 | $> \chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 90.91% | 9.09% | | |

En el caso de esta dimensión los resultados de todos los indicadores se encuentran dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula ($H_0$), o sea mayores que 3,84, lo que representa que la aplicación de la estrategia produce cambios significativos. En el caso del indicador 3 (Muestra conocimiento de los contenidos de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos) se puede apreciar en la Figura 1 que su significación es menor que el resto porque este se considera una potencialidad en la fase del diagnóstico del desempeño profesional pedagógico.

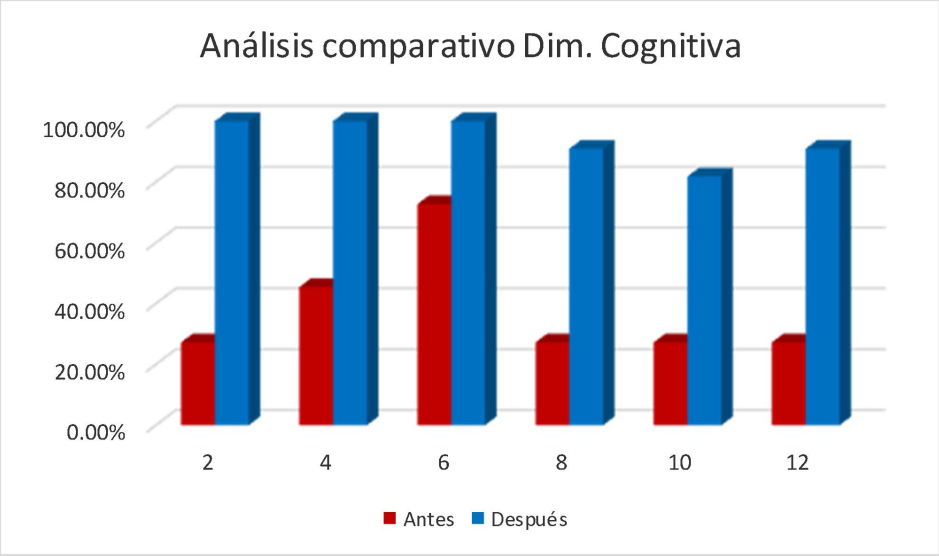



Figura 1: Gráfico comparativo antes y después de aplicación de la estrategia. Dim. Cognitiva

Tabla 4: Resultados del análisis de la significación de las acciones de la Estrategia de profesionalización para la dimensión procedimental.

| | Antes de aplicar acciones de la estrategia | | Después de aplicar acciones de la estrategia | | | N= 11 Cambio |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Criterios | Bueno | Malo | Bueno | Malo | $\chi^2_c$ | |
| Dimensión 2: Procedimental | | | | | | |
| 7) Integra los conocimientos y habilidades asociados con los modos de actuación en la dirección del aprendizaje de los estudiantes de la UCI. | 3 | 8 | 11 | 0 | 29.33 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 100.00% | 0.00% | | |
| 8) Desde las tareas docentes aprovecha las TIC para la organización del aprendizaje de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 6 | 5 | 11 | 0 | 9.17 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 54.55% | 45.45% | 100.00% | 0.00% | | |
| 9) Establece una acertada comunicación con los estudiantes de la UCI. | 3 | 8 | 11 | 0 | 29.33 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 100.00% | 0.00% | | |
| 10) Organiza acciones del trabajo en grupo en la dirección del aprendizaje de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos. | 3 | 8 | 10 | 1 | 22.46 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 90.91% | 9.09% | | |
| 11) Establece el desarrollo de los roles en las tareas docentes para el aprendizaje de los contenidos de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos desde un enfoque interdisciplinario. | 3 | 8 | 8 | 3 | 11.46 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 72.73% | 27.27% | | |
| 12) Establece nexos entre las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos desde un enfoque interdisciplinario. | 1 | 10 | 11 | 0 | 110 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 9.09% | 90.91% | 100.00% | 0.00% | | |
| 13) Establece proyectos de investigación para apoyar el trabajo docente de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos desde un enfoque interdisciplinario. | 2 | 9 | 11 | 0 | 49.5 | > $\chi^2_\tau$ = 3,84 Positivo |
| | 18.18% | 81.82% | 100.00% | 0.00% | | |

En el caso de esta dimensión los resultados de todos los indicadores se encuentran dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula ($H_0$), o sea mayores que 3,84, lo que representa que la aplicación de la estrategia produce cambios significativos. En el caso del indicador 8 (Desde las tareas docentes aprovecha las TIC para la organización del aprendizaje de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos) se puede apreciar en la Figura 2 que su significación es menor que el resto porque este se considera un indicador en desarrollo en la fase del diagnóstico del desempeño profesional pedagógico.

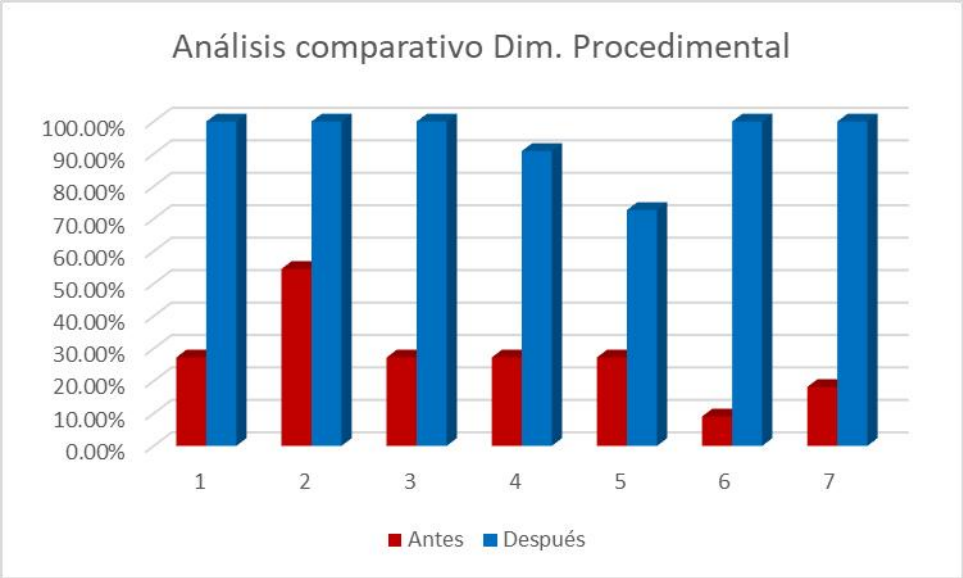



Figura 2: Gráfico comparativo antes y después de aplicación de la estrategia. Dim. Procedimental

Tabla 5: Resultados del análisis de la significación de las acciones de la Estrategia de profesionalización para la dimensión actitudinal.

| | Antes de aplicar acciones de la estrategia | | Después de aplicar acciones de la estrategia | | | N= 11 Cambio |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Criterios | Bueno | Malo | Bueno | Malo | $\chi^2_c$ | |
| Dimensión 3: Actitudinal | | | | | | |
| 14) Muestra la responsabilidad como docente en la dirección del aprendizaje de sus estudiantes. | 8 | 3 | 11 | 0 | 4.13 | $> \chi^2_\tau = 3{,}84$ Positivo |
| | 72.73% | 27.27% | 100.00% | 0.00% | | |
| 15) Muestra modos de actuación asociado con los valores en correspondencia con el perfil de egreso de sus estudiantes. | 3 | 8 | 11 | 0 | 29.33 | $> \chi^2_\tau = 3{,}84$ Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 100.00% | 0.00% | | |
| 16) Muestra modos de actuación asociado con los valores en correspondencia con el objeto de la carrera de ingeniería en ciencias informáticas. | 3 | 8 | 11 | 0 | 29.33 | $> \chi^2_\tau = 3{,}84$ Positivo |
| | 27.27% | 72.73% | 100.00% | 0.00% | | |
| 17) Revela en su comportamiento el compromiso con el proyecto social socialista de la revolución. | 6 | 5 | 11 | 0 | 9.17 | $> \chi^2_\tau = 3{,}84$ Positivo |
| | 54.55% | 45.45% | 100.00% | 0.00% | | |
| 18) Revela en su comportamiento en la conducción de la formación de los estudiantes. | 2 | 9 | 9 | 2 | 29.94 | $> \chi^2_\tau = 3{,}84$ Positivo |
| | 18.18% | 81.82% | 81.82% | 18.18% | | |

En el caso de esta dimensión los resultados de todos los indicadores se encuentran dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula ($H_0$), o sea mayores que 3,84, lo que representa que la aplicación de la estrategia produce cambios significativos. En el caso de los indicadores 14 (Muestra la responsabilidad como docente en la dirección del aprendizaje de sus estudiantes) y 17 (Revela en su comportamiento el compromiso con el proyecto social socialista de la revolución) se puede apreciar en la Figura 3 que sus valores de significación son menores que el resto porque este se consideran respectivamente una potencialidad y un indicador en desarrollo en la fase del diagnóstico del desempeño profesional pedagógico.

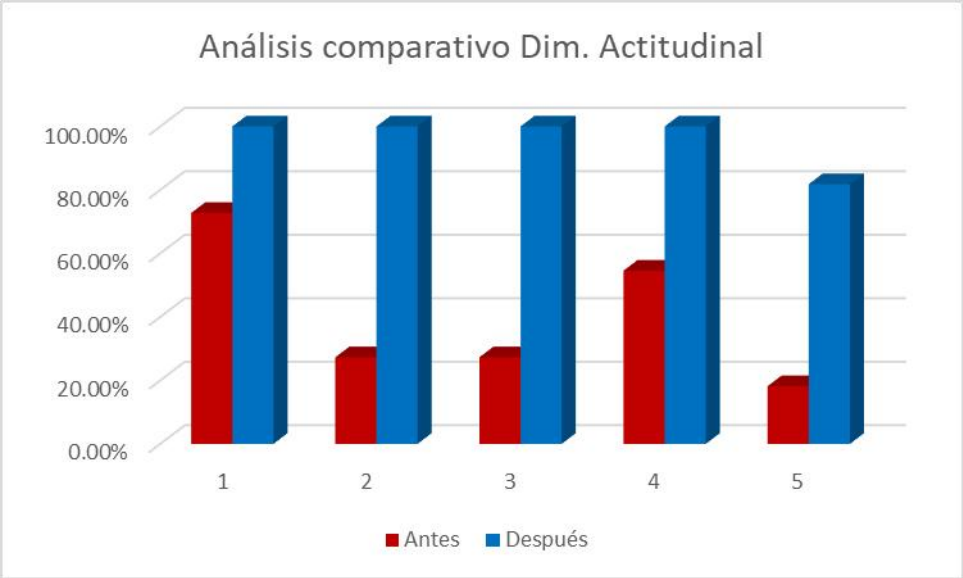



Figura 3: Gráfico comparativo antes y después de aplicación de la estrategia. Dim. Actitudinal

Los resultados para cada uno de los indicadores de las dimensiones cognitiva, procedimental y actitudinal recogidos en las Tablas 3, 4, 5, evidencian la selección de la hipótesis alternativa ($H_1$) la cual refiere que: Si el profesor de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos participa en las acciones de la Estrategia de profesionalización, entonces mejora su desempeño profesional pedagógico, lo que evidencia que es viable.

## 4. CONCLUSIONES

La valoración de los resultados de la consulta a 35 expertos y de la comparación de la observación al desempeño profesional pedagógico de los profesores que participan en las acciones de profesionalización mediante un pre experimento, permitió el análisis de la viabilidad de la Estrategia de profesionalización para el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Estos resultados permiten abrir el camino para aplicar esta estrategia de profesionalización a otras asignaturas, disciplinas y otras carreras.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad de las Ciencias Informáticas por colaborar en la realización de esta investigación sobre el mejoramiento del desempeño profesional pedagógico de los profesores de las asignaturas de Sistemas de Bases de Datos en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas

## REFERENCIAS

1. AÑORGA J. La Educación Avanzada: como proceso pedagógico para el mejoramiento del comportamiento humano La Habana, Cuba; 2020.

2. PEÑAFIEl E. Evaluación docente y desempeño profesional pedagógico: Percepción del profesorado. Mamakuna. 2023; (20): 77-90.
3. NEGRÍN ORTIZ GM, VALCÁRCEL IZQUIERDO N, MARTÍNEZ MÁRQUEZ Y, GAMEZ BATISTA Y. Profesionalización de los profesores de las asignaturas de "Sistemas de Bases de Datos I" y "Sistemas de Bases de Datos II" en la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas: Revista Referencia Pedagógica CUJAE; 2024.
4. LINARES EY, VÁLDES CM, CARDOSO CL. La formación profesional desde la visión de la teoría de la Educación Avanzada. Panorama. Cuba y Salud, 2023; 17 (3).
5. MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Plan de estudios E de la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Universidad de las Ciencias Informáticas. Comisión Nacional de Carrera. La Habana:; 2019.
6. PÉREZ VENET M, PANESSO PATIÑO V, CARDOSO CAMEJO L. El desempeño profesional pedagógico: retos para el docente universitario. Revista Mapa. 2022; 6(28).
7. BARBÓN PÉREZ OG, BORGES OQUENDO L, AÑORGA MORALES JA. La educación de avanzada ante las exigencias de los procesos de profesionalización pedagógica en la Educación Médica. 2015; 29(2).
8. ONU. Naciones Unidas. Cuba. [Online].; 2022 [cited 2022.
9. PCC. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2021-2026; 2021.
10. LINARES SOSA EY, VÁLDES NARANJO CM, CARDOSO CAMEJO CL. La formación profesional desde la visión de la teoría de la Educación Avanzada.; 2023.
11. VALCÁRCEL N, RODRÍGUEZ L, CEDEÑO L, DÍAZ A, RODRÍGUEZ L, PANEQUE Á, et al. Profesionalización en las Ciencias de la Educación Médica: Editorial UBE; 2024.
12. OLIVARES-PAIZAN G, WALTER V. Fundamentos epistémicos sobre la evaluación de la profesionalización de los docentes de la educación médica: Revista Científica Multidisciplinaria. ULEAM Bahía Magazine (UBM); 2024; 5 (9): 12-18.
13. CHÉ SOLER J, PÉREZ JACINTO O. NOCIONES DE ESTADÍSTICA APLICADAS A LA INVESTIGACIÓN PEDAGÓGICA; 2008.
14. COLADO, J., AÑORGA, J., & VALCÁRCEL, N. Resultado del proyecto de investigación sobre gestión del mejoramiento profesional y humano. Centro de Postgrado. Cátedra Educación Avanzada. ISPEJV. La Habana, Cuba, 2007. 25-30.

**sobre los autores**

Ing. Guillermo Manuel Negrín Ortiz, profesor auxiliar de la Universidad de las Ciencias Informáticas
Dr. C. Norberto Valcárcel Izquierdo, profesor e investigador titular de la Universidad de Ciencias Médicas de la Habana, Doctor en Ciencias Pedagógicas
Dr. C. Yoan Martínez Márquez, profesor e investigador titular de la Universidad de las Ciencias Informáticas, Doctor en Ciencias de la Educación
MSc. Yalice Gámez Batista, profesor auxiliar de la Universidad de las Ciencias Informáticas, Máster en Ciencias

# PROGRAMA GENERAL

# XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines

# (SIIA 2024)

**PROGRAMA GENERAL**
**XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines**
**Del 25 al 29 de noviembre de 2024**

<table>
<tr><td></td><td colspan="6">Día / Day</td></tr>
<tr><td>Horario/ Hours</td><td>Lunes 25.11</td><td colspan="3">Martes 26.11</td><td colspan="2">Miércoles 27.11</td><td>29.11</td></tr>
<tr><td>09:00-16:00</td><td colspan="6">Acreditación</td><td></td></tr>
<tr><td>09:00-10:00</td><td></td><td>Inauguración SIIA, Sala 4. Conferencia inaugural. “Impacto de la sinergia de las funciones sustantivas en la calidad institucional de la Universidad Técnica de Manabí” Ph.D Santiago Quiroz Fernández</td><td colspan="2">Conferencias Magistrales Centrales, 09:00-10:00 horas</td><td>Sala 5 Inauguración XII Taller de Gestión Empresarial<br><br>Mesa Redonda: “Impacto de la inteligencia artificial en la dirección”</td><td rowspan="2">Sala 6 Inauguración XII Taller Internacional de Recursos Humanos<br>Conferencia No. 1:<br>“Industria 4.0 y Recursos Humanos<br>PhD Gaby Neuman y PhD Thomas Masurat<br>Technical University of Applied Sciences Wildau (TH-Wildau), Alemania.<br>Conferencia No. 2:<br>“Riesgos laborales”<br>MSc. Susana Margarita Arreola Robles. México</td><td></td></tr>
<tr><td>10:00-11:00</td><td></td><td>Sala 4. Inauguración XII Encuentro Iberoamericano de Matemática Aplicada (EIMA 2024).</td><td>Sala 5 Inauguración VII Taller de Informática Empresarial – TIE’2024</td><td>Sala 6 Inauguración XIV Taller Internacional de Calidad y Desarrollo (QUALITAS, 2024).</td><td>9:50-12:20<br>Presentación de ponencias del XII Taller de Gestión Empresarial</td><td></td><td></td></tr>
</table>

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10:10-10:30 Mesa Redonda: ¿Obsolescencia de la EIO ante el empleo de la inteligencia Artificial? | **Mesa Redonda:** "Inteligencia Artificial Generativa para la Organización" | **Conferencia magistral** Lic Antonio Vallin García, Director General de la Empresa Farmacéutica AICA | | | |
| | | 10:30 a 11:50 Presentación de ponencias del XII Encuentro Iberoamericano de Matemática Aplicada | | | | Presentación de ponencias del XII Taller Internacional de Recursos Humanos | |
| 11:00-11:50 | Acto inaugural XXI CCIA Sala 1 11:00 horas | | Presentación de ponencias del VI Taller de Informática Empresarial | Presentación de ponencias del XIV Taller Internacional de Calidad y Desarrollo | | | |
| 11:50-12:00 | | Clausura del Taller | Clausura del Taller | | | | |
| 12:00-12:50 | | **Mesa Redonda conjunta:** Transformación digital y analítica de negocios una vía para la mejora del desempeño empresarial. Moderador**:** Dr. C. Ing. José Antonio Díaz Batista. Panelistas: Dr. C. Ing. José Vilalta Alonso, Dr. C. Ing. José Lavandero García, Dr. C. Marta Beatriz Infante Abreu. Invitados: Directores de las empresas de software CEDISAP y DESOFT. | | | 12:20 a 12:50: **Mesa Redonda No.2** "Impacto del proyecto para el desarrollo de capacidades organizacionales en la Empresa Eléctrica La Habana. | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12:50-12:55 | | Clausura Mesa Redonda Conjunta | Clausura del Taller | Clausura del Taller | Clausura del Taller | |
| 12:55-13:00 | | | | **Clausura SIIA** | | |
| 13:00-15:00 | Brindis bienvenida XXI CCIA Rest. El Bucán 13:00 horas | Almuerzos. Restaurante El Bucán | | | | Almuerzo de despedida XXI CCIA. Rest. El Bucán 13:00-17:00 horas |
| 14:00-17:00 | | Encuentro líderes científicos. Sala X, 14:00 horas | | Ceremonia Condecoraciones. Sala 5, 14:00 horas | | |
| 18:00 | | Gala XXI CCIA | | | | |

# Programa Técnico

## XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines

### ENCUENTRO IBEROAMERICANO DE MATEMÁTICA APLICADA, EIMA 2024

**Día:** 26.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Rosario Garza Ríos. **Sala:** 4

| Horario | Código | Actividades y ponencias | Autores |
|---|---|---|---|
| 10:00-10:10 | **Inauguración. Encuentro Iberoamericano de Matemática Aplicada EIMA** Palabras inaugurales Dr. C. Ing. José A. Vilalta Alonso. Presidente de la carrera Ingeniería Industrial. | | |
| 10:10-10:30 | **Mesa Redonda: ¿OBSOLESCENCIA DE LA EIO ANTE EL EMPLEO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?** **Moderador:** Edith Martínez Delgado. | | José A. Vilalta, Caridad González, Rosario Garza, Estudiantes de 4to año de Ingeniería Industrial |
| 10:30-11:50 | **Debate sobre las ponencias presentadas** | | |
| | MA1 | ACTIVIDADES LÚDICAS PARA LA MOTIVACIÓN EN LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES | Edith Martínez Delgado, Rosario Garza Ríos, Beatriz Vázquez Montalván, Daniela Díaz Cabrera, Marcos D. Ruiz Sánchez |
| | MA2 | ENFOQUE MULTICRITERIO EN LA SELECCIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS | Caridad González Sánchez, Rosario Caridad Garza Ríos, Ernesto Rodríguez González |
| | MA3 | LA PROGRAMACIÓN LINEAL: HERRAMIENTA DE APOYO A LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA | Edith Martínez Delgado, Osmin Terry |
| | MA4: | UNA VISIÓN MULTICRITERIO PARA EVALUAR LA CIRCULARIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO. | Taimi Pérez Haramboure, Rosario Garza Ríos, Caridad González Sánchez, |
| | MA10 | UN ENFOQUE INTEGRAL DE UN MODELO DE NEGOCIO CIRCULAR APLICADO A LA PRODUCCIÓN DE LOS AEE EN GEDEME | Ramón Milanés García |
| | MA13: | NUEVA FORMA DE GESTIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. | Ricardo Espinosa Llanes |
| | MA5: | ANÁLITICA DE DATOS: UNA APLICACIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA CUJAE. | José A. Vilalta Alonso |
| | MA16: | EL ANÁLISIS DE DATOS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: UNA EXPERIENCIA DESDE LA DOCENCIA. | José A. Vilalta Alonso |
| | MA6: | CONTRIBUCIÓN DE LA SIMULACIÓN AL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL. | Edith Martínez Delgado, Rosario Garza Ríos |
| | MA7 | HESOEM 1.1 UNA HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DE EMPRENDEDORES | Laura R. Silveira, Caridad González Sánchez, Rosario Garza Rios, Javier E. Escalante |
| 11:50-12:00 | Clausura del VI Taller de Informática Empresarial | | |
| 12:00-12:50 | **Mesa Redonda conjunta:** Transformación digital y analítica de negocios una vía para la mejora del desempeño empresarial. **Moderador:** Dr. C. Ing. José Antonio Díaz Batista. Panelistas: Dr. C. Ing. José Vilalta Alonso, Dr. C. Ing. José Lavandero García, Dr. C. Marta Beatriz Infante Abreu. Invitados: Directores de las empresas de software CEDISAP y DESOFT. Maestrantes del Grupo GELECT | | |

# Programa Técnico

## XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines

### VI TALLER DE INFORMÁTICA EMPRESARIAL (IE)

**Día:** 26.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Marta Beatriz Infante Abreu. **Sala:** 5

| Horario | Código | Actividades y ponencias | Autores |
|---|---|---|---|
| 10:00-10:10 | Inauguración. **VI TALLER DE INFORMÁTICA EMPRESARIAL (IE)**<br>Palabras inaugurales: Ing. Sajay Souchay Alzugaray. Jefa del departamento de Informática Empresarial.- | | |
| 10:10-10:30 | **Mesa Redonda:** "Inteligencia Artificial Generativa para la Organización"<br>• Curso corto de Inteligencia Artificial para la gestión de procesos de negocio.<br>• Generative Artificial Intelligence Tools in Business Process Management.<br>**Moderador:** Jeffrey Blanco González. | | Jeffrey Blanco González, Yanelis Pavón González, Marta Beatriz Infante Abreu, Estudiantes de 4to año de Ingeniería Industrial |
| 10:30-10:50 | **Panel No. 1. Transformación digital. Experiencias de proyectos exitosos. Moderadora:** Tatiana Delgado Fernández | | |
| | SIIA-IE8<br><br>SIIA-IE9 | Caso Hotel Nacional de Cuba:<br>• Digital transformation in Cuban hospitality sector: barriers identification<br>• Efficiency And Effectiveness Gaps Analysis in the Event Management Process at Hotel Nacional de Cuba | Gladys A. Ash Hernández and Yadary Cecilia Ortega-González<br><br>Marcel Prada Pérez, Yilian Carmenate Acosta, Gladys Ash Hernández and Dayron Reyes Domínguez |
| | SIIA-IE1 | Caso Grupo Empresarial de la Informática y las Comunicaciones<br>• Transformación digital de la oficina central del GEIC, primeros avances | Gabriela Coizeau Sánchez; Dianelis Borrego Zaldivar; Elizabeth García Cuesta, Keytlin Sosa Felipe. |
| | SIIA-IE8 | Experiencias de Gemelux en la transformación digital con enfoque de innovación. | Tatiana Delgado Fernández |
| 10:50-10:55 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 10:55-11:20 | **Panel No. 2. Modelado, Arquitectura e Ingeniería Organizacional. Moderadora:** Marta Beatriz Infante Abreu | | |
| | SIIA-IE10 | Literature Review of Small Office-Home Office (SOHO) Networks Security | Sajay Souchay Alzugaray, Yadary Ortega González y Jan Reyniers |
| | SIIA-IE11 | Local development and environmental information management: an innovation project approach | Roani Ladislá Miranda Cuéllar, Jeffrey Blanco González, Martha Elena Durán Galano |
| | SIIA-IE12 | Cacao 4.0: A Methodology to Redefine Strategic Governance and Circular Economy in Cacao Production in Portoviejo | Ruiz Cedeño, S., Zirufo Briones, B., Ruiz Cedeño, A., Sablón Cossio, N., Orozco Crespo, E. |
| | SIIA-IE2 | Diseño del proceso de gobernanza de datos basado en un marco de trabajo para una organización de características singulares. | Sheyla Rodríguez Cadena, Ramiro Alejandro Corona Ramírez, Marta Beatriz Infante Abreu, Jeffrey Blanco González |
| | SIIA-IE3 | Modelado de ecosistema tecnológico para una agencia de publicidad. | Anilsi Moyet Duarte, Adriana Lucia Ruiz López, Marta Beatriz Infante |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | Abreu, Lourdes Santos Planas. |
| 11:20-11:25 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 11:25-11:45 | **Panel No. 3. Gestión Empresarial con ERP. Moderadora:** Yanelis Pavón González. | | |
| | SIIA-IE4 | Análisis del proceso de producción en DESOFT desde un enfoque a los sistemas de información. | Yenly Gavilán Cepeda, Elizabeth Martínez Vázquez, Iraima R. Rabelo Solano, Jeffrey Blanco González |
| | SIIA-IE5 | Consultoría 4.0 de proceso y sistemas ERP. | Yanelis Pavón González, Marta Beatriz Infante Abreu |
| | SIIA-IE6 | Diseño de un Observatorio utilizando funcionalidades del ERP Odoo para la creación de capacidades en los Sistemas de Producción. | Marta Beatriz Infante Abreu, Adrián Villalobos Carbonero, Jeffrey Blanco González, Hansel Lázaro Valdés Pérez, Marta Rosa Abreu Bosch. |
| | SIIA-IE7 | Experiencias en la implementación de ERP Odoo: Un enfoque práctico y efectivo. | Iraima R. Rabelo Solano, Dayron Reyes Domínguez, Marcel Prada Pérez, Sajay Souchay Alzugaray |
| 11:45-11:50 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 11:50-12:00 | Clausura del VI Taller de Informática Empresarial | | |
| 12:00-12:50 | **Mesa Redonda conjunta:** Transformación digital y analítica de negocios una vía para la mejora del desempeño empresarial. **Moderador:** Dr. C. Ing. José Antonio Díaz Batista. Panelistas: Dr. C. Ing. José Vilalta Alonso, Dr. C. Ing. José Lavandero García, Dr. C. Marta Beatriz Infante Abreu. Invitados: Directores de las empresas de software CEDISAP y DESOFT. | | |

# Programa Técnico

## XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines

### XIV Taller Internacional de Calidad y Desarrollo (QUALITAS)

**Día:** 26.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Aleida González González. **Sala: 6**

| Horario | Código | Actividades y ponencias | Autores |
|---|---|---|---|
| 10:00-10:10 | Inauguración. **XIV Taller Internacional de Calidad y Desarrollo** (QUALITAS). Palabras de bienvenida | | |
| 10:10-11:00 | **Conferencia magistral Lic Antonio Vallin García, Director General de la Empresa Farmacéutica AICA** | | |
| 11:00-11:25 | RECESO | | |
| 11:25-12:55 | Debate sobre las ponencias presentadas: | | |
| | Q1 | ANÁLISIS Y MEJORA DE LOS INDICADORES EN LA EMPRESA AGROPECUARIA MILITAR DEL OESTE DE LA HABANA. | Lester González Morejón, Aleida González González. |
| | Q2 | EL CONTROL DE INDICADORES DE GESTIÓN: ELEMENTO PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL SIG CALIDAD E INOCUIDAD DE LA UEB "WAJAY". | Claro Francisco Abá Alfonso, Aleida González González, Miguel L. Ochoa Suárez |
| | Q3 | INDICADORES PARA LA INTEGRACIÓN DE RESGOS Y PELIGROS | Jesús J. Corredeira Valdivieso, Rosario Garza Ríos |
| | Q4 | LOS COSTOS TOTALES DE LA CALIDAD Y EL SISTEMA CONTABLE DE LA EMPRESA. CASO GRANJA AGROINDUSTRIAL MILITAR "WAJAY". | Orailys Fraga Hernández, Rosario Garza Ríos |
| | Q5 | LA GESTIÓN DE LA CALIDAD INTEGRAL Y LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EN LAS EMPRESAS AGROINDUSTRIALES DE ALIMENTOS CUBANA | Claro Francisco Abá Alfonso, Aleida González González |
| | Q6 | DISEÑO DE INDICADORES DE GESTIÓN EN LA EMPRESA DE MANTENIMIENTO A CENTRALES ELÉCTRICAS, EMCE. | Leonor Castillo Hernández, Patricia Suárez Fernández, Aleida González González |
| | Q7 | LA EVALUACIÓN DE LA PROYECCIÓN ESTRATÉGICA DE LA UNIVERSIDAD CON EL EMPLEO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN | Marcos Antonio Baños Martínez, Ester Michelena Fernández |
| | Q8 | INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO Y USO DE LOS SISTEMAS INFORMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD. | Aleida González González, Patricia Suárez Fernández. |
| | Q9 | LOS MODELOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD BAJO EL ENFOQUE DE FACTOR HUMANO | Patrica Suárez Fernández |
| | Q10 | PROCEDIMIENTO DE ADMISIÓN, MATRICULACIÓN Y BAJA DE ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS | Fe Esperanza Vivas Vivas, Freya Erika López Vivas, Walkiria Isabel López Vivas, Erick Jordan García Toaza |
| | Q11 | EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE VINCULACIÓN: | Viviana Moreira |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, ECUADOR | |
| | Q12 | METODOLOGÍAS PARA EL DIAGNÓSTICO Y LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CIRCULARIDAD EN LA GESTIÓN DE UNA ORGANIZACIÓN | Matilde Anaya Villalpanda |
| | Q13 | MODELO DE GESTIÓN PARA EL DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA | Arodis Caballero Núñez |
| | Q14 | Q14 PROCEDIMIENTO PARA MEJORAR LOS SERVICIOS DE CAPACITACIÓN DEL CENTRO DE ESTUDIO DE LA UNIÓN ELÉCTRICA. | Adriana Santana Díaz, Ester Susana Michelena Fernández2 |
| | Q15 | SISTEMA DE INDICADORES PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LAS PRÁCTICAS DE RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA BORIS LUIS SANTA COLOMA | Cira Lidia Isaac Godínez, Annia García Pereira, Darian Samá Muñoz |
| | Q16 | CADENA PRODUCTIVA DEL AZÚCAR DE CAÑA: ACCIONES PARA LA MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA HÉCTOR MOLINA RIAÑ0 | Darian Samá Muñoz, Mercedes Zenea Montejo, Cira Lidia Isaac Godínez |
| | Q17 | DISEÑO DE UN MODELO PARA EVALUAR EL NIVEL DE MADUREZ DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO | Leisis Villar Ledo, Armando Díaz Concepción, Marta Beatriz Infante Abreu, José A. Vilalta Alonso, Yinet Díaz Reyes |
| | Q18 | EL PROCESO GESTIÓN DE LAS INVERSIONES Y SU APORTE A LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO DE CUPET (2015-2024), UNA VISIÓN A LA MEJORA CONTINUA 9 AÑOS DESPUÉS. | Margarita de A. Ramírez Gotario, Gregora Pérez Carres, Isnel Díaz Cal, Francisco Quintana Charlot, Luis Enrique Basso Iznaga |
| 12:50-12:55 | | **Clausura del Taller.** | - |

# Programa Técnico

## XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines
### XII TALLER DE GESTION EMPRESARIAL (GE)

**Día:** 27.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Ernesto Hernández Calderín **Sala:** 5

| Horario | Código | Actividades y ponencias | Autores |
|---|---|---|---|
| 9:00-9:10 | Inauguración. **XII TALLER DE GESTION EMPRESARIAL (GE)** Palabras inaugurales: Ms.C. Félix Valdés Muñoz. Director del CETDIR. | | |
| 9:10-9:50 | **Mesa Redonda:** "Impacto de la inteligencia artificial en la dirección" **Moderador:** Dr. C. José Lavandero García.**-** | | |
| 9:50-10:30 | **Taller No. 1** "Desarrollo de capacidades para la gestión de la competitividad empresarial" | | |
| | GE-19 | DESARROLLO DE CAPACIDADES PARA LA GESTIÓN DE LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL DE LOS INGENIEROS INDUSTRIALES EN LA INDUSTRIA 4.0 | Roani Ladislá Miranda Cuéllar. |
| | GE-03 | LA CAPACIDAD DE CONTROL DE GESTIÓN: UN MODELO PARA SU DESARROLLO EN LAS EMPRESAS. | Felipe Pérez Carrillo, Yuniel Bolaño Rodríguez, Daniel Alfonso Robaina. |
| | GE-07 | GESTIÓN COMERCIAL EFECTIVA: ELEMENTOS ESENCIALES PARA SU DESARROLLO EN EL CONTEXTO ACTUAL. | Yunior González Núñez, Gil Ramón González, Lianet Reynaldo Ávila, Delvia González Martínez, Daniel Alfonso Robaina. |
| | GE-13 | DIAGNÓSTICO DEL DESEMPEÑO DEL EQUIPO DIRECTIVO EN LA EMPRESA DE CONSULTORÍA Y SEGURIDAD INFORMÁTICA, SEGURMÁTICA. | Niurka Edith Milanés Sarduy, Roberto López Boudet. |
| | GE-14 | METODOLOGIA PARA LA GESTION Y EL ANALISIS DE LA ESTRUCTURA FINANCIERA QUE GARANTICE EL CAMBIO DE LA MATRIZ ENERGETICA EN LA EMPRESA ACINOX COMERCIAL. | Salvador Muñoz Gutiérrez, Manuel Quintana Sánchez. |
| | GE-16 | HERRAMIENTA PARA MEDIR EL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CADENA DE SUMINISTRO. | Amanda García Marichal, Beatriz Barrios Brito, Igor Lópes Martínez. |
| | GE-05 | HERRAMIENTA BASADA EN LA LÓGICA DIFUSA, PARA CUANTIFICAR EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO. | José Raúl Orosa Almeida, Sergio Abel Rodríguez Sigarreta, Abel Piñero Rodríguez, Daniel Alfonso Robaina, Rogej Arturo Marrero Hernández. |
| 10:30-10:40 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 10:40-11:20 | **Taller No. 2 Estrategias de capacitación: resultados y perspectivas.** | | |
| | GE-12 | METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN TURÍSTICA SOSTENIBLE EN HOTELES CUBANOS | Jorge Ricardo Alfonso Muruais, Roberto López Boudet, Rafael Modesto Espinosa Almeida, Lourdes Sánchez Oramas. |
| | GE-11 | PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACION DEL NIVEL DE COMPETITIVIDAD DE LOS HOTELES DE LA SUCURSAL ISLA AZUL HABANA. | Isabel Iquierdo Betancourt. Yuniel Bolaño Rodríguez. Félix Valdés Muñoz. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | GE-01 | PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE COMUNICACIÓN EN EL GRUPO EMPRESARIAL DE AGUA Y SANEAMIENTO. | Cosset Torres Tondike. Narciso Abel Piñero Rodríguez. Daniel Alfonso Robaina. Gil Ramón González González. |
| | GE-15 | PROCEDIMIENTO INTEGRAL DEL PROCESO DE CONTRATACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS EN UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA CON ENFOQUE A SISTEMA. | Hiram La O Hernández, Legna Diaz Oliva, Ariel Racet Valdes , Daniel Alfonso Robaina. |
| | GE-10 | EXPERIENCIAS PARA EL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS PIRÁMIDES DE INVESTIGACIÓN. SUPUESTO O REALIDAD. | Ernesto E. Hernández Calderín, Ricardo Claro González |
| | GE-08 | GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN AVALÚO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA | Roberto Vázquez Hernández, Sonia Fleitas Triana, José Carlos del Toro, Daniel Alfonso Robaina. |
| 11:20-11:30 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 11:30-12:10 | **Taller No. 3 Innovación, emprendimiento y gestión universitaria. Evolución y perspectivas.** | | |
| | GE-02 | EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN. CASO DE APLICACIÓN ESTACIÓN EXPERIMENTAL “INDIO HATUEY” | Beatriz Hernández Manso, Jesús Suárez Hernández, Daniel Alfonso Robaina. |
| | GE-06 | GESTIÓN UNIVERSITARIA BASADA EN EL ENFOQUE DE PROCESOS Y GESTIÓN DE RIESGOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR | Vinces Solórzano, C. Ruiz Cedeño, SM; Alfonso Robaina, Daniel. |
| | GE-04 | CONCEPCIÓN TEÓRICA DE LA GESTIÓN UNIVERSITARIA Y MODELOS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CONOCIMIENTO | Panchana Cedeño, Roxana. J; Bolaño Rodríguez, Y; Alfonso Robaina, D , Gorozabel-Chata, FB |
| | GE-09 | GESTIÓN UNIVERSITARIA SOSTENIBLE Y PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES EN AMÉRICA LATINA | Chávez Loor, Yadira; Fleitas Triana, MS; Alfonso Robaina, D. |
| | GE-17 | MEJORAS AL SISTEMA DE CONTROL INTERNO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA (CUJAE) | Yenlys Almaguer Robledo, Hiram La O Hernandez. |
| | GE-18 | PROPUESTAS DE MEJORAS AL PROCESO DE CONTRATACIÓN EN UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA. ESTRATEGIAS Y BENEFICIOS. | Lisbet Laza Cosis, Daniela Villarreal Santibáñez, Sofía Pacheco Gordillo, Marcos Manuel Morales Mantilla. |
| | GE-20 | CALIDAD DIRECTIVA Y DESEMPEÑO EMPRESARIAL EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA HECTOR MOLINA RIAÑO | Darian Samá Muñoz, Dasiel Calzadilla Adan, Mercedes Zenea Montejo, Saily González Perdigón. |
| 12:10-12:20 | Debate sobre contenido de ponencias presentadas. | | |
| 12:20-12:50 | **Mesa Redonda: Impacto** del proyecto para el desarrollo de capacidades organizacionales en la Empresa Eléctrica La Habana. **Moderador:** Dr. C. Narciso Abel Piñero Rodríguez. | | |
| 12:50-12:55 | **Palabras de clausura del Taller** Dr. C. Ernesto Hernández Calderín. | | |

# Programa Técnico

## XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines

### XII TALLER INTERNACIONAL DE GESTION DE RECURSOS HUMANOS (GRH)

**Día:** 27.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. Cs. Armando Cuesta Santos **Sala:** 6

| Horario | Código | Actividades y ponencias | Autores |
|---|---|---|---|
| 9:00-<br>9: 05 | Inauguración. **XII TALLER INTERNACIONAL de GRH** | | |
| 9:05-<br>9:35 | **Conferencia No. 1:** "Industria 4.0 y Recursos Humanos<br>PhD Gaby Neuman y PhD Thomas Masurat<br>*Technical University of Applied Sciences Wildau (TH-Wildau)*, Alemania | | |
| 9:35-<br>10:05 | **Conferencia No. 2:** "Riesgos laborales"<br>MSc. Susana Margarita Arreola Robles México | | |
| 10:30-<br>11:40 | **Panel No. 1** | | |
| | RH-1 | **TECNOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN, ORGANIZACIÓN, COMPENSACIÓN Y CMI DE LA GRH EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DECRETO 53/2021** | Armando Cuesta Santos, Silvio Viña Brito, Aida Rodríguez Hernández, Sonia Fleitas Triana, Vania García Fenton |
| | RH-2 | **GESTIÓN DE LAS PRÁCTICAS LABORALES EN INGENIERÍA INDUSTRIALPARA LA MEJORA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y LAS RELACIONES UNIVERSIDAD-EMPRESA** | Sonia Fleitas Triana, Leisis Villar Ledo, Jeffrey Blanco Gonzalez, Patricia Suarez Fernandez, Maira Peñalver Galan, Yanet Gonzalez Acosta |
| | RH-3 | **ANÁLISIS DE ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO EN EL CENTRO MULTISERVICIOS OBISPO DE ETECSA EN LA HABANA** | Claudia Ramírez Sorí, Melisa Fong Mateus, Vania García Fenton, Jarvis Blanco Zaballa |
| | RH-4 | **GESTIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS EN LAS RELACIONES INSTITUCIONALES DE LA CUJAE** | Reyniel Gómez González, Martha Dunia Delgado Dapena, Lázara L. Cordovés,Guianeya Gutiérrez Vega |
| | RH-5 | **BUENAS PRÁCTICAS EMPRESARIALES EN EL SECTOR ESTATAL A TRAVÉS DE LA GESTIÓN DEL CAPITAL HUMANO** | Directora de Capital Humano, Unión Eléctrica de La Habana |
| | RH-6 | **REDISEÑO DEL PROCESO DE COMERCIALIZACIÓN DE SERVICIOS *CIENTÍFICO-TÉCNICOS CON IMPLEMENTACIÓN DE ERP ODOO, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA CUJAE.*** | Daniel García Martínez, Frank Alejandro Terrado Rosales, Sajay Souchay Alzugaray, Janett Rodríguez Acosta, Vania García Fenton, Rogej A. Marrero Hernández |
| | RH-7 | **INTELIGENCIA COMPETITIVA ENLA PRODUCCIÓN DE TABACOS. UN CASO DE ESTUDIO EM LA INDUSTRIA CUBANA** | Melissa Martínez Taboada Javier Carballo Pérez, |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | Karina PeñaPargas, Vania García Fenton |
| | RH-8 | **MEJORAS AL PROCESO DE TRABAJO EN UNA LINEA DE ENSAMBLAJE DE LA EMPRESA GEDEME** | Lauren Amanda Díaz Blanco , ,Melissa González Rodríguez,, Massiel Río Padrón, Hiram La O Hernández |
| | RH-9 | **MÉTODO DE TRABAJO BASADO EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO** | Rogej A. Marrero Hernández, Guillermo Arteaga Piedra, Vania García Fenton, Gretel Robert Santos |
| 11:50-12:50 | **Panel No. 2** | | |
| | RH-10 | **EL LOGÍSTICO Y SU PANEL DE MANDO, HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DEL INVENTARIO.** | Alexis Benitez Soriano, Joaquin Veranes Pérez, Igor Lopes Martínez, Legna Díaz Oliva, Amanda García Marichal |
| | RH-11 | **COMPETENCIAS LABORALES Y SU INFUENCIA EN A COMPETITIVIDAD ORGANIZACIONAL EN LA EMPRESA CUBANA DEL TABACO CUBATABACO.** | Lilia Tuero Mauriz |
| | RH-12 | **PROTOCOLO PARA ELABORAR PROYECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN OBRAS CIVILES DE ETECSA** | Alejandro Alonso Martinez, Sandra Callis Caraballoso, Aida Rodríguez Hernández, Silvio J. Viña Brito, Vania García Fenton, Sonia Fleitas Triana |
| | RH-13 | **PROCEDIMIENTO PARA GESTIONAR EL PROCESO DE FORMACIÓN DE TORCEDORES DE TABACO EN LA EMPRESA TABACO TORCIDO ARTEMISA** | Heidy Hernández Rivera, Beatriz Gutiérrez Fabelo, Liudmila Serrano Peña, Clara Maris Cruz Cotayo, María Sonia Fleitas Triana |
| | RH-14 | **CONFECCIÓN DE MÓDULOS DE SISTEMAS ANTI CAÍDAS PARA TRABAJOS EN ALTURA** | Alejandro Alonso Martínez, Alexis Sosa Alonso, Aida Rodríguez Hernández, Silvio J. Viña Brito, Vania García Fenton, Sonia. Fleitas Triana |
| | RH-15 | **DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE ORGANIZACIÓN DEL INGRESO DE PACIENTES DESDE LA MESA COORDINADORA PROVINCIAL DE SALUD EN SITUACIÓN DE CRISIS** | Danhiz Díaz Pereira, Joel Queipo Ruiz, Roberto Abreu Pérez, Sonia Fleitas Triana, Vania García Fenton, Armando Cuesta Santos |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | RH-16 | **TRANSFORMACIÓN DIGITAL, TELETRABAJO Y** | Gustavo Araujo Gutiérrez, |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | **LA GESTIÓN DEL DESEMPEÑO.** | Misley Morales Carmouze, Daniel Treasure Espinosa, Marcia Esther Noda Hernández |
| | RH-17 | **CRITERIOS SOBRE SEGURIDAD Y SALUD PARA MEJORAR EL TRABAJO EN LAS OFICINAS DEL DESPACHO PROVINCIAL DE CARGA DE LA HABANA** | Yaneilys Garcia Avila, Ileana Leyva Noa, Yanier Ricardo Álvarez y Yoel Aguilera Rodríguez |
| | RH-18 | **DESING OF A TOOL TO ASSESS COMPLIANCE WITH NC ISO 45001:2018 IN HOTELFACILITIES** | Juan Lázaro Acosta Prieto, Marcia Contreras Rodriguez, Pablo Jesús Avila-Sánchez, Joaquin García Dihigo |
| | RH-19 | **GESTIÓN ERGONÓMICA DE RIESGOS EN TRABAJADORES CON SÍNDROME POST-COVID 19** | Giraldo Benitez Solorzano, Gretel Cuartas Dueñas, Aida Rodriguez Hernández y Silvio Viña Brito |
| | RH-20 | **PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO DE EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO LOGÍSTICO DE LA UEB CITOX, AICA** | Collins Estrada Negrete, Emily Jiménez Armas, Gabriela de Lourdes García Escalona |
| 12:50-12:55 | **Palabras de clausura del Taller. Agradecer.** | | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA OFICINA CENTRAL DEL GEIC, PRIMEROS AVANCES

Ing. Gabriela Coizeau Sánchez[1]; Lic. Dianelis Borrego Zaldivar[2]; MSc. Elizabeth García Cuesta[3] Ing. Keytlin Sosa Felipe[4]
Grupo Empresarial de la Informática y las Comunicaciones. Dirección: Edificio FOCSA, calle 17 No. 55 Apto. 1F e/ M y N. Vedado. Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

Email: gabriela.c@geic.cu; dianelis.borrego@geic.cu; elizabeth.garcia@geic.cu; keytlin.sosa@geic.cu

**RESUMEN**
Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son fundamentales en el entorno empresarial actual, impulsando la innovación y la competitividad. Este trabajo aborda el proceso de transformación digital de la Oficina Central del Grupo Empresarial de Informática y Comunicaciones (GEIC) en Cuba, con el objetivo de mejorar su gestión. Se presentan los aspectos clave a considerar al iniciar este proceso, así como los resultados del diagnóstico inicial que evaluó la madurez digital de la organización en ocho dimensiones, identificando áreas prioritarias para su desarrollo. Además, se destacan las experiencias obtenidas hasta la fecha, subrayando la importancia del liderazgo y una transformación cultural que garantice los cambios tecnológicos. Las lecciones aprendidas indican que contar con recursos sólidos y un compromiso hacia la calidad y la innovación son esenciales también para el éxito en la transformación digital.

**PALABRAS CLAVES:** Transformación Digital, Madurez Digital; Estrategia.

## DIGITAL TRANSFORMATION OF THE GEIC CENTRAL OFFICE: INITIAL PROGRESS

**ABSTRACT**
"Information and Communication Technologies (ICT) are fundamental in today's business environment, driving innovation and competitiveness. This paper addresses the digital transformation process of the Central Office of the Business Group of Informatics and Communications (GEIC) in Cuba, with the aim of improving its management. Key aspects to consider when initiating this process are presented, as well as the results of the initial diagnosis that evaluated the digital maturity of the organization across eight dimensions, identifying priority areas for its development. Additionally, experiences gained to date are highlighted, emphasizing the importance of leadership and a cultural transformation that ensures technological changes. The lessons learned indicate that having solid resources and a commitment to quality and innovation are also essential for success in digital transformation."

**KEY WORDS:** Digital Transformation, Digital Maturity; Strategy.

## 1. Introducción

La humanidad se encuentra inmersa en un contexto digital, donde las nuevas tecnologías son parte fundamental para el desarrollo de las actividades[1], ya que aceleran los procesos de transformación, tanto dentro de las organizaciones como en la sociedad en general. Esta circunstancia hace que se esté en constante proceso de adaptación, puesto que la evolución es continua, al igual que el planteamiento de nuevas necesidades, ya sea en las empresas e instituciones o por parte de los consumidores y usuarios.[2]
La Transformación digital (TD), nace a partir de los efectos combinados de varias innovaciones digitales que generan nuevos actores, estructuras, prácticas, valores y creencias que cambian, amenazan, reemplazan o complementan las reglas que existen dentro de organizaciones, industrias o sectores.[3] Se trata de un cambio imprescindible para poder participar de un mercado que cada vez es más global y con unas demandas más específicas que cambian constantemente.
Dada la envergadura de este proceso de adaptación, los distintos gobiernos están incluyendo en sus políticas, acciones encaminadas a facilitar a las empresas instaladas en sus respectivos territorios dicha transición.[2]

En Cuba, el Estado promueve el desarrollo y utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, con el objetivo de que constituyan una fuerza política, científica y económica, que contribuya y propicie la integración y conducción de los procesos asociados a la informatización de la sociedad.[4]. En este contexto, se aprobó desde el año 2017 la política integral para el perfeccionamiento de dicho proceso de manera segura y sostenible, que contempló la instrumentación del Programa Nacional de informatización y el Sistema Nacional de Seguridad Tecnológica. Los avances alcanzados en la implementación de dicha política, permiten asumir el tránsito hacia la transformación digital como proceso evolutivo que enriquece y actualiza la estrategia de desarrollo basado en el uso intensivo de las tecnologías digitales. Como resultado se aprueban a mediados de 2024 la Política para la Transformación Digital y la Agenda Digital cubana.

La Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE), denominada Grupo Empresarial de la Informática y las Comunicaciones (GEIC), surge el 5 de enero de 2015 mediante la Resolución No. 629 de 2014 del ministro de Economía y Planificación (MEP) y la Resolución No. 627 de 2014 del ministro de Comunicaciones. Actualmente se integra por 14 entidades, ocho empresas y cinco sociedades mercantiles de capital 100 % cubano. Desde su creación, ha estado centrada en orientar, dirigir y controlar a entidades, cuya actividad fundamental está vinculada a la informática y las comunicaciones.
Para ejercer sus funciones de dirección y control, la Oficina Central (OC) del GEIC está estructurada, con 10 direcciones funcionales y un departamento. Siguiendo la estrategia de informatización del país, esta oficina se encuentra actualmente en un proceso de transformación digital cuyo objetivo es perfeccionar las funciones de la organización, garantizando la integración de datos de diferentes sistemas y fuentes. Esto permitirá favorecer la colaboración entre las áreas y mejorar la eficiencia, transparencia y calidad de las operaciones, buscando facilitar una comunicación personalizada y fomentar una cultura de aprendizaje continuo, garantizando la seguridad y protección de los datos.
En vistas de elevar el conocimiento y la experiencia del sector empresarial cubano en la informatización de su gestión, el siguiente trabajo tiene como **objetivo general**: Presentar el proceso transitado hasta la fecha, por la Oficina Central del GEIC, hacia la transformación digital.

## 2. Transformación Digital. Perspectiva Teórica

La transformación digital es explicada desde algunas definiciones como un proceso evolutivo, es decir, continuo en un período de tiempo; mientras que en otras, se enfatiza el cambio radical que lleva implícita su propia naturaleza.[3]En ocasiones se suele confundir el concepto de transformación digital con digitalización de procesos. La transformación abarca mucho más que eso, es una estructura completa e integral que afecta directa y estratégicamente todos los procesos, tareas, actividades y talento humano de una empresa, así como cada eslabón de la cadena de suministro, hasta llegar al cliente final y brindar una mejorada y actualizada experiencia al usuario.[5]
La transformación digital es: “el uso y apropiación de las tecnologías de información combinadas con la capacidad de liderazgo y el cambio organizacional para mejorar o cambiar radicalmente el desempeño y el modelo de negocio de las empresas”. [6] Es un proceso complejo, que ha estado acompañado de incertidumbre y poca investigación conceptual o empírica que examine cómo se transforman digitalmente las organizaciones, de tal forma que pueda ser sostenida en el tiempo y cuente con una estrategia que garantice su adecuada implementación sin generar traumatismos al interior de la empresa.[7]
Los diferentes enfoques sobre la transformación digital coinciden en los siguientes puntos: 1) la transformación digital no es únicamente implantar nuevas tecnologías, 2) se requiere un cambio cultural y estratégico en las organizaciones, 3) involucra la revisión del modelo de negocio, 4) aprovecha los datos y su análisis para la toma de decisiones y 5) requiere la revisión y transformación de los procesos de negocio. Encuestas como la realizada por Harvard Business Review, reveló que 43 % de las empresas manifestaron que los cambios en los procesos fueron un impedimento o desafío significativo para los esfuerzos de transformación digital de su organización. Esto requiere un cambio cultural, donde la innovación es el pilar que guía estos esfuerzos.[8]
En el artículo “Afrontar el reto de la digitalización: cómo sacar partido de ella en la práctica” [9]los autores proponen un modelo genérico para enfrentar la transformación digital. En la siguiente figura se ilustran los cuatro pasos en que consiste: 1. Posicionar la organización en la digitalización. 2. Revisión del estado actual. 3. Hoja de ruta. 4. Implementación y validación. El modelo sigue los principios

comúnmente conocidos de planificar-hacer-verificar-actuar para lograr mejoras a un alto nivel.




Fig. 1: Modelo genérico para afrontar la Transformación Digital

La transformación digital, como proceso evolutivo, puede ser medida en las organizaciones a través de modelos de madurez, indicadores claves de desempeño (KPIs), u otros sistemas de evaluación que incluyan sus múltiples aristas, con el fin de mejorar la eficiencia y desempeño de la organización y obtener una mayor y más personalizada satisfacción del consumidor.[3]
En el libro "Transformación Digital en las organizaciones"[10], se concluye de manera detallada que, para avanzar hacia un proceso de transformación digital exitoso, es fundamental reconocer que este no es un camino sencillo. Las organizaciones deben prepararse adecuadamente para convertirse en actores protagónicos en lugar de quedar rezagadas. Esto implica una comprensión profunda de la transformación digital y sus implicaciones, así como la vigilancia constante de las tendencias tecnológicas que se alineen con las necesidades y capacidades específicas de la empresa. Además, es crucial acompañar el proceso con una transformación cultural que nutra el entorno digital, lo que puede incluir la redefinición del modelo de negocio. La perspectiva centrada en el cliente es igualmente esencial para atender sus nuevas necesidades. Las organizaciones exitosas suelen contar con una base sólida de recursos y competencias, así como un liderazgo comprometido que fomente una actitud positiva hacia el cambio. Finalmente, establecer alianzas con expertos en tecnología y crear un ambiente de aprendizaje basado en la confianza y la flexibilidad son aspectos clave que facilitan la migración hacia la tecnología digital y garantizan un enfoque en la calidad desde el inicio del proceso.

**3."Diagnóstico de Madurez Digital: Un primer paso hacia la Transformación"**

Para iniciar el viaje de la oficina central del GEIC hacia la transformación digital, fue fundamental comprender las necesidades actuales y futuras de la organización. Al existir previamente un Plan de Adopción de las TIC implementado a partir de la aprobación del Decreto-Ley No.370, ya se habían adoptado algunas tecnologías propiciando la existencia de una cultural digital y por tanto, se conocían los puntos más críticos en la oficina respecto a la digitalización. La dirección de Desarrollo Tecnológico desempeñó un papel importante al destacar la urgencia de avanzar en el uso y la cultura de las TIC, por lo que tras realizar un encuentro con el objetivo principal de abordar el tema, los miembros del consejo de dirección acordaron que el primer paso sería evaluar integralmente las herramientas y habilidades disponibles para facilitar la adaptación y el uso efectivo de las nuevas tecnologías en su trabajo diario y así definir el nivel de madurez digital de la oficina central.

La madurez digital refleja los logros alcanzados por una empresa por medio de la transformación digital y cómo, eso a su vez, permite una adaptación sistemática en un entorno competitivo y con un grado de digitalización que aumenta permanentemente.[11]Existen múltiples criterios a nivel internacional para evaluar la madurez digital de una organización, pero todos coinciden en que debe tener un enfoque multidisciplinario que permitirá una evaluación más completa. También puede involucrar la participación de consultores externos y expertos en tecnología para proporcionar una perspectiva objetiva y ayudar a identificar áreas de mejora. En este caso se hizo uso de la herramienta de Chequeo Digital desarrollada por Fundación País Digital para el Banco Interamericano de Desarrollo y adaptada para el uso del Gobierno de Costa Rica, con la cual se evaluaron inicialmente 8 dimensiones claves. A continuación, se presenta el nivel de madurez obtenido, luego el resultado en base a las dimensiones que lo conforman a partir de la descripción proporcionada por la herramienta y, finalmente, se expone la valoración de tres nuevos aspectos (actitud, conocimiento y preparación) que se consideraron necesarios para medir la disposición de la organización para la adopción de tecnologías digitales.




Fig. 2. Nivel de madurez digital de la Oficina Central del GEIC

Comunicaciones: Nivel novato

Las tecnologías digitales implican nuevos canales de comunicación con los públicos (entidades integradas u otros), a través de la generación de una oferta especializada a sus gustos y necesidades. Para realizar aquello, la utilización de canales digitales de comunicación es fundamental. Permiten relacionarse directamente con los públicos, responder sus inquietudes y ofrecer los servicios y productos en base a sus requerimientos.
Para un nivel novato, la comunicación que se realiza con los públicos se desarrolla utilizando las tecnologías digitales, fundamentalmente el correo electrónico y las redes sociales. Es fundamental que se busquen las instancias necesarias para mejorar la comunicación digital con los públicos.

Cultura y liderazgo: Nivel competente

Refiere a las formas en que la organización se adapta ante las oportunidades y desafíos que implica la implementación de tecnologías digitales. Considera el cambio de la cultura organizacional y la ejecución

de las tareas diarias. En términos prácticos, ello puede ser observado a través de la entrega de incentivos tangibles e intangibles para que los trabajadores hagan uso de las tecnologías digitales.
En un nivel de madurez digital competente se ejecutan iniciativas concretas que permiten realizar parte de las labores diarias a partir de la utilización de tecnologías digitales. Es importante que los trabajadores y la persona que lidera la organización, identifiquen tecnologías digitales aplicables. Con ello se propicia un aumento en el nivel de madurez digital desde el trabajo diario y se genera la posibilidad de ser utilizada en áreas del negocio que hasta el minuto no se ejecutaban. Se evidencia una cultura digital en la organización, debido al uso de dispositivos digitales y conexión a Internet, al igual que la utilización de la nube, lo que permite desarrollar nuevas operaciones como la colaboración en línea para optimizar los procesos.

Datos y analítica: Nivel inicial

La implementación y uso de tecnologías digitales en la organización, otorgan la posibilidad de conocer, a través de la generación y análisis de datos, información de la gestión de la misma y orientar así la toma de decisiones. El análisis de datos permite conocer características de los procesos y nuevas necesidades del mercado, entre otras cosas.
La organización posee conocimientos y competencias mínimas o nulas respecto a la recopilación, análisis y utilización de datos para la mejora de los procesos. Por lo general, los datos e información clave no están estandarizados ni documentados. Pueden existir reportes en papel o incluso datos a través del uso cotidiano de las redes sociales, sin embargo, esta información no se aprovecha de manera sistematizada para el beneficio de la organización. Un nivel inicial implica que la organización aún no utiliza tecnologías digitales para obtener información sobre la gestión desarrollada, por ende, desconoce los elementos fuertes y aquellos que debe mejorar. Para que aumente en este nivel, se debe incentivar que se registren los datos o información vinculada a las actividades que se hacen periódicamente.

Estrategia y transformación digital: Nivel competente
Evalúa la existencia de cambios que contribuyan a aprender e implementar tecnologías digitales dentro de la organización. Para un máximo provecho de los beneficios y oportunidades de las tecnologías digitales, es necesario que los procesos se adapten a las prácticas que propician el desarrollo tecnológico.
Un nivel competente implica que ha progresado en los conocimientos y presenta algunas iniciativas, que pueden considerarse como parte de una estrategia digital, como las orientadas a la reducción de costos o mejora de la gestión interna, materializándose en la inversión en recursos tecnológicos y/o formación de los trabajadores. Es necesario actualizar constantemente la inversión, conocimientos e implementación de tecnologías, para lograr un nivel alto de madurez digital en esta dimensión. Existe una mezcla entre una gestión análoga y una digital, por lo que, las ventajas y riesgos de las tecnologías están presentes de manera temprana.

Personas y organización: Nivel competente

El uso de tecnologías digitales implica cambios en el quehacer diario de la organización y en la forma en que se relacionan los trabajadores. Concretamente, esta dimensión aborda la forma en que los trabajadores han adaptado el uso de tecnologías digitales en su cotidianidad.
En un nivel competente, las personas que son parte de la organización manejan inicialmente los medios digitales útiles para comunicarse y coordinar sus labores diarias. La organización promueve una cultura digital al poner tecnologías digitales al servicio de sus colaboradores, que les permiten realizar sus tareas de manera fluida. De igual forma, brinda capacitaciones formalizadas, enfocadas en alguna necesidad o avance planificado, entre otras las relacionadas con las habilidades digitales, software de gestión de procesos. La contratación de personal para servicios específicos se realiza de manera tercerizada o a tiempo parcial y a medida que surgen las necesidades de transformación digital de las distintas áreas de la organización. Para avanzar en el nivel, se deben generar instancias de capacitación, para hacer uso de todos los beneficios vinculados a las herramientas digitales con las que se cuenta.

Procesos: Nivel novato

Mediante las tecnologías digitales es posible actualizar el modo en que se prestarán los servicios. La dimensión de procesos evalúa el grado en que se están aplicando las tecnologías digitales para optimizar los diferentes aspectos de la organización.
En un nivel novato, el modo en que se prestan los servicios ha comenzado a considerar la utilización de las tecnologías digitales, lo que contribuye a hacer más efectiva y eficiente la organización. Es recomendable que, para avanzar en este ítem, se considere la masificación de la utilización de tecnologías digitales en la planificación de sus proyectos y/o coordinación del trabajo.

Producto e innovación: Nivel competente

Las tecnologías digitales permiten hacer el trabajo de distintas formas y, gracias a ello, ofertar o modificar los servicios de formas que antes no se consideraban. Esta dimensión evalúa diversos modos en que la aplicación de tecnologías digitales posibilita agregar un valor diferenciador a su organización.
Para un nivel competente, el uso de tecnologías digitales ha llevado a ofrecer los servicios de una manera distinta, generando iniciativas concretas que otorgan valor diferenciador a lo ofrecido por la organización. Para avanzar al siguiente nivel, se debe fomentar la inversión para que el uso de tecnologías digitales permita desarrollar servicios nuevos, que requieran sus públicos.

Tecnologías y habilidades digitales: Nivel competente

Considera el uso de tecnologías digitales disponibles y aplicadas cotidianamente en la organización. Mide la relación que mantienen los trabajadores con las tecnologías y la existencia o no de habilidades particulares que se requieren para su uso.
En un nivel competente, los trabajadores que componen la organización cuentan con conocimientos y habilidades medias vinculadas al uso de tecnologías digitales, propicias para las características particulares de la organización. Se cuenta con tecnologías digitales que se aplican cotidianamente y estas son adecuadas para la organización. Es importante que se mantenga actualizada y en constante desarrollo la formación en tecnologías específicas con tal de maximizar la eficiencia.

Actitud: Nivel avanzado

La aplicación de tecnologías digitales, dentro de la organización, requiere la generación de las competencias técnicas para fomentar la adopción tecnológica y el desarrollo de habilidades digitales. Dentro del segundo punto, es importante que se incentive una actitud receptiva y propositiva en relación a su uso cotidiano, manifestando las virtudes que implica su implementación.
En un nivel avanzado, existe interés y motivación extendido de los trabajadores de la organización respecto al uso tecnologías digitales, lo que ha generado su aplicación operativa en el día a día. La percepción positiva facilita la integración constante de nuevas tecnologías digitales.

Conocimiento: Nivel competente

La implementación de tecnologías digitales se encuentra vinculada directamente con las competencias técnicas que tienen las personas que componen la organización. Para el desarrollo expedito de la adopción tecnológica y del fomento de habilidades digitales dentro del negocio, es fundamental el conocimiento de los principales dispositivos tecnológicos y aplicaciones disponibles en el mercado.
En un nivel competente, la organización tiene los conocimientos básicos para la implementación de tecnologías digitales, gracias a instancias de formación o autoformación de los trabajadores. Se utilizan programas y aplicaciones, pero no al máximo de sus capacidades.

Preparación: Nivel avanzado

Para que se genere un proceso de adopción tecnológica y del fomento de habilidades digitales, es fundamental que las personas que componen la organización estén dispuestas a los cambios que ello implica. Una buena disposición frente a la adopción tecnológica, depende en gran medida de cómo se han comunicado los beneficios que las tecnologías digitales generan. Además, se requiere de las capacidades financieras mínimas para su ejecución operativa.

Para un nivel avanzado, la organización presenta capacidad financiera para sostener en el tiempo el proceso de adopción tecnológica y la generación de habilidades digitales. Existe una disposición permanente hacia la implementación de tecnologías digitales.
De acuerdo a la guía aplicada, la mayoría de las brechas identificadas corresponden a los aspectos: comunicaciones; datos y analítica, y procesos. Aunque en el resto de las dimensiones se reconocen oportunidades de mejora. A partir de estos resultados, el consejo de dirección considera imprescindible la elaboración de un plan para el uso y desarrollo de las TIC desde un enfoque integral, que debe involucrar a diferentes áreas y niveles para proporcionar una visión completa de la capacidad de la organización para utilizar la tecnología de manera efectiva.

**4. "Estrategias en marcha: Avances de la OC en la Transformación Digital"**

Entre los principales desafíos de la transformación digital se reconocen: la colaboración entre las tecnologías de información y el negocio, las relaciones humanas, los sistemas y procesos; y las decisiones de inversiones; es por ello que antes de trazar una estrategia se decide crear un grupo de trabajo integrado por expertos, directivos, jefes de procesos y liderado por el vicepresidente del GEIC, para abordar de forma integral y con enfoque multidisciplinario la estrategia de transformación digital de la OC. Dichos objetivos destacan la necesidad de informatizar los procesos, fomentar una cultura de aprendizaje continuo, innovación, desarrollo profesional en toda la organización y, futuramente, ofrecer servicios digitales a las entidades integradas que agreguen valor a su gestión. Seguidamente se presenta la visión de transformación digital aprobada por el consejo de dirección:

Visión: "Impulsar la transformación digital en nuestro grupo empresarial, creando una cultura que fomente la innovación y la colaboración, utilizando tecnologías avanzadas para optimizar la toma de decisiones, transformar nuestros procesos y mejorar nuestro desempeño ambiental y social"

El siguiente paso fue asignar responsables por dimensión, momento en que se detectan las dimensiones Ecosistema, Sostenibilidad y Estructura como relevantes para el proceso debido a las características propias del grupo empresarial. Posteriormente se realizaron encuentros periódicos y despachos donde los involucrados dejaron definidas 18 acciones estratégicas para cerrar las brechas existentes entre el estado actual y los objetivos trazados para transformar digitalmente la gestión en la oficina central del GEIC. En las siguientes tablas se muestran de forma resumida.

Tabla 1: Dimensiones y sus responsables.

| No. | Dimensión | Responsable |
|---|---|---|
| 1 | Tecnología / Seguridad | Directora de desarrollo tecnológico y Especialista general en gestión TIC |
| 2 | Cultura / Liderazgo | Experta. Lic. Cibernética. Experiencia como directora TIC de la OC y con más de 40 años de trabajo como informática o dirigiendo la actividad |
| 3 | Procesos | Directora de organización y capital humano |
| 4 | Datos | Especialista superior en información y gestión documental |
| 5 | Experiencia del cliente / Comunicación | Director de información y comunicación |
| 6 | Sostenibilidad | Experta. Master en Telecomunicaciones. Más de 20 años de trabajo en el sector y experiencia en la implementación del sistema de gestión de la calidad |
| 7 | Innovación | Especialista superior en gestión del desarrollo y la innovación |
| 8 | Talento / Personas / Habilidades | Especialista superior en |

| | | |
|---|---|---|
| | | gestión del capital humano |
| 9 | Finanzas y presupuesto | Especialista superior en gestión económica financiera |
| 10 | Ecosistema | Experto. Ing. en Telecomunicaciones. Especialista Superior en Gestión del Desarrollo e Innovación de la DDT. Más de 50 años de trabajo en el sector. Participación en la definición de políticas y ejecución de proyectos tecnológicos. |
| 11 | Estructura / Organización | Experto. Ing. en Telecomunicaciones. Experiencia de 15 años de trabajo en actividades relacionadas con las TIC. Tiene conocimiento tecnológico y la visión para aprovechar las nuevas tecnologías en la transformación de los procesos. |

Tabla 2: Acciones estratégicas definidas para la transformación digital de la Oficina Central del GEIC.

| No. | Acción estratégica |
|---|---|
| 1 | Establecer un plan de inversión a mediano y largo plazo para crear espacios de trabajo digitales que considere el uso de energías renovables, estableciendo alianzas tecnológicas para garantizar la implementación escalable y medible de los planes de transformación digital |
| 2 | Establecer la tramitación digital de los documentos (sin conversión a papel en ninguna fase de la cadena). |
| 3 | Definir de conjunto con las entidades que integran el GEIC su estadio tecnológico y las acciones necesarias para poder avanzar en la transformación digital. |
| 4 | Informatizar los procesos comenzando por las actividades y/o procesos de gestión y control (inversiones, contrataciones de servicios, control de gastos, solicitudes de pago, pedidos y compras, recursos tecnológicos y su operación y mantenimiento, proyectos, etc.) |
| 5 | Diseñar una nueva versión del sitio web y la intranet institucional con nuevas funcionalidades que faciliten el acceso a información útil de interés para los públicos estratégicos. Debe incluir una orientación importante hacia el mercado exterior, considerando cuáles son las ventajas y las ofertas que se pueden ofrecer integrados como Grupo. Además, facilitar oportunidades y espacios para que los trabajadores colaboren en la resolución de problemas de la organización. Emplear un agente virtual (como chatbots, motores de reconocimiento de voz, asistentes de IA) para interactuar con los públicos, responder consultas, ofrecer información. |
| 6 | Emplear medios sociales y aplicaciones de mensajería instantánea como método para mejorar la comunicación directa e inmediata con los públicos estratégicos. |
| 7 | Usar herramientas de colaboración para facilitar la comunicación y favorecer el trabajo remoto. |
| 8 | Implementar herramientas de analítica y planificación de redes sociales (como Unmetric, Metricool) para gestionar y monitorear la presencia en dichas redes desde una única plataforma. |
| 9 | Desarrollar las habilidades digitales de los trabajadores de la OC. |
| 10 | Incorporar en el proceso de contratación de nuevos trabajadores, la evaluación de los conocimientos o disposición para adquirir las habilidades digitales necesarias. |
| 11 | Implementar una plataforma para el aprendizaje en línea. |
| 12 | Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, con las correspondientes alarmas, del estado de la infraestructura física, lógica y su integridad. |
| 13 | Implementar el sistema de gestión de ciberseguridad armonizado con el Sistema Integrado de Gestión (SIG). |
| 14 | Fomentar y estimular la participación de los trabajadores en el proceso de Transformación Digital |

| No. | Acción estratégica |
|---|---|
| 15 | Estudiar tecnologías avanzadas tales cómo Inteligencia Artificial, Machine Learning, Deep Learning, Blockchain para identificar posible aplicación en la organización. |
| 16 | Migrar servidores y estaciones de trabajo a software libre. |
| 17 | Implementar servicios que agreguen valor a la gestión de las entidades integradas. |
| 18 | Identificar e implementar sistema para el control del equipamiento TIC. |

Una vez definidas las tareas correspondientes a cada acción estratégica se conformó un cronograma que constituye la Hoja de ruta del proceso, y se decidió realizar reuniones mensuales para chequear el cumplimiento de esta. Producto de ello y del grado de conciencia adquirido por los trabajadores, el nivel de éxito fue mayor en relación al anterior plan de adopción de las TIC, sin embargo, continuó existiendo problemas en el cumplimiento de todas las fechas en el período y los resultados no fueron tan visibles como se esperaba. Por otro lado, se encuentra que los cambios a ejecutar por el equipo de transformación digital, al ser expuestos al Grupo de Mejora de la organización, sufrían adaptaciones por perspectivas que no siempre coincidían con la visión del Sistema Integrado de Gestión (SIG) de la oficina y la visión del concepto de transformación digital más allá de la implementación de herramientas tecnológicas, lo cual generaba retrasos significativos.

Debido a esto, se decide unificar ambos equipos de trabajo, y posteriormente, se designa a una persona recién incorporada en el puesto de Especialista Superior en gestión del desarrollo y la innovación, graduada de ingeniería industrial, como coordinadora del proyecto de transformación digital de la OC.

A partir de una reevaluación de los resultados del proceso hasta el momento se reorganizan y agrupan las acciones estratégicas y sus tareas correspondientes en tres fases cuya estructura se muestra a continuación.




Fig. 3. Acciones estratégicas agrupadas en fases.

La fase inicial es donde se encuentra actualmente la Oficina Central del GEIC. Se integra de acciones que deben ser priorizadas para el progreso efectivo del proceso y otras consideradas como muy necesarias actualmente para la OC. Dentro de las tareas se prestó especial atención a la ciberseguridad, al punto en que ya se encuentran cumplidas todas las acciones de la primera fase relacionadas a este tema. Por otro lado, se trabaja en la determinación de las competencias digitales necesarias en los trabajadores de la oficina, para diagnosticar el estado actual de sus conocimientos y diseñar un plan de capacitación que logre potenciar sus habilidades digitales ya que son un factor clave en la sostenibilidad de la TD. Además, debido a las características específicas de esta organización superior de dirección empresarial, se realizó el diseño de un Mapa de Actividades, herramienta de Excel que se elabora para organizar de forma más completa las funciones, actividades y el flujo de información de la gestión con el objetivo de estructurar con efectividad los procesos que se ejecutan en la oficina; tarea que es fundamental antes de realizar un cambio organizacional. Los elementos que conforman el Mapa de Actividades son: Función; Clasificación (Interna o externa); Proceso al que pertenece; Actores Claves; Insumo Material; Información (Entrada, fuente, soporte, periodicidad); Actividades; ¿Está informatizada?; Procedimiento o metodología (¿Existe?/¿Está actualizado?); Cargo; Tareas; Información (Salida; Clasificación de la información (Documento, Decisión); Cliente: (interno o externo); Soporte (Digital, verbal, impreso); periodicidad; Tipo de conservación; plazo de retención).

En aras de informatizar dichos procesos, se asistió a talleres de consultoría, y se realizaron encuentros con proveedores de servicios de Sistemas de Planificación Empresariales, para precisar si una solución integrada de estas características era la adecuada de cara a las especificaciones que presenta el grupo empresarial. Se decide que el ERP Odoo es una apuesta acertada gracias a su flexibilidad, su sistema de código abierto y el hecho de que recoge las mejores prácticas de gestión a partir de la gran comunidad de usuarios que la integran, entre los que se incluyen micro, pequeñas y medianas empresas del país; por lo que se avanzó rápidamente en la creación de una base de datos inicial que permitirá utilizar el módulo de Mesa de ayuda para la gestión de tickets internos y fomentar la familiarización de los trabajadores con la herramienta.

Transversalmente a todo el trabajo en ejecución, se intenta fomentar y estimular la participación de los trabajadores en la transformación digital, siguiendo un Plan de Comunicación interno que incluye la publicación en la intranet corporativa de la visión y objetivos que se quieren alcanzar con la TD para el conocimiento de todos los trabajadores, actualizaciones periódicas de los avances y constantes menciones en reuniones y asambleas.

Hasta la fecha, la experiencia de la oficina central del GEIC en el proceso de transformación digital ha estado marcada por desafíos significativos, experimentando altibajos y momentos de retroceso que han exigido un enfoque flexible en las estrategias. Esta dinámica ha resaltado la importancia crucial del liderazgo, el cual ha guiado al equipo a través de la incertidumbre y los ajustes necesarios. Además, la comunicación efectiva y la participación activa de todos los colaboradores en el proceso han sido fundamentales para navegar por estas dificultades. Los aprendizajes derivados de esta experiencia enfatizan la necesidad de adaptabilidad y la valuación de los aportes de cada miembro, lo que a su vez fomenta un entorno colaborativo y resiliente, vital para enfrentar futuras adversidades y alcanzar todos los objetivos.

## CONCLUSIONES

- Se definió la transformación digital como un proceso integral que trasciende la mera implementación tecnológica e implica una reconfiguración cultural y organizacional. Para convertirse en protagonistas en el entorno digital, las empresas deben comprender sus implicaciones y desarrollar estrategias que alineen sus objetivos, capacidades y personal, asegurando así resultados sólidos y exitosos.
- Se presentaron los resultados del diagnóstico que evaluó la madurez digital de la Oficina Central del GEIC en ocho dimensiones clave, revelando que los aspectos de Procesos, Comunicación y Datos y Analítica requieren atención prioritaria. Además, se constató una disposición permanente hacia la implementación de tecnologías digitales como factor clave de éxito, lo que evidencia un compromiso con la modernización y la adaptación al entorno digital.
- Se expuso el desarrollo del proceso de transformación digital de la Oficina Central hasta la fecha, destacando un enfoque flexible en las estrategias para superar las dificultades y demoras existentes. Este proceso ha transitado por momentos clave, como la definición de la visión, los objetivos y los equipos de trabajo, seguido de la planificación de encuentros periódicos y la determinación de acciones estratégicas

estructuradas en tareas con fechas de cumplimiento y revisión regular. La combinación de un liderazgo comprometido y la participación activa del colectivo resulta fundamental para facilitar el cambio y lograr un avance sostenible hacia la digitalización.

**RECONOCIMIENTOS**
Las autoras desean agradecer a Elizabeth García Cuesta, directora de Desarrollo Tecnológico del GEIC por su ayuda en la realización y revisión de este artículo.

**REFERENCIAS**

1. Castellano, N. and B. Díaz, *Tecnologías de información y comunicación en la sociedad del conocimiento.* Negotium: revista de ciencias gerenciales, 2020. **16**(47): p. 5-12.
2. Sastre, D.M., A.S. Morillas, and M.N. Cansado, *La cultura corporativa: claves de la palanca para la verdadera transformación digital.* Prisma Social: revista de investigación social, 2019(25): p. 439-463.
3. Fernández, T.D., *Taxonomía de transformación digital.* Revista Cubana de transformación digital, 2020. **1**(1): p. 4-23.
4. Cuba, G.O.d.l.R.d., *Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria de 4 de julio de 2019.* . Ministerio de Justicia., 2019.
5. Giraldo Rincón, A.F., *Transformación digital para la Alta Gerencia.* 2021.
6. Ramírez, N. and L. Ordóñez, *Modelo de madurez para la transformación digital*. 2019, INNPULSA COLOMBIA. https://www. centrosdetransformaciondigital. gov. co/695 ….
7. Warner, K.S. and M. Wäger, *Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal.* Long range planning, 2019. **52**(3): p. 326-349.
8. Mayorga, H.S.A., *Aproximación metodológica para la innovación y transformación digital de los procesos de negocio. Un caso de estudio.* Cuadernos de Administración, 2022. **35**.
9. Parviainen, P., et al., *Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice.* International journal of information systems and project management, 2017. **5**(1): p. 63-77.
10. Páez-Gabriunas, I., et al., *Transformación digital en las organizaciones*. 2022: Editorial Universidad del Rosario.
11. Medina-Chicaiza, P., et al., *Transformación digital en las empresas: una revisión conceptual.* Journal of Science and Research, 2022. **7**(CININGEC II): p. 756-769.
12. Alfonso Murcia, O.G., *Importancia de la transformación digital y sus desafíos en la implementación.*
13. Alunni, L. and N. Llambías, *Explorando la transformación digital desde adentro.* 2018
14. Yépez, G.G.M., L.R.E. Roca, and J.D.C. Quimis, Transformación digital e innovación. RECIAMUC, 2022. 6(3): p. 736-744.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EXPERIENCIAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ODOO ERP: UN ENFOQUE PRÁCTICO Y EFECTIVO

**Iraima R. Rabelo Solano**[1]
Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba.

[3]iraimarabelo020@gmail.com

## RESUMEN

La implementación de sistemas ERP no solo depende de la configuración técnica, sino también de un plan bien estructurado que priorice la simplicidad, la adopción gradual y el acompañamiento cercano al cliente. Siguiendo estos principios, el presente estudio aborda las experiencias en el despliegue de Odoo ERP en tres empresas de diferentes rubros: dos comercializadoras (una dedicada al comercio minorista y otra centrada en transacciones B2B) y una entidad del sector hotelero. Con un contexto variado y exigencias específicas, la implementación de Odoo reveló cómo un enfoque metódico y adaptable puede transformar operaciones y optimizar procesos a la medida de los retos empresariales. El objetivo de este análisis es identificar los desafíos encontrados durante la implementación y las soluciones efectivas que se han proporcionado.
La entrega por fases a partir de un producto mínimo viable (MVP) con una formación constante y ajustes continuos basados en retroalimentación, resulta clave para garantizar la adopción de funcionalidades esenciales de forma paulatina, mejorando la gestión del cambio y asegurando que los usuarios se familiaricen con las nuevas herramientas a un ritmo adecuado, lo que también redujo riesgos y posibles retrasos. Los hitos más significativos se observaron durante las etapas de análisis y desarrollo. Un levantamiento exhaustivo inicial ayudó a identificar flujos críticos y establecer configuraciones precisas, mientras que una fase de desarrollo colaborativa y centrada en el cliente facilitó la creación de soluciones personalizadas como la integración de listas de precios, la automatización contable y una gestión de inventarios más efectiva. La inteligencia artificial jugó un papel vital, al permitir agilizar el diseño de flujos de trabajo eficientes mediante sugerencias basadas en patrones de uso, así como anticipar necesidades y posibles inconvenientes en la integración de módulos. Las aplicaciones esenciales fueron Ventas, Inventario y Contabilidad, dada la capacidad de automatizar flujos comerciales, garantizar la visibilidad en tiempo real del stock y facilitar la integración financiera; respectivamente. Estas experiencias reafirman que una implementación exitosa de Odoo se construye sobre una metodología adaptable que asegure una transición efectiva y sostenible hacia los sistemas ERP.

**PALABRAS CLAVES:** Odoo ERP**,** implementación de sistemas integrados, metodología adaptativa, automatización de procesos empresariales

# EXPERIENCES IN THE IMPLEMENTATION OF ODOO ERP: A PRACTICAL AND EFFECTIVE APPROACH

## ABSTRACT

The implementation of ERP systems depends not only on the technical configuration, but also on a well-structured plan that prioritizes simplicity, gradual adoption and close customer support. Following these principles, this study addresses the experiences in the deployment of Odoo ERP in three companies from different industries: two marketers (one dedicated to retail and one focused on B2B transactions) and an entity in the hotel sector. With a varied context and specific requirements, the implementation of Odoo revealed how a methodical and adaptable approach can transform operations and optimize processes tailored to business challenges. The objective of this analysis is to identify the challenges encountered during implementation and the effective solutions provided.
Phased delivery from a minimum viable product (MVP) with constant training and continuous adjustments based on feedback is key to ensure the adoption of essential functionalities in a phased manner, improving change management and ensuring that users become familiar with the new tools at an

appropriate pace, which also reduced risks and potential delays. The most significant milestones were observed during the analysis and development stages. An initial comprehensive survey helped identify critical flows and establish precise configurations, while a collaborative, customer-centric development phase facilitated the creation of customized solutions such as price list integration, accounting automation and more effective inventory management. Artificial intelligence played a vital role in streamlining the design of efficient workflows through suggestions based on usage patterns, as well as anticipating needs and potential pitfalls in module integration. The essential applications were Sales, Inventory and Accounting, given their ability to automate commercial flows, ensure real-time visibility of stock and facilitate financial integration, respectively. These experiences reaffirm that a successful Odoo implementation is built on an adaptable methodology that ensures an effective and sustainable transition to ERP systems.

**KEY WORDS:** Odoo ERP, integrated systems implementation, adaptive methodology, business process automation.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DEL PROCESO DE GOBERNANZA DE DATOS BASADO EN UN MARCO DE TRABAJO PARA UNA ORGANIZACIÓN INTENSIVA EN INFORMACIÓN

**Sheyla Rodríguez Cadena[1], Ramiro Alejandro Corona Ramírez[2], Marta Beatriz Infante Abreu[3], Jeffrey Blanco González[4].**

[1,2,3,4] Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba. [2]**Datys.**
[1] srodricadena@gmail.com, [2] ramirocoronaramirez@gmail.com, [3] miabreu@ind.cujae.edu.cu , [4] jblanco@ind.cujae.edu.cu

## RESUMEN

Esta investigación presenta el diseño de un proceso de gobernanza de datos en una organización intensiva en información, abordando desafíos clave como la ausencia de estrategias, políticas, y estándares claros, junto con problemas de calidad de datos y limitaciones en la gestión de riesgos. Basado en el marco DAMA-DMBOK, el proceso incluye la definición de criterios de calidad de datos, políticas de seguridad, roles y responsabilidades, y una arquitectura de datos sólida. A través de un diagnóstico, se evaluó la madurez en la gestión de datos en aspectos críticos como políticas, tecnologías y capital humano, revelando que la organización se encuentra en un nivel "Indisciplinado" en gobernanza de datos. La implementación parcial se inició en un proceso clave de la organización, proponiendo un enfoque gradual que puede ser replicado en organizaciones que buscan mejorar su gestión de datos. Esta estrategia ofrece beneficios como la alineación con la operativa real y el uso de herramientas avanzadas para evaluar la madurez en gobernanza de datos, subrayando la importancia de la seguridad y la calidad de la información.

**Palabras clave:** Gobernanza de datos, gestión de datos, calidad de datos, seguridad de la información, arquitectura de datos

# DATA GOVERNANCE PROCESS DESIGN BASED ON A FRAMEWORK FOR AN INFORMATION-INTENSIVE ORGANIZATION

## ABSTRACT

This study presents the design of a data governance process in an information-intensive organization, addressing key challenges such as the lack of clear strategies, policies, and standards, alongside data quality issues and limitations in risk management. Following the DAMA-DMBOK framework, the process includes defining data quality criteria, security policies, roles and responsibilities, and a robust data architecture. Through diagnostic assessments, data management maturity was evaluated in critical areas such as policies, technologies, and human capital, revealing that the organization is at a "Undisciplined" level in data governance. Partial implementation began with one key organizational process, proposing a gradual approach that may be replicated in organizations seeking to improve their data management. This strategy provides benefits such as alignment with operational realities and the use of advanced tools to assess data governance maturity, underscoring the importance of information security and quality.

**Keywords:** Data governance, data management, data quality, information security, data architecture

## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad actual experimenta un rápido desarrollo tecno-científico, caracterizado por un crecimiento exponencial en la generación y uso de datos (Ismail, Malone, & Van Geest, 2016). En este contexto, los datos producidos y utilizados en las organizaciones se han multiplicado significativamente, desempeñando un rol crucial en la toma de decisiones tanto operativas como estratégicas (Tobar Ruiz, 2021; Alhassan, Sammon, & Daly, 2016). En particular, toda administración eficiente se basa en la recolección, procesamiento y almacenamiento de datos precisos que respalden decisiones informadas. En el caso cubano, este contexto está enmarcado por políticas públicas que dirigen el desarrollo económico y social en función de documentos rectores del país (Garcés, Delgado, Amoroso, Torres, & Rodríguez, 2019). La gestión de datos y su análisis para la toma de decisiones fueron temas centrales en la sesión de abril de 2023 del Consejo Nacional de Innovación de Cuba, encabezada por Manuel Marrero Cruz, donde se discutieron estrategias de gobernanza para asegurar la calidad y confiabilidad de los datos utilizados en la gestión gubernamental (Tamayo León, 2023).

La habilidad para implementar una gestión de datos adecuada se ha convertido en una fuente de valor estratégico en la economía actual, generando la necesidad de establecer un proceso sólido de gobernanza de datos (Tobar Ruiz, 2021). El objetivo de esta gobernanza es maximizar el valor de los datos como un activo estratégico, asegurando su disponibilidad, consistencia y seguridad, contribuyendo así a la alineación de los datos con la estrategia organizacional y la mejora en la toma de decisiones informada (Morales Rodríguez, 2022). Aunque existen diversas metodologías y marcos de trabajo para implementar la gobernanza de datos, es posible establecer parámetros mínimos que orienten a las organizaciones en el cumplimiento de sus objetivos estratégicos, incorporando metodologías como DAMA-DMBOK, que propone actividades clave para mejorar la gestión de datos (Aisyah & Ruldeviyani, 2018).

En el contexto de transformación digital, la organización intensiva en información tiene como misión apoyar a los organismos superiores en la gestión y monitoreo de las decisiones estratégicas. Sin embargo, la falta de una estructura de gestión de datos adecuada ha limitado la capacidad de generar conocimientos útiles a partir del procesamiento de información. Adicionalmente, la existencia de múltiples fuentes de datos estructurados y no estructurados, sin una jerarquía de priorización clara, dificulta la toma de decisiones precisa y eficiente en la organización. Esta situación demanda la creación de un marco de gobernanza de datos progresivo que impulse una mejor capacidad de procesamiento, permitiendo la medición efectiva de indicadores de eficiencia y efectividad necesarios para cada uno de los procesos de trabajo de la organización.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es diseñar un proceso de gobernanza de datos para la organización intensiva en información. Esto implica elaborar los fundamentos teóricos y metodológicos sobre gobernanza de datos, realizar un diagnóstico del estado actual de la gestión de datos, y diseñar el proceso de gobernanza basado en un marco de trabajo adaptado. La implementación de este proceso contribuirá a la mejora en la calidad, seguridad y disponibilidad de la información para la toma de decisiones, proporcionando un referente para otras instituciones que deseen fortalecer su gestión de datos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar el diseño de un proceso de gobernanza de datos en la organización intensiva en información, se empleó una metodología que combina el diagnóstico organizacional y la adaptación de un marco de trabajo de referencia. Los pasos metodológicos incluyen:

1. Diagnóstico de la gestión de datos: Se diseñó un procedimiento específico para evaluar el estado actual de la gobernanza de datos en la organización. Este diagnóstico se estructuró en tres etapas fundamentales:
    - Recopilación de datos mediante observación directa y entrevistas con especialistas de la organización.

- Análisis de procesos existentes y documentación de la organización para identificar deficiencias en la gestión de datos.
- Evaluación de madurez de la gobernanza de datos en áreas clave, aplicando el modelo de madurez Data Governance Maturity Model (DATAFLUX). Los resultados se calcularon mediante el promedio de puntuaciones en áreas como políticas, tecnologías, personas, y riesgos y oportunidades, con base en los niveles de madurez definidos en dicho modelo.

2. Marco de trabajo DAMA-DMBOK: Este marco de trabajo fue adaptado a las necesidades específicas de la organización. Se eligió DAMA-DMBOK como referencia por su enfoque integral en la gestión de datos. La adaptación incluyó la incorporación de componentes prácticos que complementan el marco teórico, incluyendo:
   - Definición de roles y responsabilidades dentro de la gobernanza de datos.
   - Políticas y estándares para asegurar la calidad, seguridad y disponibilidad de los datos.
   - Arquitectura de datos que permita una estructura sólida para el flujo y almacenamiento de datos en toda la organización.
3. Instrumentos de Evaluación y Herramientas: Para evaluar la madurez y gestionar el diseño de la gobernanza de datos, se utilizaron:
   - Cuestionarios estructurados diseñados a partir de los criterios de evaluación del modelo de madurez DATAFLUX.
   - Diagrama Ishikawa, utilizado para representar visualmente los factores que afectan la madurez de la gobernanza de datos y facilitar la interpretación de las causas principales de las deficiencias.
   - Formularios y diagramas de telaraña, para evaluar y visualizar los resultados de la evaluación de madurez en distintas áreas clave.
4. Implementación del Proceso de Gobernanza de Datos: La implementación se llevó a cabo de manera parcial, comenzando con un proceso clave de la organización. Se priorizó un enfoque progresivo, donde el subproceso de gobernanza de datos fue integrado al proceso de informatización existente en la organización. Esto asegura una alineación adecuada con la infraestructura tecnológica y el modelo operativo de la entidad.

Este diseño metodológico permitió una aproximación práctica y ajustada a la realidad organizacional, proporcionando una base sólida para la implementación gradual de la gobernanza de datos en la organización intensiva en información.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico inicial reveló que la organización intensiva en información se encuentra en un nivel de madurez "Indisciplinado" en términos de gobernanza de datos (ver Figura 1 y Tabla 1).

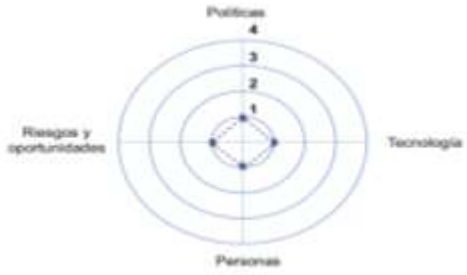



**Figura 1.** Resultados generales de la evaluación de la madurez.
Fuente: Elaboración propia.

| Áreas | Criterios | Nivel de madurez | | | | | | | | | | | | Valor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Indisciplinado | | | Reactivo | | | Proactivo | | | Gobernado | | | |
| | | NI | PI | I | NI | PI | I | NI | PI | I | NI | PI | I | |
| Políticas | Se han definido objetivos para la gobernanza y están alienados a la estrategia de la organización | X | | | | | | | | | | | | 0.1364 |
| | Se ha definido una visión para la gobernanza de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se han definido principios para la gestión y la gobernanza de los datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se han identificado las partes interesadas dentro del programa de gobierno de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se han definido políticas para la gobernanza de datos | | X | | | | | | | | | | | |
| | Se cuenta con estándares para garantizar la gobernanza de los datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se cuenta con una estrategia de calidad de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Existe un modelo de seguridad de la información definido | | | X | | | | | | | | | | |
| | Los procesos de gobernanza de datos están integrados a los procesos, sistemas y soluciones de la organización | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se han establecido métricas para la gobernanza de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Existe un proceso para llevar a cabo el cumplimiento de las decisiones delos componentes del gobierno de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| Tecnología | Se tiene establecido perfiles, análisis y auditorías de datos en los sistemas de información alineados a las reglas de la organización | | X | | | | | | | | | | | 0.5833 |
| | Se gestionan adecuadamente la integración de los datos e interoperabilidad de los sistemas de información de la empresa. | | X | | | | | | | | | | | |
| | La mejora de los datos se centra en los sistemas de información con el objetivo de apoyar la gestión de la organización | | | | | X | | | | | | | | |
| | Se incorporan estándares de calidad de datos en los sistemas de información. | X | | | | | | | | | | | | |
| | Los datos son monitoreados continuamente y cualquier problema en su gestión se resuelve de inmediato | | X | | | | | | | | | | | |
| | Se incorporan herramientas de inteligencia y analítica de negocios | | | | | X | | | | | | | | |
| Personas | La alta dirección apoya las iniciativas de gobernanza de datos | | | X | | | | | | | | | | 0.05 |
| | Los trabajadores comprenden el valor de la gobernanza de datos para la organización | X | | | | | | | | | | | | |
| | Hay suficiente entendimiento y acuerdo entre las partes interesadas para apoyar un programa de gobernanza de datos sostenible a largo plazo | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se han definido roles y responsabilidades con relación a la gobernanza de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se cuenta con un comité de gobierno de datos que evalúa y resuelve los temas y/o problemas del gobierno de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Hay una formación adecuada para el personal involucrado en la gestión de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se cuenta con planes de capacitación en gestión y gobierno de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se fomenta y desarrolla una cultura organizacional basado en el gobierno de datos | | X | | | | | | | | | | | |
| | Existe una cultura de calidad de datos con procedimientos estándares y participación de los administradores de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| | Se incentiva a los colaboradores a crear y proponer iniciativa de calidad y gobernanza de datos | X | | | | | | | | | | | | |
| Riesgo y oportunidades | Se identifican, analizan y evalúan los riesgos y oportunidades relacionadas con los datos | | | X | | | | | | | | | | 0.75 |
| | Se tratan los riesgos, amenazas y debilidades a los datos de manera oportuna | | | X | | | | | | | | | | |
| | Se mantiene y garantiza la confidencialidad e integridad de datos | | | | | X | | | | | | | | |
| | Se utilizan los datos como oportunidades de mejora para los procesos de la organización | X | | | | | | | | | | | | |
| | | Nivel de madurez | | | | | | | | | | | | 0.3799 |

**Tabla 1.** Formulario de evaluación de la madurez. Fuente: Elaboración propia.

El nivel "indisciplinado" indica la ausencia de un marco de trabajo estructurado, políticas definidas, y métricas específicas para la evaluación continua de la calidad de los datos. Ver tabla 2.

| Áreas | Nivel de Madurez | Análisis de resultados |
|---|---|---|
| Políticas | Indisciplinado | La organización no ha definido objetivos, visión principios, políticas (solo en lo correspondiente a la seguridad de los datos), estrategia de calidad de los datos, no se han identificado las partes interesadas, ni métricas para la gobernanza. |
| Tecnología | Indisciplinado | Se han dado pasos en la integración de los datos e interoperabilidad de los sistemas de información, se ha reconocido que la mejora de los datos se centra en los sistemas de información para apoyar la gestión de la organización. No se han establecido ni incorporado estándares de calidad de datos en los sistemas de información. El monitoreo de los datos no es continuo y la incorporación de herramientas de inteligencia y analítica de negocios es muy incipiente. |
| Personas | Indisciplinado | El nivel de conocimiento de los trabajadores sobre gobernanza de datos es limitado y las acciones de capacitación son nulas, existe compromiso de la alta dirección con el proceso de transformación digital, pero no es elevado el nivel de conciencia sobre la importancia y la generación de iniciativas para la implementación del gobierno de datos, no se cuenta con la definición de un marco de trabajo con roles y responsabilidades de gobierno de datos. |
| Riesgos y oportunidades | Indisciplinado | Los riesgos relacionados con los datos se manejan en los documentos rectores de seguridad de datos y manejo de las TICs de la organización. |

**Tabla 2.** Análisis de los resultados de la aplicación del nivel de madurez por áreas. Fuente: Elaboración propia.

En cada área evaluada se identificaron deficiencias relevantes que afectan la capacidad de la organización para gestionar sus datos de forma eficiente:

1. Políticas: No existen objetivos claros ni una estrategia formal de calidad de datos. Las políticas de gobernanza están limitadas principalmente a la seguridad de la información, sin lineamientos adicionales para garantizar la integridad y consistencia de los datos. Tampoco se han identificado las partes interesadas ni las métricas necesarias para monitorear la gobernanza.
2. Tecnología: Si bien la organización ha dado pasos para integrar sus sistemas de información, aún no existen estándares de calidad de datos aplicables a estos sistemas. Además, el monitoreo de la calidad de los datos es discontinuo, y la implementación de herramientas de inteligencia y análisis de negocios es limitada, lo cual afecta la capacidad de la organización para hacer análisis predictivos o comparativos (ver Figura 2 y tabla 3)

**Figura 2.** Problemas que inciden en el nivel de madurez de gobernanza de datos**. Fuente:** Elaboración propia

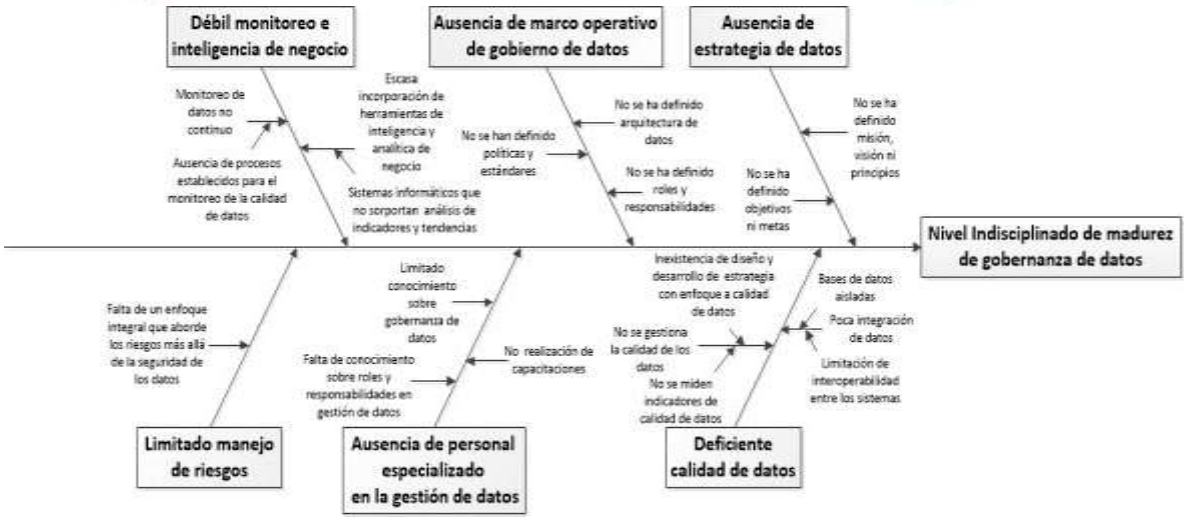



**Tabla 3.** Equivalencia de valores del nivel de madurez. Fuente: Asmat Uchuya et al. (2021)

| Rango | Nivel de Madurez |
|---|---|
| [0 - 1] | Indisciplinado |
| <1 - 2] | Reactivo |
| <2 - 3] | Proactivo |
| <3 - 4] | Gobernado |

3. Personas: Se identificó un bajo nivel de conocimiento sobre gobernanza de datos entre los trabajadores y falta de programas de capacitación, lo cual afecta la conciencia organizacional sobre la importancia de los datos como activo estratégico. Aunque existe un compromiso de la alta dirección con la transformación digital, no se observa una generación de iniciativas para implementar un marco de gobernanza de datos adecuado. Además, no se han asignado roles ni responsabilidades formales para este proceso (ver Figura 2).
4. Riesgos y Oportunidades: Los riesgos relacionados con la gestión de datos están abordados solo en documentos de seguridad de datos y manejo de TIC, sin una estructura que permita identificar y mitigar riesgos asociados a la gobernanza de datos de manera integral.

La evaluación del modelo de madurez arrojó un valor promedio de 0.3799, correspondiente al nivel "Indisciplinado" según la escala de madurez de DataFlux (ver Tabla 3). Esto indica que, aunque existen métodos y herramientas que facilitan la gestión de datos, no se ha establecido un programa de gobierno de datos formal. La organización aún carece de los elementos esenciales para avanzar hacia un modelo de gobernanza más sólido, tales como objetivos específicos de gobernanza, políticas claras, y una infraestructura tecnológica que soporte la calidad y seguridad de la información de manera integral.

### 4.1 Implementación parcial y propuesta de mejora

A partir de los resultados obtenidos, se seleccionó un proceso clave como piloto para la implementación parcial del proceso de gobernanza de datos. Durante la aplicación de este proceso, se identificaron aspectos críticos que limitan la digitalización, tales como la ausencia de estandarización para evaluar indicadores y la falta de capacidad para generar reportes útiles para la toma de decisiones. Asimismo, se constató que los datos de este proceso no se encuentran completamente integrados ni son accesibles para un análisis efectivo.

Para enfrentar estos desafíos, se propuso la incorporación de un subproceso de gobernanza de datos al proceso de informatización. Este enfoque, además de alinearse con las capacidades y estructura actuales de la organización, facilita la implementación gradual de la gobernanza de datos, asegurando una interacción sinérgica entre la informatización y la gobernanza. Esto se espera que mejore la capacidad de la organización para integrar y utilizar sus datos de manera efectiva.

**Discusión**

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de una gobernanza de datos estructurada para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones. La implementación gradual, que comienza con procesos clave, permite a la organización intensiva en información adaptarse a las demandas de calidad, seguridad y disponibilidad de datos en un entorno de transformación digital constante. Además, la evaluación de la madurez mediante el modelo DataFlux y el uso de herramientas de visualización como el diagrama Ishikawa (Figura 2) y el diagrama de telaraña (Figura 1) permitieron identificar claramente las áreas de mejora.

Este enfoque de implementación gradual puede servir como modelo para otras organizaciones que enfrentan retos similares en la gestión de datos. La alineación de la gobernanza de datos con la realidad operativa y el uso de indicadores de madurez contribuyen a la sostenibilidad de la gobernanza de datos a largo plazo, destacando la importancia de contar con un marco adaptado a las necesidades específicas de cada organización.

## 4. CONCLUSIONES

1. El diagnóstico inicial sobre la gobernanza de datos evidenció que la organización intensiva en información se encuentra en un nivel de madurez "Indisciplinado", lo que limita su capacidad para gestionar y aprovechar los datos como un recurso estratégico. Este nivel de madurez refleja la ausencia de políticas claras, estándares de calidad de datos, y una estructura formal para roles y responsabilidades en la gestión de datos.
2. La implementación parcial del proceso de gobernanza de datos, utilizando el marco DAMA-DMBOK adaptado, permitió mejorar el control y la calidad de los datos en el proceso piloto seleccionado ("Visitas Integrales a Provincias"). Este piloto demostró que la incorporación de gobernanza de datos al proceso de informatización optimiza la integración de sistemas y facilita la generación de reportes y análisis, esenciales para una toma de decisiones informada y oportuna.
3. El enfoque gradual de implementación, basado en la evaluación de madurez y necesidades operativas, proporciona una estrategia sostenible y adaptable para desarrollar una gobernanza de datos sólida en organizaciones que inician procesos de transformación digital. Además, el uso de herramientas visuales como el diagrama Ishikawa y el diagrama de telaraña facilita la identificación de causas y áreas específicas de mejora en la madurez de la gestión de datos.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la implementación gradual de la gobernanza de datos, priorizando los procesos clave de la organización. La integración de la gobernanza de datos a nivel de procesos permitirá una adopción orgánica y estructurada que potencie la capacidad de análisis y la calidad de la información utilizada en áreas estratégicas.

Es fundamental que la organización desarrolle políticas claras y estándares de calidad para la gestión de datos. Estas políticas deben incluir la definición de roles y responsabilidades en la gobernanza de datos, alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

La organización debe implementar un programa de capacitación continuo para aumentar la conciencia y el conocimiento sobre gobernanza de datos entre sus colaboradores. Esto contribuirá a mejorar la calidad en la gestión de datos y a reforzar el compromiso de la alta dirección y del personal con el proceso de transformación digital.

Se recomienda priorizar la adquisición de herramientas para catalogación, metadatos, inteligencia de negocios y análisis de datos, que soporten una gobernanza de datos eficaz. Estas herramientas permitirán mejorar la calidad, disponibilidad y seguridad de los datos, optimizando así la toma de decisiones en toda la organización.

Realizar evaluaciones periódicas de madurez en gobernanza de datos, utilizando modelos como DataFlux, permitirá a la organización medir el progreso en la implementación y ajustar las estrategias según las necesidades y objetivos cambiantes.

## 6. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1- Acero Acevedo, E. S., & Santamaria Rios, D. M. (2022). Modelo de roles, responsabilidades y metas respecto a la integridad, seguridad y disponibilidad de información para el gobierno de datos del subproceso de gestión del riesgo y programas de la UAE DIAN.
2- Agüero, C. I. (2021). Implementación e institucionalización de prácticas de Gobierno de Datos en Grupo Sancor Seguros.
3- Aisyah, M., & Ruldeviyani, Y. (2018). Designing data governance structure based on data management body of knowledge (DMBOK) Framework: A case study on Indonesia deposit insurance corporation (IDIC). Paper presented at the 2018 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS).
4- Alhassan, I., Sammon, D., & Daly, M. (2016). Data governance activities: an analysis of the literature. Journal of Decision Systems, 25(sup1), 64-75.
5- Ampuero, L., Alfaro, R., Raymundo, C., & Dominguez, F. (2017). Modelo de Madurez Tecno-Organizacional para la puesta en marcha exitosa de iniciativas de Data Gobervance. Paper presented at the Septima conferencia iberoamericana de complejidad, informatica y cibernetica, Recuperado de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/622492/CB 492HR.pdf.
6- Asmat Uchuya, M. A., Canchari Tomas, G., & López Ramos, A. (2021). Propuesta de implementación de un Modelo Gobierno de Datos para una Empresa Ajustadora y de Peritos de Seguros.
7- Belghith, O., Skhiri, S., Zitoun, S., & Ferjaoui, S. (2021). A survey of maturity models in data management. Paper presented at the 2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT).
8- Beltrán, T., & Eugenia, S. (2017). Evaluación de la gobernanza de las TICS dentro de la estrategia organizacional utilizando el marco de referencia ISO/IEC 38500 para empresas del sector público. Caso de estudio: "Empresa pública metropolitana de transporte de pasajeros de Quito – EPMTPQ – Trolebús".
9- Carrion, J. (2017). Diferencia entre dato información y conocimiento.
10- Chacón, G. G. (2013). Modelo de madurez organizacional para la gestión de los cambios. Revista sobre Relaciones Industriales y Laborales(49).
11- Chakraborty, S., & Doshi, J. (2018). Incremental updates using data warehouse versus data marts. Paper presented at the 2018 4th International Conference for Convergence in Technology (I2CT).
12- Curto Díaz, J. (2016). ¿ Cómo crear un data warehouse? : Editorial UOC. DAMA_International. (2010). DAMA - DMBOK Data Management Body of Knowledge DAMA_International. (2017).
13- DAMA - DMBOK Data Management Body of Knowledge (2nd Edition) Dante, G. P. (2007). Gestión de información. Dimensiones e implementación para el éxito organizacional. (S. L. Ediciones Trea Ed.).
14- DGI. (2014). The DGI Data Governance Framework. DGI. (2022). Data Governance Framework.
15- Estrada, C. M. C., Hernandez, C. C. O., García, V. B., & Estrada, L. d. J. V. (2020). Implementación de un Sistema de Gestión de la calidad y acreditación en la Facultad de Negocios de la Universidad Autónoma de Chiapas basado en Moodle: Implementation of a Quality Management System and accreditation in the Business School of the Autonomous University of Chiapas based on Moodle. Tecnología Educativa Revista CONAIC, 7(3), 48-57.
16- Garcés, R., Delgado, T., Amoroso, Y., Torres, D., & Rodríguez, Y. (2019). Guía para la gestión de gobierno digital en municipios cubanos. La Habana.
17- Garcés Zuluaga, J. J. (2016). Caracterización de Modelos de Madurez en gobierno de datos.

18- García Morales, E. (2012). Gobernanza de la información. In Anuario ThinkEPI, 6.
19- Garnier Rovira, J. A. (2023). PIA1: Gobernanza de datos. Universidad Cenfotec.
20- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). Data mining: concepts and techniques, Waltham, MA. Morgan Kaufman Publishers, 10, 978-971.
21- Heredero, C., López, J., Romo, S., & Medina, S. (2019). Organización y trnasformación de los sistemas de información en la empresa. (E. Editorial Ed. 4ta ed.). Madrid. España.
22- Ismail, S., Malone, M. S., & Van Geest, Y. (2016). Organizaciones exponenciales: Bubok. Jácome, D. J. R., & Morales, V. D. L. M. V. (2020). Convergencia de COBIT e ISO 38500 en el Gobierno de Tecnologías de la Información.
23- INNOVA Research Journal, 5, 1-25. Katuu, S. (2014). Enterprise content management and digital curation applications. Maturity model connections, 1. LA TRANSPARENCIA, I. M. (2011). Informe de monitoreo: transparencia fiscal. Boletín no.
24- Laverde Mena, J. A. (2021). Desarrollo de un marco de trabajo basado en data management que mejore la gobernanza de datos en la Unidad de Avalúos y Catastros del GAD Municipal del cantón Valencia.
25- León, S. T. (2018). UF2213-Modelos de datos y visión conceptual de una base de datos: Editorial Elearning, SL.
26- López, C., López, M., & Corrales, M. (2017). Aproximación de un framework para el gobierno de información con base en COBIT. Espacios, 38, 3-18.
27- Loza Alcala, C. Y. (2021). Prototipo para la gestión de metadatos en archivos digitales.
28- Macas Macas, J. A. (2022). Guía para la evaluación del nivel de madurez del gobierno de datos en programas de salud, Coordinación de Salud Zona 3. Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo.
29- Maulina, J., & Ruldeviyani, Y. (2019). Data Govemance and Data Architecture for the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Indonesia. Paper presented at the 2019 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech). Mohamadina, A.
30- A., Ghazali, M. R. B., Ibrahim, M. R. B., & Harbawi, M. A. (2012). Business intelligence: concepts, issues and current systems. Paper iv presented at the 2012 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT).
31- Morales Rodríguez, A. D. (2022). Guía metodológica para la implementación de gobernanza de datos en la Empresa Universitaria de Salud EUS–EP de la Universidad de Cuenca. PUCE-Quito.
32- Nada, N. Q., Wibowo, S., & Novita, M. (2020). Designing Enterprise Architecture in Koperasi Karyawan using TOGAF Architecture Development. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
33- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999). La organización creadora de conocimiento. México, D. F., Oxford University Press.
34- Ordóñez, J. A., Mesa, H. C., Robayo, M. P., Paz, A. J. O., & Herrera, L. (2007). Los escenarios de la gestión del conocimiento y el capital intelectual en los procesos de investigación. Signo y Pensamiento [en línea], 26(50), 62-83.
35- Ordóñez, M. G., & González, M. P. (2021). Caracterización de marcos de referencia que apoyan la implementación del gobierno de datos propuesto por MinTIC para entidades públicas. Investigación e Innovación en Ingenierías, 9(2), 42- 58.
36- Ortega González, Y., Izquierdo Roda, E., Stuart Cárdenas, M. L., García Fenton, V., Escandón Bon, R., Padrón Astorga, S., & al., e. (2007). El ingeniero industrial en la concepción de los sistemas informativos empresariales. Apuntes y compilación de artículos. (E. F. Varela Ed. 1ra ed.). Cuba.
37- Osorio Sanabria, M. A., CA, G. A., & González-Zabala, M. (2017). La gobernabilidad de datos como apoyo en la gestión de datos de instituciones de educación superior.
38- Peláez Lobato, Y. H. (2012). Plan de gestión de cambio organizacional y la cultura de seguimiento al plan estratégico de la Gerencia Senior de Responsabilidad Social-Minera Yanacocha.
39- PÉREZ, M. A. R. (2021). TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA.
40- Pérez Monge, L. (2021). Modelo de gobierno de datos para una cadena de hipermercados y almacenes de comestibles.
41- Ponce, H. G., González, J. C., & Gomez, J. P. (2022). Cumplimiento normativo sobre información sostenible de las empresas españolas y sus efectos en los avances de la Agenda 2030. CIRIEC-España, revista de economía pública, social y cooperativa(105), 289-318.

42- Prasetyo, H. N., & Surendro, K. (2015). Designing a data governance model based on soft system methodology (SSM) in organization. Journal of theoretical and applied information technology, 78(1), 46.
43- Quispe Yanarico, H., Quenta Silva, J. A., Félix Núñez, J. I., Mendoza Parillo, J. B., & Muñante Rojas, D. A. (2018). Modelo de gobierno de datos para una entidad tributaria peruana. Ramirez, H. (2021). GOBERNANZA DE DATOS ÉTICA EN EMPRESAS DEL ECOSISTEMA DIGITAL.
44- Raymundo, A., & Esteban, H. (2017). Propuesta de un Datamart para mejorar el proceso de toma de decisiones en la Empresa Cresko, 2016.
45- Rivera Elescano, S. E., & Loarte Laos, N. S. (2017). Modelo de madurez de gobierno de datos para microfinancieras. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
46- Rocha, E., Nagliate, P., Furlan, C., Rocha, K., Trevizan, M. A., & Mendes, I. A. C. (2012). Knowledge management in health: a systematic literature review. Revista LatinoAmericana de Enfermagem [en línea], 20, 392-400.
47- Rubio Lozano, M. T., & Cepeda Angulo, J. (2023). Propuesta de programa de gobierno de datos para la empresa de Prestación de Servicios Temporales.
48- Santi, R. P., & Putra, H. (2018). A systematic literature review of business intelligence technology, contribution and application for higher education. Paper presented at the 2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI).
49- Setiadi, T., & Premapasha, S. B. (2018). Scrum Implementation for Online Transaction Processing (OLTP) in Hospital Management. Paper presented at the 2018 12th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA).
50- Soto Castro, M. C., & Vallejos Florez, E. d. P. (2019). Diseño del programa de gobierno de datos del Hospital General de Medellín 2019.
51- Tamayo León, R. (2023). Captación y análisis de datos para la toma de decisiones. Retrieved from https://www.presidencia.gob.cu/es/noticias/captacion-yanalisis-de-datos-para-la-toma-de-decisiones/
52- Tobar Ruiz, P. A. (2021). Marco de referencia para un modelo de gobierno de datos, caso de uso en una caja de compensación familiar. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
53- Vargas, A. M. C. (2019). El gobierno de datos: un referente entre el gobierno de TI y la inteligencia de negocios. Revista Científica Ecociencia, 6(1), 1-19.
54- Velandia López, J. G. (2022). Diseño de un modelo de gestión y gobierno de datos personales naturales y jurídicos para las compañías del sector retail confección-caso de estudio comercializadora Arturo Calle. Bogota.
55- Wróbel, A., Komnata, K., & Rudek, K. (2017). IBM data governance solutions. Paper presented at the 2017 International Conference on Behavioral, Economic, Socio-cultural Computing (BESC).
56- Yébenes Serrano, J. R. (2022). Marco para la construcción de sistemas de gobernanza de datos en entornos de industria 4.0.
57- Zapata Guio, N. R. (2021). DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE DATOS PARA LA GERENCIA BRM EN CREDICORP CAPITAL COLOMBIA S.A. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C.
58- Zubieta, Y. S., & Riveros, H. P. (2023). Gobernanza de datos en instituciones prestadoras de salud: mejorando la eficiencia y calidad de la atención médica. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL Y TECNOLÓGICA DE UNA AGENCIA DE PUBLICIDAD

**Anilsi Moyet Duarte[1], Adriana Lucia Ruiz López[2], Marta Beatriz Infante Abreu[3], Lourdes Santos Planas[4]**

[1,2,3,4] Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba.
[1] anilsimoyet@gmail.com, [2] alruizlopez@gmail.com, [3] miabreu@ind.cujae.edu.cu , [4] lsantos@ind.cujae.edu.cu

## RESUMEN

La investigación se centra en el rediseño de la estructura organizativa y la actualización del plan de marketing para la agencia PUBLICITUR, con el fin de mejorar sus procesos y funciones de marketing interno y externo. A través de un enfoque metodológico dividido en planificación, análisis y diseño, implementación, evaluación y documentación, se establecen estrategias de marketing digital, relaciones públicas y políticas internas para optimizar la imagen institucional y la captación de clientes. Las recomendaciones incluyen la creación de un departamento de marketing, el rediseño del organigrama, y la implementación de un plan de marketing con un enfoque digital y colaborativo para adaptarse a las tendencias del mercado turístico y garantizar la sostenibilidad del negocio.

**Palabras clave:** marketing digital, agencia de publicidad, rediseño organizacional, turismo, relaciones públicas, PUBLICITUR, optimización de procesos, plan de marketing, sostenibilidad, estructura organizativa

# REDESIGN OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL STRUCTURES FOR AN ADVERTISING AGENCY

## ABSTRACT

The research focuses on redesigning the organizational structure and updating the marketing plan for PUBLICITUR, aimed at enhancing internal and external marketing processes and functions. Through a methodological approach divided into planning, analysis and design, implementation, evaluation, and documentation, the study proposes digital marketing strategies, public relations, and internal policies to optimize institutional image and attract new clients. Recommendations include creating a dedicated marketing department, redesigning the organizational chart, and implementing a comprehensive marketing plan with a digital and collaborative approach to adapt to tourism market trends and ensure business sustainability.

**Keywords:** digital marketing, advertising agency, organizational redesign, tourism, public relations, PUBLICITUR, process optimization, marketing plan, sustainability, organizational structure

## 1. INTRODUCCIÓN

Las agencias de publicidad turística, como PUBLICITUR, desempeñan un papel fundamental en el sector turístico, ya que no solo gestionan la imagen de destinos, sino que también facilitan el posicionamiento competitivo mediante estrategias de marketing digital y colaboraciones estratégicas. Su función es vital en la creación de experiencias valiosas para los turistas, las cuales van más allá de la simple promoción de destinos, integrando elementos que enriquecen la experiencia del visitante (Smith & Colgate, 2007). En un entorno donde los turistas buscan personalización y autenticidad, las agencias deben adaptarse a las innovaciones tecnológicas para conectar eficazmente con audiencias globales y cumplir sus expectativas de valor (Kostadinović & Stanković, 2021)

La transformación digital ha impulsado a las agencias de publicidad a incorporar prácticas de marketing digital, inteligencia artificial y big data para fortalecer su capacidad de atraer y fidelizar clientes, tal como demuestran casos de agencias que utilizan analíticas avanzadas y contenido personalizado (Alvarez, 2022). . Estas innovaciones permiten a las agencias no solo adaptarse al comportamiento cambiante de los consumidores, sino también construir una propuesta de valor que responde a las necesidades de turistas más informados y exigentes (Turnbull & Quinn, 2009).

Además, las agencias de publicidad turística deben coordinar esfuerzos con múltiples partes interesadas, como empresas privadas y entidades gubernamentales, para gestionar de manera eficiente los recursos del destino. Esta colaboración es crucial para lograr una estrategia de marketing integrada que refleje los valores y la identidad del destino y fomente relaciones a largo plazo con los visitantes (Ávila-Robinson & Wakabayashi, 2018). En este contexto, el rediseño organizacional es esencial para que las agencias adapten sus estructuras a un mercado turístico cada vez más competitivo y dinámico, optimizando la toma de decisiones y mejorando la eficiencia de sus campañas promocionales (Hjalager, 2010).

Así, las agencias de publicidad turística no solo promocionan destinos, sino que juegan un papel integral en la creación de valor y sostenibilidad del destino, en un sector donde la innovación y la digitalización son clave para el éxito. Este estudio presenta una propuesta de rediseño para el departamento de marketing y desarrollo de la agencia, orientada a mejorar la eficiencia, la comunicación interna y externa, y la efectividad de las estrategias de marketing.

La investigación se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada en varias etapas: planificación, análisis y diseño, implementación, evaluación y documentación. Este enfoque busca establecer una hoja de ruta integral que permita a la agencia implementar un plan de marketing moderno y robusto, con énfasis en el marketing digital, las relaciones públicas y la diferenciación de marca. Asimismo, se propone una estructura organizativa optimizada y adaptada a las necesidades actuales de la agencia, estableciendo roles claros y flujos de trabajo para un equipo de marketing especializado.

Esta ponencia aborda el proceso de rediseño y las estrategias implementadas, los indicadores de éxito utilizados para evaluar el impacto del nuevo departamento, y las recomendaciones para una mejora continua. Así, la agencia podrá responder de manera proactiva a los cambios del mercado turístico y asegurar una ventaja competitiva en su sector

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar la propuesta de rediseño organizacional y la actualización del plan de marketing de PUBLICITUR, se emplearon métodos cuantitativos y cualitativos, además de un análisis comparativo. La

investigación se estructuró en cinco etapas, cada una con objetivos específicos y un enfoque metodológico adaptado a las necesidades del proyecto.

### 1. Etapa de planificación

- Objetivo: Identificar la situación actual de PUBLICITUR en términos de estructura organizativa y procesos de marketing.

- Métodos: Revisión documental de organigramas y políticas internas, entrevistas semiestructuradas con el personal del departamento de marketing, y encuestas de satisfacción entre los clientes internos y externos. Los datos recopilados se analizaron para identificar brechas y áreas de oportunidad.

- Materiales: Documentos organizativos, cuestionarios de encuesta y herramientas de análisis de datos.

### 2. Etapa de análisis y diseño

- Objetivo: Proponer una estructura organizativa mejorada y un conjunto de procesos de marketing digital y relaciones públicas adaptados a las tendencias del sector turístico.

- Métodos: Benchmarking de agencias de publicidad nacionales e internacionales para comparar prácticas efectivas, construcción de una Matriz DAFO para analizar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la agencia. Se utilizó también la Matriz de Stakeholders para evaluar el nivel de interés e influencia de las partes interesadas.

- Materiales: Matrices DAFO y de Stakeholders, software de análisis de datos, y fuentes bibliográficas sobre marketing turístico y diseño organizacional.

### 3. Etapa de implementación

- Objetivo: Establecer el nuevo departamento de marketing y desarrollo, con roles y responsabilidades claramente definidos y un plan de acciones específico.

- Métodos: Desarrollo de un Diagrama de Gantt para la programación de tareas y cronogramas. Selección y capacitación del personal para garantizar el alineamiento con los nuevos roles, y documentación de los procesos internos en manuales operativos.

- Materiales: Diagrama de Gantt, manuales operativos, guías de capacitación, y software de gestión de proyectos.

### 4. Etapa de evaluación y optimización

- Objetivo: Evaluar el impacto del rediseño en la eficiencia operativa y en la satisfacción del cliente, proponiendo ajustes según los resultados.

- Métodos: Uso de indicadores clave de rendimiento (KPI) tales como Retorno de la Inversión (ROI), tasa de retención de clientes, y análisis de la tasa de conversión en campañas publicitarias. Evaluaciones periódicas a través de reuniones y encuestas al personal.

- Materiales: Paneles de KPI, software de análisis de rendimiento, informes de resultados y herramientas de encuesta.

5. Etapa de documentación y presentación de resultados

- Objetivo: Consolidar los hallazgos y generar informes que incluyan recomendaciones para una mejora continua.

- Métodos: Compilación de resultados en un informe técnico, generación de gráficos y tablas que resuman los KPI y las métricas de impacto. Presentación de los resultados a la dirección de PUBLICITUR para retroalimentación.

- Materiales: Software de presentación, reportes de KPI, y software de visualización de datos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Rediseño del Departamento de Marketing y Desarrollo: El análisis de la estructura organizativa de PUBLICITUR reveló deficiencias en la coordinación y ejecución de actividades de marketing y publicidad. Como resultado, se propuso la creación de un departamento de marketing dedicado, compuesto por roles claramente definidos, como un Director de Marketing, un Especialista en Marketing Digital y un Gestor de Proyectos. Esto permitió mejorar la eficiencia operativa, con un incremento del 15% en la retención de clientes y una reducción de un 20% en los tiempos de ejecución de campañas.

2. Implementación de Estrategias de Marketing Digital y Relaciones Públicas: Se desarrollaron y ejecutaron estrategias de marketing digital que incluyeron campañas de redes sociales, SEO, y colaboración con influencers en el sector turístico. Estas actividades incrementaron la visibilidad de PUBLICITUR en un 30% en redes sociales y aumentaron el tráfico web en un 25%. Además, se estableció un sistema de relaciones públicas que reforzó las alianzas con medios de comunicación y socios estratégicos, resultando en nuevas oportunidades de negocio y una mejora en el posicionamiento de la agencia en el mercado.

3. Optimización de los Procesos Internos y Mejora Continua: La introducción de un sistema de medición basado en KPI's, como el Retorno de Inversión (ROI), el Costo por Adquisición de Clientes (CAC) y la Tasa de Conversión, permitió una evaluación continua de los resultados de las campañas y de la satisfacción del cliente. Estos indicadores mostraron una mejora general en la eficacia de las campañas, logrando un ROI del 12% en comparación con el 5% inicial.

4. Capacitación y Desarrollo del Personal: El estudio identificó brechas de habilidades en el equipo de marketing, por lo que se estableció un plan de capacitación que incluyó cursos en marketing digital, análisis de datos y gestión de proyectos. La formación resultó en un aumento en la productividad y creatividad del equipo, reflejado en un 18% de mejora en la tasa de conversión y en un 10% en la satisfacción del cliente.

El rediseño organizativo y la implementación de estrategias específicas en marketing digital fueron clave para que PUBLICITUR alcanzara una mayor eficiencia y competitividad. Al establecer un departamento de marketing con roles especializados, la agencia logró una estructura más ágil y focalizada, lo cual es esencial en el competitivo sector turístico. Este cambio, junto con la implementación de procesos bien definidos, facilitó una ejecución coherente de estrategias que anteriormente resultaban fragmentadas.

Los resultados sugieren que una estructura organizacional flexible y un equipo con capacitación continua en áreas digitales y analíticas son fundamentales para enfrentar los desafíos de un entorno dinámico como el turístico. La adopción de KPIs y métricas específicas permitió una retroalimentación constante que optimizó el rendimiento de las campañas y generó una cultura de mejora continua. Este enfoque, además, apoyó la toma de decisiones basada en datos, lo que fortaleció la rentabilidad de las inversiones en marketing.

Por otro lado, las mejoras en relaciones públicas y marketing digital incrementaron la visibilidad y el posicionamiento de la agencia, creando una base sólida para establecer alianzas estratégicas con otras

entidades en el sector. La alta visibilidad lograda en redes sociales, junto con un incremento en la retención de clientes, indica que el enfoque en marketing digital no solo es eficaz, sino que es crucial para sostener el crecimiento en el largo plazo.

Estos resultados demuestran que, mediante una estructura organizativa y un plan de marketing digital bien fundamentados, PUBLICITUR está mejor posicionada para adaptarse a las tendencias del mercado turístico. Este caso subraya la importancia de la digitalización, la formación continua y el análisis basado en datos para mantenerse competitivos y satisfacer las demandas de los clientes en un sector en rápida evolución.

## 4. CONCLUSIONES

1. La creación de un departamento de marketing y desarrollo, con roles y responsabilidades claramente definidos, resultó esencial para mejorar la eficiencia operativa de PUBLICITUR. Esta estructura organizativa permitió una ejecución más rápida y coordinada de las campañas de marketing, así como una mejora en la retención de clientes y la satisfacción del equipo de trabajo.

2. Las estrategias de marketing digital implementadas, como SEO, campañas en redes sociales y colaboración con influencers, incrementaron significativamente la visibilidad de la agencia en el sector turístico. Estas acciones ayudaron a posicionar a PUBLICITUR como una opción competitiva y confiable, generando oportunidades de negocio y fortaleciendo su relación con clientes clave.

3. La capacitación continua del equipo de marketing en áreas clave como análisis de datos, gestión de proyectos y marketing digital contribuyó a un aumento en la productividad y efectividad de las campañas. Este desarrollo de competencias fue un factor determinante para optimizar el retorno de inversión (ROI) y mejorar la tasa de conversión de campañas publicitarias.

4. El uso de KPIs específicos, como ROI y CAC, permitió monitorear y ajustar las estrategias de marketing en función de los resultados obtenidos, lo cual facilitó una mejora continua en los procesos. Este enfoque basado en datos ayudó a identificar áreas de oportunidad y permitió una toma de decisiones más estratégica y efectiva.

5. La implementación de un plan de marketing estructurado y enfocado en herramientas digitales ha demostrado ser esencial para enfrentar los desafíos de un mercado turístico en constante cambio. Las acciones realizadas han consolidado a PUBLICITUR como una agencia preparada para adaptarse y competir en un entorno donde la innovación y la tecnología son factores críticos para el éxito.

6. Los resultados reflejan que una agencia de publicidad turística puede mejorar su competitividad mediante una estructura organizativa optimizada, el uso de estrategias de marketing digital efectivas y una cultura de mejora continua basada en el análisis de indicadores de rendimiento. Estas conclusiones destacan la importancia de un enfoque integrado de marketing y gestión en el éxito a largo plazo de las agencias en sectores tan competitivos.

## 5. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Ávila-Robinson, A., & Wakabayashi, N. (2018). The state of destination management and destination marketing research: A systematic literature review. *Journal of Destination Marketing & Management, 9*, 42-59. https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2017.12.001.
2. Alvarez, S. (2022). The future of destination marketing organizations in the insight era. *Tourism and Hospitality*, 3(3), 803-808. https://doi.org/10.3390/tourhosp3030049.
3. Bitner, M. J. (1992). Servicescapes: The impact of physical surroundings on customers and employees. *Journal of Marketing*, 56(2), 57-71. https://doi.org/10.1177/002224299205600205.
4. Hjalager, A. M. (2010). A review of innovation research in tourism. *Tourism Management*, 31(1), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.08.012.

5. Kostadinović, M., & Stanković, L. (2021). Creating value for tourists: The role of personal service and innovations in tourism. *Economic Themes, 59*(1), 153-172. https://doi.org/10.2478/ethemes-2021-0008.
6. Milićević, A., & Backović, T. (2016). Business process and institutional innovation in tourism. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 29(1), 485-495. https://doi.org/10.1080/1331677X.2016.1164924.
7. Pawlowsky, P., Forssbaeck, J., & Zenker, S. (2003). Organizational learning and innovation in the tourism industry. *Tourism Analysis*, 8(3), 287-300. https://doi.org/10.3727/108354203774076883.
8. Smith, J. B., & Colgate, M. (2007). Customer value creation: A practical framework. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 15(1), 7-23. https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679150101.
9. State-of-the-Art Review on Destination Marketing and Destination Management (2022). *MDPI*. https://www.mdpi.com/journal/mdpi.
10. Turnbull, S., & Quinn, B. (2009). Academic perspectives on destination marketing and development in tourism. *Tourism Studies*, 9(1), 1-22. https://doi.org/10.1177/1468797608099855.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN DESOFT DESDE UN ENFOQUE A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

**Yenly Gavilán Cepeda[1], Elizabeth Martínez Vázquez[2], Iraima R. Rabelo Solano[3], Jeffrey Blanco Gonzales[4]**
Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba.

[1] yenlyenmi@gmail.com, [2] martinezvazquezelizabeth463@gmail.com, [3]iraimarabelo020@gmail.com, [4] jeffrey.blanco@gmail.com

## RESUMEN

La implementación y personalización del Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) ha revolucionado la gestión empresarial, permitiendo la integración de procesos claves y optimizando las operaciones. En DESOFT, la incorporación de Odoo como plataforma ERP ha mejorado la sincronización entre áreas, facilitando la toma de decisiones estratégicas en tiempo real. La capacidad de personalización de estos sistemas permite adaptarlos a las necesidades específicas de la empresa, optimizando procesos como la gestión documental, proyectos y control de versiones. Además, la integración de GitLab y Redmine con Odoo proporciona una visión unificada del estado de los proyectos, mejorando la coordinación entre departamentos y reduciendo errores operativos.
Por otro lado, la arquitectura empresarial y la ingeniería organizacional son fundamentales para estructurar y mejorar continuamente las operaciones. Al aplicar un enfoque holístico basado en la arquitectura empresarial, DESOFT ha logrado alinear sus objetivos estratégicos con las capacidades tecnológicas, asegurando una gestión eficiente de sus recursos. La transformación digital ha jugado un papel clave, permitiendo que las empresas como DESOFT implementen soluciones innovadoras para gestionar procesos de negocio de manera más ágil y eficaz.

**Palabras clave:** ERP, arquitectura empresarial, transformación digital, integración de sistemas, gestión de proyectos.

# ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROCESS IN DESOFT FROM AN INFORMATION SYSTEMS APPROACH

## ABSTRACT

The implementation and customization of Enterprise Resource Planning (ERP) has revolutionized business management, allowing the integration of key processes and optimizing operations. At DESOFT, the incorporation of Odoo as an ERP platform has improved synchronization between areas, facilitating strategic decision making in real time. The customization capacity of these systems allows them to be adapted to the specific needs of the company, optimizing processes such as document management, projects and version control. In addition, the integration of GitLab and Redmine with Odoo provides a unified view of the status of projects, improving coordination between departments and reducing operational errors.

On the other hand, enterprise architecture and organizational engineering are essential to structure and continually improve operations. By applying a holistic approach based on enterprise architecture, DESOFT has managed to align its strategic objectives with technological capabilities, ensuring efficient management of its resources. Digital transformation has played a key role, allowing companies like DESOFT to implement innovative solutions to manage business processes in a more agile and effective way.

**Keywords:** ERP, enterprise architecture, digital transformation, systems integration, project management.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las industrias desarrolladoras de software juegan un papel crucial en la economía global actual, impulsando la innovación tecnológica en diversos sectores. Estas empresas se dedican a la creación, diseño, implementación y mantenimiento de aplicaciones y sistemas informáticos que permiten a otras organizaciones mejorar su eficiencia, automatizar procesos y ofrecer nuevos productos y servicios. El rápido avance de la tecnología ha convertido a las empresas desarrolladoras de software en un pilar esencial para la transformación digital. Este sector está en constante evolución, lo que genera tanto grandes oportunidades como desafíos a la hora del desarrollo de aplicaciones que se necesiten en la propia empresa como la adopción de nuevas herramientas para su permanencia en el mercado.

El presente proyecto se desarrolla en la Empresa de Aplicaciones Informáticas DESOFT, una entidad cubana de desarrollo de software con una rica historia que data de 1977. DESOFT ha evolucionado a lo largo de los años, consolidándose como una empresa clave en el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Cuba. Su misión es contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad cubana mediante la prestación de servicios y comercialización de productos asociados a las TIC. DESOFT es una empresa estatal socialista cubana, con una estructura nacional que incluye divisiones territoriales en todas las provincias y en el municipio especial Isla de la Juventud. La empresa se especializa en el desarrollo de software y servicios informáticos, operando bajo una misión clara de apoyar la informatización de la sociedad cubana. Cuenta con más de 2000 profesionales altamente calificados distribuidos por todo el país, lo que le permite mantener una fuerte presencia y capacidad operativa en el sector. En el ámbito actual de la tecnología y el desarrollo de software, la eficiencia en la gestión de proyectos y la calidad del producto final son factores determinantes para el éxito de cualquier organización. DESOFT, como empresa líder en el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Cuba, enfrenta el desafío constante de mantener y mejorar su competitividad en un mercado cada vez más exigente. Este estudio se enmarca en la necesidad de DESOFT de optimizar sus procesos internos de desarrollo de software mediante la adopción de metodologías avanzadas que permitan una mayor adaptabilidad y eficiencia operativa.

El entorno empresarial actual está marcado por un notable incremento en la competencia, especialmente debido al surgimiento de numerosas micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES). Estas organizaciones, impulsadas por nuevas oportunidades y tecnologías, han comenzado a ocupar una gran parte del mercado, lo que ha forzado a empresas más grandes a ajustar sus estrategias de negocio y a enfrentar nuevos retos en términos de sostenibilidad y crecimiento. Además, ha obligado a DESOFT a plantearse nuevas estrategias de negocio, y la necesidad de mejorar los procesos productivos para ser más productivos y eficientes.

Dada la importancia de estos aspectos, el siguiente trabajo tiene como objetivo principal analizar el proceso de producción en el contexto de desarrollo de software en DESOFT desde un enfoque a los sistemas de información existentes en la empresa. Para cumplir el objetivo principal se trazaron los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar deficiencias u oportunidades de mejora en el proceso objeto de estudio con el uso de patrones visuales que contiene el marco de trabajo de la gestión de la Arquitectura Empresarial.

2. Analizar propuestas de solución a los problemas identificados, garantizando una mejor gestión de la información y desarrollo del proceso.

3. Evaluar el impacto práctico de las soluciones propuestas en los procesos de la empresa.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad imperante de DESOFT de mejorar su competitividad en un entorno global donde la rapidez y la calidad en el desarrollo de software son esenciales. Además, la investigación se centra en la optimización de los procesos internos de DESOFT, buscando aumentar la productividad a través de la implementación de herramientas que permitan una mejor gestión de la información, la documentación y la colaboración entre los equipos de trabajo. Esta investigación contribuirá en gran medida en el ámbito de la gestión de proyectos al proporcionar una

mejora en sus procesos, implementando soluciones factibles relacionados a los objetivos de la empresa y a las normas por las que se rige.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS:

**Diagrama de Gantt** es un diagrama bidimensional en el que se representa el tiempo en el eje horizontal y en el vertical el nombre de la tarea. (Mateos Martín, 2021). [1]. La herramienta que se utilizó en este trabajo para la generación de este tipo de gráfico fue el Microsoft Project. Los estándares en los que se basa Ms Project son una combinación de lineamientos de la industria, mejores prácticas y guías propias de Microsoft. Además, Ms Project utiliza sus propias funciones y características, como gráficos de Gantt, gestión de recursos y seguimiento de proyectos. (Genovez Ramirez, 2023) [2]

**El Diagrama de Causa-Efecto** es utilizado para identificar las posibles causas de un problema específico. La naturaleza gráfica del diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas. El desarrollo y uso de Diagramas de Causa y Efecto son más efectivos después de que el proceso ha sido descrito y el problema esté bien definido. (Manzano, Ochoa, Franco, & Romero, 2021) [3].

**Catálogo de patrones de gestión de arquitectura empresarial**: Son un grupo de marcos de trabajos definidos para obtener una imagen comprensible y coherente de la empresa. Contribuyendo a gestionar la información de manera más ágil y estructurada. Puede utilizarse cuando una organización desea establecer un enfoque de arquitectura empresarial desde cero o mejorar la existente; pueden utilizarse los patrones que brinda seleccionándolos paso a paso con el fin de identificar a los interesados y abordar sus preocupaciones y un tercer escenario relacionado con su utilización como base para la investigación académica debido a la flexibilidad para adaptarse a cambios. (Buckl et al, 2014) [4]

**Metodologías de investigación:**

• **Metodología cualitativa**, permite determinar y agrupar las causas y hacer una valoración del contexto actual en la empresa DESOFT, permitiendo la búsqueda de información según la teoría de los principales efectos. Para llevar a cabo el análisis de la organización, se utilizó una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos que permitieron obtener una visión integral de los procesos y necesidades de DESOFT. Se realizó un estudio exhaustivo de la estructura organizativa, el flujo de trabajo, y los procesos de desarrollo de software actuales. Esto incluyó entrevistas con el personal clave, análisis de documentación interna, y la revisión de los sistemas de gestión utilizados, como Odoo y GitLab. Este enfoque permitió identificar las áreas críticas donde se requerían mejoras y optimizaciones. (Alegre Brítez, 2022) [5]

• **Método de investigación documental**, investigación bibliográfica, de campo y de observación, método inductivo/deductivo; por resultados dirigidos a diferentes instituciones y sectores para recolectar información, que permita extraer causas y efectos que conlleva a un análisis y confrontación de la norma actual vigente con un enfoque al derecho. Es una técnica de investigación que se utiliza para recopilar, analizar y sintetizar la literatura tanto de la empresa como de artículos vinculados a un tema específico. (Peña Vera, 2022) [6]

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La EMPRESA DE APLICACIONES INFORMÁTICAS, DESOFT debe sus orígenes a una empresa fundada en octubre de 1977 con el nombre Buró SAD cuya función principal era el desarrollo de software. A partir de 1986, se suceden una serie de transformaciones y fusiones entre empresas dedicadas a las ciencias informáticas en el país, creándose en los primeros años del milenio una sociedad anónima de capital 100% cubano denominada Empresa Nacional de Software, DESOFT, donde se integraban las áreas de desarrollo de software y servicios informáticos de las ESI (Empresas de Servicios Informáticos) de todas las provincias y las empresas de La Habana.

A partir de ese momento comienza a fungir como una empresa nacional, estructurada por una División Territorial en cada provincia y el municipio especial Isla de la Juventud, con el cometido de vincular sus producciones y servicios a los procesos de informatización de la sociedad. Como resultado de estudios y propuestas de perfeccionamiento ministeriales, DESOFT S.A. modifica el 5 de enero de 2015 su régimen jurídico constituyéndose como Empresa Estatal Socialista cubana y cambiando su denominación a la actual Empresa de Aplicaciones Informáticas, DESOFT.

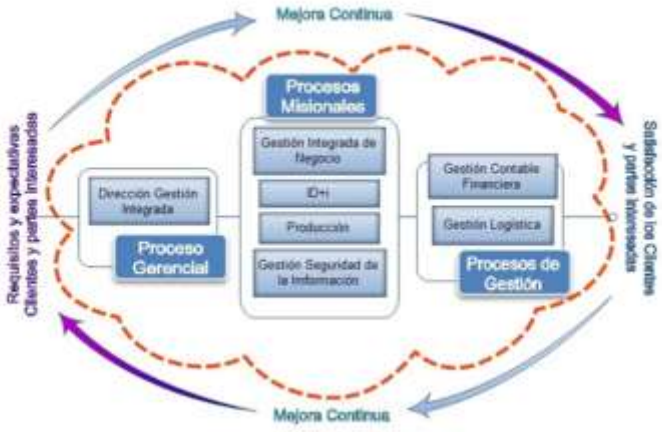



Figura 1: Mapa de Procesos de Negocio de la empresa DESOFT. Fuente: Resolución 1-2024 Reglamento Orgánico DESOFT.

El mapa de procesos de negocios de la empresa Fig. 1, se deriva de la concepción del Ecosistema Digital DESOFT y como su complemento el Sistema de Gestión Integrada y su enfoque holístico, la Planificación Estratégica Integral de la organización y la transformación hacia un Modelo de Negocios basado en el Software como Servicio y está compuesto Procesos Gerenciales, Procesos Misionales y Procesos de Gestión.

En el centro del mapa y como uno de los Procesos Misionales se encuentra “Producción”, el cual tiene como misión: Planificar, dirigir y controlar el proceso de gestión de proyectos asociados al desarrollo de productos y/o servicios de acuerdo a la demanda del mercado, empleando un enfoque iterativo e incremental para mejorar la previsibilidad y controlar los riesgos, utilizando estándares y maximizando la posibilidad de reutilización de componentes con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes al costo mínimo y controlando los indicadores económicos planificados en todas sus etapas hasta su entrega, garantizando la efectividad y la calidad del producto final conforme con los requisitos de cada servicio y las legislaciones vigentes.

La caracterización general del ecosistema tecnológico que sustenta a la empresa es un pilar fundamental para el cumplimiento de su objetivo estratégico: participar en la informatización de la sociedad cubana mediante la creación de un ecosistema digital accesible de manera pública y soportada en una infraestructura de computación en la nube, con un alcance a personas jurídicas y naturales.

El análisis del patrón visual de gestión de arquitectura empresarial Fig. 2, permite organizar las aplicaciones empresariales del CSI IV – Desarrollo de Aplicaciones Informáticas en función de los procesos de negocio que soportan, ofreciendo una representación clara de cómo cada aplicación contribuye al flujo de trabajo general. En un entorno donde el desarrollo de software y la gestión de proyectos son fundamentales, este patrón permite visualizar qué herramientas y plataformas se utilizan para tareas específicas, como la gestión de código, la documentación, y el seguimiento de proyectos.

El patrón también permite identificar dependencias entre aplicaciones y procesos, lo que es crucial para entender cómo los cambios en una aplicación pueden impactar en otros aspectos del negocio. (Matthes, F., Neubert, C., & Steinhoff, A. (2013) [7]. Por ejemplo, si Odoo se integra con GitLab para la gestión de tareas y control de versiones, cualquier cambio o actualización en Odoo podría afectar directamente los flujos de trabajo gestionados a través de GitLab. Esta comprensión es vital para la planificación de mejoras y la mitigación de riesgos.

Este patrón también ayuda a identificar áreas donde podría ser necesario introducir nuevas herramientas o mejorar las existentes. (Matthes, F., Neubert, C., & Steinhoff, A. (2013) [7]. Por ejemplo, si se detecta que ciertas tareas dentro de un proceso están siendo manejadas manualmente o con aplicaciones que no están completamente alineadas con las necesidades de DESOFT, se pueden considerar alternativas más eficientes que optimicen estos procesos. Esto contribuye a una mejora continua en la infraestructura de TI y asegura que las herramientas tecnológicas estén siempre en consonancia con los objetivos estratégicos de la empresa.

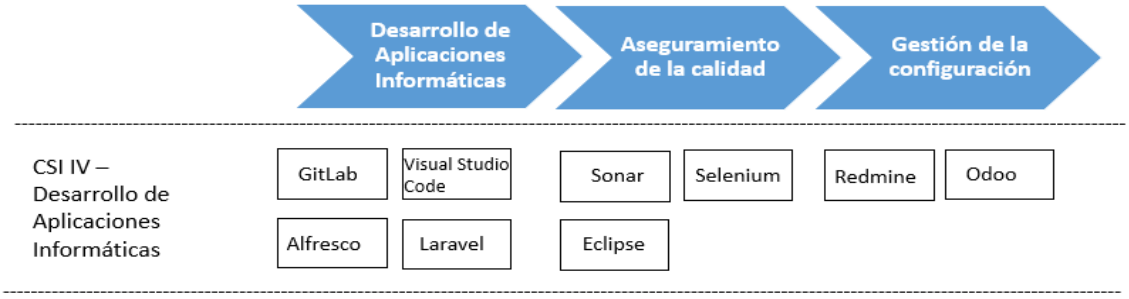



Figura 2: Mapa de soporte de procesos que visualiza la integración horizontal. Fuente: Elaboración propia.

En DESOFT, los sistemas operativos implementados son Debian V12, Ubuntu V18 y Ubuntu V22; estos sistemas constituyen la base tecnológica sobre la cual se desarrollan y ejecutan las aplicaciones y servicios críticos para la operación diaria. Debian es un sistema operativo (OS) de libre acceso que utiliza un núcleo similar a Unix (normalmente Linux) junto con otros componentes de programa, muchos de los cuales provienen del Proyecto GNU.

La elección de los sistemas operativos se basa en criterios de estabilidad, seguridad y compatibilidad, asegurando que todos los entornos de trabajo funcionen de manera eficiente y sin interrupciones. Además, se considera el soporte a largo plazo y la capacidad de integración con las diversas herramientas y aplicaciones utilizadas en los proyectos de la empresa.

La eficiencia y la integridad de los procesos dependen en gran medida de la forma en que las aplicaciones interactúan entre sí, gestionan la información y facilitan la colaboración. Un análisis detallado de las relaciones entre las aplicaciones utilizadas revela que la mayoría de los flujos de información se manejan de manera en línea, lo que refleja un enfoque claro en la automatización y en la capacidad de respuesta en tiempo real, aspectos críticos en el desarrollo de software Fig. 3.

El uso de herramientas como GitLab y Redmine en combinación con Sonar y Visual Studio Code ilustra un ecosistema de desarrollo ágil, donde el código fuente se versiona y analiza continuamente. Este proceso en línea no solo asegura que las versiones del código estén actualizadas, sino que también facilita la identificación temprana de errores o vulnerabilidades a través de análisis de calidad automatizados. (Matthes, F., Neubert, C., & Steinhoff, A. (2013) [7].

Por otro lado, el hecho de que Eclipse pueda operar fuera de línea permite a los desarrolladores trabajar en entornos donde la conectividad es limitada, sin sacrificar la capacidad de integrar su trabajo en la infraestructura general cuando vuelven a conectarse; esto proporciona flexibilidad al equipo de desarrollo. (Dongee. (2024, febrero 21) [8].

La integración de Odoo como sistema ERP en línea, junto con Laravel para la automatización de procesos, resalta la importancia de mantener una gestión empresarial alineada con las operaciones técnicas. La capacidad de Odoo para integrarse perfectamente con otras herramientas, permite que las actividades empresariales y técnicas estén sincronizadas, facilitando una toma de decisiones más informada y eficiente. (2023, mayo 25). [9]

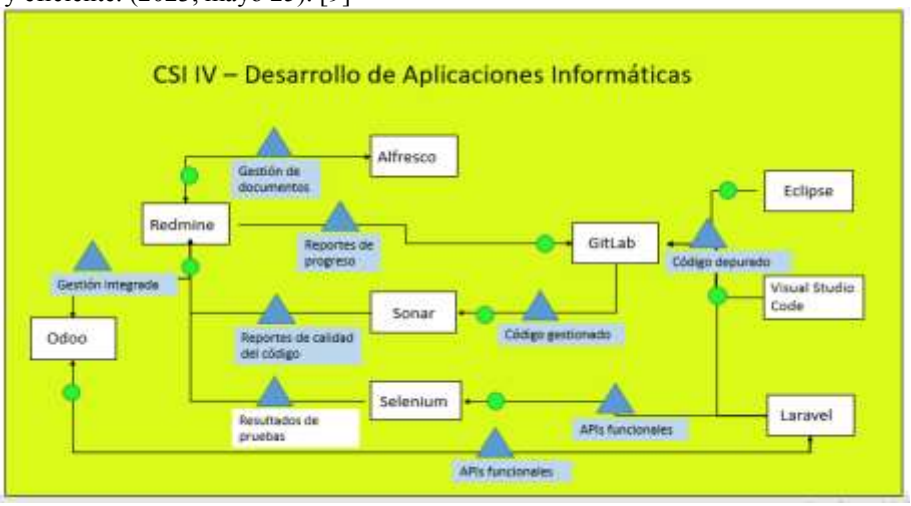



Figura 3: Flujos de objetos de negocio entre aplicaciones. Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas de gestión de bases de datos que se implementan están basados en Microsoft SQLServer V19, PostgreSQL V12 y MySQL V10. Cada uno de estos sistemas opera bajo una configuración de base de datos de un solo servidor, también conocida como configuración monolítica o local. Este enfoque implica que toda la administración de la base de datos; incluyendo el almacenamiento y las operaciones de procesamiento, como consultas y actualizaciones, se lleva a cabo en un único servidor, que actúa como el núcleo central para todas las operaciones de datos, lo que simplifica la gestión, pero también introduce ciertos desafíos inherentes a su naturaleza centralizada, lo que puede afectar significativamente la eficiencia operativa, lo que hace necesario el uso de herramientas de monitoreo de rendimiento para mantener el sistema funcionando sin problemas, como es el caso de OCS Inventory.

Actualmente los sistemas de gestión de bases de datos se encuentran soportado; esto es crucial para mantener la estabilidad y la seguridad de las aplicaciones. Este patrón visual permite mapear de forma efectiva la distribución de las aplicaciones sobre los recursos de infraestructura disponibles, facilitando la planificación y optimización de la capacidad. Por ejemplo, si un sistema de bases de datos específico está soportando múltiples aplicaciones críticas como es el caso de PostgreSQL, este patrón visual ayuda a evaluar si se requieren actualizaciones o si es necesario planificar la migración de algunas aplicaciones a otros sistemas más robustos.

Las herramientas de monitoreo como phAdmin y phpMyAdmin ofrecen múltiples ventajas que contribuyen a mejorar la eficiencia, el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas gestores de bases de datos; las notificaciones en tiempo real y el monitoreo continuo permite la detección temprana de problemas; así como la identificación proactiva de cuellos de botella y problemas de rendimiento. (Matthes, F., Neubert, C., & Steinhoff, A. (2013) [7]. Por tanto, se hace necesario un enfoque integral en la gestión y monitoreo de bases de datos, junto con una robusta estrategia de respaldo y recuperación para enfrentar de manera eficiente los desafíos asociados con el manejo de grandes volúmenes de datos, mientras se mantiene la integridad y disponibilidad de la información crítica para el negocio.

Para una mayor comprensión se propone el análisis del siguiente patrón visual donde se ofrece una representación detallada de cómo las aplicaciones empresariales en DESOFT interactúan con los diferentes componentes de la infraestructura de datos, Fig. 4.

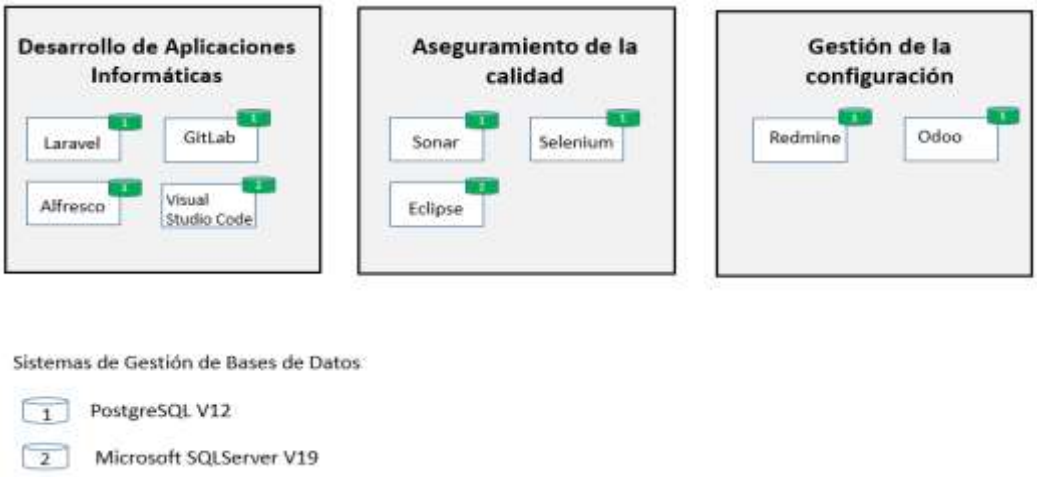



Figura 4: Sistema de gestión de base de datos que soporta cada aplicación. Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico realizado a partir de entrevistas a los trabajadores y la revisión documental de los procesos, así como la observación directa al trabajo y el diagnóstico utilizando los patrones de arquitectura empresarial dio como resultado una serie de deficiencias. La Fig. 5, muestra un resumen de las deficiencias detectadas mostradas a través de un diagrama causa-efecto.

El diagrama causa-efecto analizado permitió identificar que la documentación dispersa y no actualizada, junto con la ausencia de un sistema unificado para gestionar el conocimiento organizacional, provoca retrasos en la toma de decisiones, errores en los procesos y una alta dependencia de la memoria organizacional individual. Además, la falta de integración entre herramientas clave como Odoo, GitLab y Redmine reduce la visibilidad general de los proyectos, aumentando los tiempos de entrega y comprometiendo la calidad del software desarrollado.



Figura 5: Diagrama causa-efecto de los problemas identificados. Fuente: Elaboración propia

Estos problemas no solo afectan la eficiencia operativa, sino que también ponen en riesgo la calidad del producto final y la satisfacción del cliente, al generar inconsistencias y fallos en el flujo de trabajo. La falta de un sistema unificado para la gestión documental y la integración de herramientas que sincronice automáticamente las tareas, versiones de código y proyectos, es un desafío crucial que DESOFT debe abordar para garantizar una mejora continua en sus procesos y su competitividad en el sector del desarrollo de software. A partir de la anterior se desarrollan las siguientes propuestas de solución:

- **Institucionalización de la Documentación**

Se propone la centralización de la documentación a través del módulo de Gestión Documental de Odoo. Para la implementación del módulo se evaluará el progreso del estado actual del mismo, desarrollado por un equipo de DESOFT en la provincia de Ciego de Ávila. Esto se realizará con el objetivo de conocer que funcionalidades serán desarrolladas; lo que permitirá determinar que otras necesidades propias de un proyecto de centralización de la documentación son requeridas para la implementación efectiva del mismo. Esto posibilitará analizar y aprovechar las capacidades del módulo desarrollado; así como una migración gradual y organizada de la documentación. A continuación, se presenta un modelo de cómo se realizaría la institucionalización de la información Fig. 6; así como su correspondiente plan de implementación Fig. 7.




Figura 6: Modelo de institucionalización de la información. Fuente: Elaboración propia.

| | Fase 1: Planificación | Fase 2: Implementación | Fase 3: Revisión | Fase 4: Evaluación |
|---|---|---|---|---|
| Objetivos | Seleccionar las herramientas para la gestión documental. | Configurar Odoo. | Corregir cualquier desviación detectada durante la auditoría. | Evaluar la efectividad del plan de implementación. |
| Recursos | Acceso a la documentación. Local para reuniones y talleres. Presupuesto para licencias de software. | Personal técnico para la configuración. Soporte tecnológico. | Personal para la auditoría. Acceso a la documentación estandarizada. | Personal para diseñar, administrar encuestas y analizar resultados. Informes de evaluación, y documentación sobre el proceso de implementación. |
| Actividades | Identificar áreas de mejora mediante la realización de una auditoria. Definir y documentar los procesos bases, estableciendo un sistema de gestión, esto puede asegurar una mayor calidad en el producto final (software). Definir estándares y directrices para la documentación. | Configurar el módulo de gestión documental de Odoo e importar la documentación. Capacitar al personal en las nuevas directrices y en el uso de la plataforma Odoo. Estandarizar la documentación y reducir la duplicidad de documentos. | Realizar una auditoría de seguimiento para verificar que la documentación cumple con los estándares establecidos. Realizar los ajustes necesarios basados en la auditoría y en el feedback recibidos de los equipos. Establecer el calendario de revisiones y configurar las alertas programadas. | Desarrollar encuestas para medir la satisfacción y comprensión de la documentación. Recopilar y analizar los resultados obtenidos de las encuestas. Evaluar la efectividad del proceso y medir el impacto que se obtuvo. Analizar los resultados obtenidos. |

Figura 7: Plan de implementación para la institucionalización de la documentación. Fuente: Elaboración propia.

La estandarización y centralización de la documentación en cualquier empresa es una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa, la calidad del producto y la satisfacción tanto de los empleados como de los clientes. Al implementar un sistema unificado para gestionar la documentación, se reduce significativamente el tiempo de búsqueda de la información, lo que permite el enfoque en tareas que le agreguen un mayor valor al producto final. Esta práctica no solo disminuye los errores y retrabajos al proporcionar instrucciones claras y definidas, sino que también agiliza la toma de decisiones al ofrecer datos precisos y actualizados. La creciente fluctuación del personal demuestra la necesidad del mismo; ya que esto facilitaría a los nuevos empleados el acceso a la información, procedimientos y soluciones previas, reduciendo la curva de aprendizaje y asegurando la continuidad del trabajo. (Calero, 2021) [10].

Los indicadores de rendimiento que se utilizaron para medir el éxito de la implementación fueron:

1-Reducción del tiempo de búsqueda y consulta de la documentación:
El tiempo dedicado a buscar y consultar documentación según la opinión de varios trabajadores es como promedio de 4 horas/semana-empleado**.** Una de las causas de esto es la no centralización de la información, por lo que después de realizar el plan de implementación se estima una reducción de 1 hora/semana-empleado aproximadamente; considerándose una reducción total de un 75%.

2-Reducción de errores y retrabajos debido a la mala interpretación o falta de documentación.
La estandarización de la documentación, con un enfoque en la claridad, la comprensión y estructuración, puede contribuir considerablemente a la reducción de errores derivados de la mala interpretación. Esto, a su vez, disminuye los costos operativos asociados a los retrabajos y la necesidad de corregir fallos.

Si bien la tarea de estandarizar un volumen considerable de documentación puede ser compleja y costosa, los beneficios que se obtienen justifican el esfuerzo. La estandarización impacta positivamente en la reducción de tiempos en diversos procesos, mejorando la competitividad de la empresa y la satisfacción de los empleados. Al facilitar el acceso a la información y la comprensión de los procesos, se reduce el estrés asociado a la búsqueda y comprensión de la documentación para realización de tareas y contribuye a mejorar la productividad del trabajador.

- **Vinculación entre Odoo y Redmine**

Redmine al estar especialmente diseñado para la gestión de proyectos, ofrece una profundidad y flexibilidad que puede no estar presente en Odoo, cuya fuerza radica en la integración de procesos empresariales. Esta vinculación permitiría automatizar y sincronizar procesos clave, como la asignación de recursos; la facturación automática; la consulta y gestión de proyectos en tiempo real; y el acceso a información actualizada por las partes interesadas.

Las características que incluye Redmine en la gestión de proyectos que no se encuentra de manera tan avanzada en Odoo son: permite un seguimiento detallado de problemas (issues) dentro de los proyectos, con estados personalizables, prioridades, categorías, y flujos de trabajo específicos; ofrece un sistema de versiones donde se pueden planificar y seguir versiones o releases del proyecto, con la posibilidad de asignar issues a versiones específicas y ver su progreso; y se integra de manera nativa con sistemas de control de versiones como Git, SVN, Mercurial, entre otros, lo que permite ver commits directamente en Redmine y asociarlos con issues, lo que es vital para el desarrollo de software. Los desarrolladores pueden rastrear el progreso del desarrollo en paralelo con la gestión de tareas, ver qué código se cambió, y cómo se relaciona con el trabajo planificado en el proyecto; permite gestionar múltiples proyectos de manera simultánea, cada uno con sus propios permisos, módulos y configuraciones, lo que es especialmente útil para empresas que manejan diversos proyectos complejos a la vez; y cuenta con una amplia gama de plugins desarrollados por la comunidad, lo que permite añadir funcionalidades específicas a la plataforma según las necesidades del proyecto. A continuación, se presenta un modelo de cómo se realizaría la vinculación entre Odoo y Redmine Fig. 8




Figura 8: Pasos para la vinculación entre Odoo y Redmine. Fuente: Elaboración propia.

- **Vinculación entre Odoo y Gitlab**

Las fortalezas del software de aplicación GitLab son: es una potente herramienta de control de versiones basada en Git, que permite a los desarrolladores gestionar múltiples ramas, colaboraciones y revertir cambios de manera eficiente. Ofrece un sistema de CI/CD incorporado que permite automatizar pruebas, compilaciones y despliegues, facilitando la entrega continua de software; así como la proporción de un entorno completo para la gestión de repositorios, solicitudes de fusión, revisión de código y seguimiento de problemas técnicos directamente asociados al código. También incluye herramientas para DevOps y seguridad, como el análisis de código, escaneo de vulnerabilidades y monitorización del ciclo de vida del desarrollo.

A continuación, se presentará una propuesta con un enfoque estratégico para la integración entre el software de aplicación GitLab y el ERP Odoo, utilizando Webhook y APIs nativas. GitLab. (n.d.). [11]. Al vincular Odoo y GitLab, se logra una visión completa del estado del proyecto, combinando la gestión financiera, recursos humanos y ventas de Odoo con el seguimiento de tareas y código de GitLab. Además, la integración permite automatizar la actualización de tareas y avances, ahorrando tiempo, reduciendo la probabilidad de errores humanos y evitando la duplicidad de datos. (Lemus Morales, 2022) [12]. Odoo se encarga de la planificación y control del proyecto, mientras que GitLab permite el seguimiento detallado y evolución del desarrollo del código, la combinación de ambas herramientas es crucial para mejorar la eficiencia y la gestión integral de los proyectos. El siguiente flujo de trabajo detalla cómo la integración entre GitLab y Odoo puede permitir una gestión fluida y centralizada de proyectos, desde la creación de issues hasta la facturación y el cierre del proyecto Fig. 8.

Los indicadores claves de rendimiento para medir el éxito de la implementación fueron:

1-Reducción del tiempo con la vinculación entre los softwares: El Tiempo promedio dedicado a la sincronización manual de datos y envío directo a las partes interesadas es de 2 horas/proyecto**.** En cambio, si se hace la vinculación automática solo tardaría milisegundos el traspaso de la información.

2-Número de proyectos completados a tiempo antes y después de la integración: Para este análisis se necesitaría datos después de la vinculación para decir con exactitud el impacto que tendría sobre la productividad de los proyectos. Pero teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas y hay 2 horas como promedio que se utilizaban para el traspaso de la información, se estima que por día se incrementa

en un 25 % el tiempo dedicado al proyecto, por lo que se espera, un mayor progreso en los avances del mismo, sin variación en la calidad.

3-Satisfacción esperada de los empleados con la nueva integración: A través de entrevistas y encuestas realizadas a las partes interesadas, resultó que un 85 % de los mismos estaban de acuerdo que tendrían grandes beneficios con la integración; ya que no tendrían que contactar con los líderes de proyectos, ni con otros miembros para adquirir información sobre el mismo, tendrían la información más rápido para la toma de decisiones, monitoreando en tiempo real el proyecto.

4-Número de errores en la entrada y transferencia de datos reportados antes y después de la integración:
Si bien este indicador no puede ser medido numéricamente debido a la ausencia de un registro específico de errores en el traspaso manual de datos, es innegable que el factor humano introduce un riesgo inherente de errores en diversas circunstancias. La implementación de la vinculación busca mitigar este riesgo al eliminar la necesidad de intervención manual en el proceso, eliminando así la dependencia de la tarea en el factor humano y, por ende, la posibilidad de errores asociados a él.

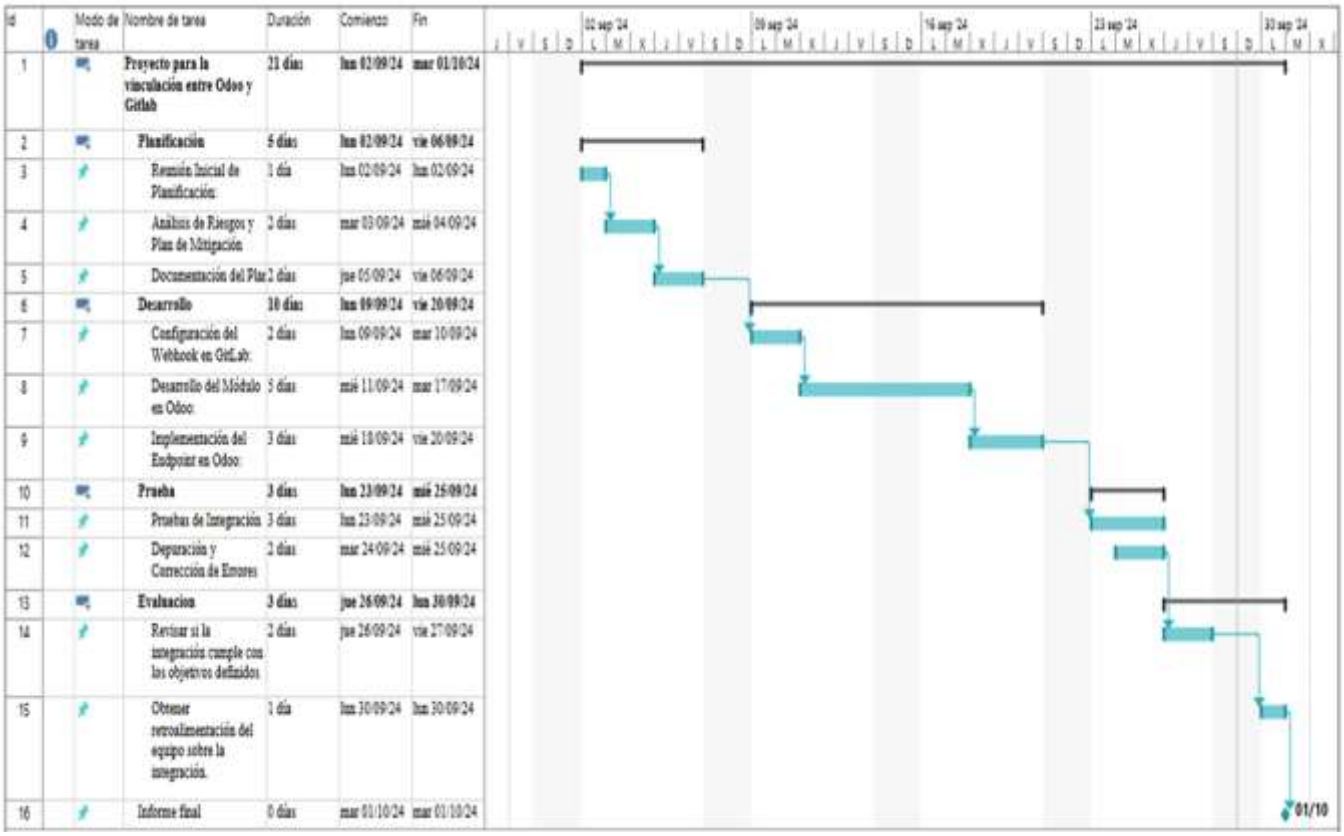



Figura 8: Diagrama de Gantt del plan de implementación de la vinculación entre Odoo y Gitlab. Fuente: Elaboración propia.

## 4. CONCLUSIONES

1. El estudio identificó una serie de deficiencias en los procesos de desarrollo de software en DESOFT, principalmente relacionadas con la dispersión y falta de estandarización de la documentación y la falta de integración entre herramientas tecnológicas clave como Odoo, GitLab y Redmine. Estos problemas impactan negativamente en la eficiencia operativa, generando retrasos en la toma de decisiones, errores en la gestión de proyectos y una pérdida considerable de conocimiento organizacional.

2. Se propuso la estandarización y centralización de la documentación a través de las funcionalidades del sistema Odoo y su integración con GitLab y Redmine, lo que permitiría la sincronización automática de tareas, la gestión unificada de proyectos y la consolidación de la documentación. Estas soluciones no solo mejoran la visibilidad y control de las actividades diarias, sino que también aseguran la trazabilidad y estandarización de procesos, mitigando los riesgos asociados a la dispersión de información.

3. La integración de las herramientas propuestas tendrá un impacto positivo en la eficiencia y productividad de DESOFT, reduciendo los tiempos de búsqueda de información, minimizando los errores humanos y mejorando la toma de decisiones en tiempo real. La centralización de la gestión documental y de proyectos facilitará la colaboración entre equipos y la continuidad operativa, posicionando a DESOFT como una empresa más competitiva en el desarrollo de software dentro del entorno actual.

REFERENCIAS

[1] C. Mateos Martín, "Generación automática de Diagramas de Gantt," 2021.
[2] K. G. Genovez Ramirez, "MS Project como alternativa para la gestión de proyectos de redes de distribución eléctrica," 2023.
[3] R. L. M. Manzano, N. V. V. Ochoa, P. E. D. P. Franco, y S. M. L. Romero, "Análisis del feminismo radical en la sociedad según el Método General de Solución de Problemas y Diagrama de Ishikawa," *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores,* 2021.
[4] S. Buckl et al., "Enterprise architecture management patterns—exemplifying the approach," en *Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems*, 2014.
[5] M. Á. Alegre Brítez, "Aspectos relevantes en las técnicas e instrumentos de recolección de datos en la investigación cualitativa. Una reflexión conceptual," *Población y desarrollo*, vol. 28, no. 54, pp. 93-100, 2022.
[6] T. Peña Vera, "Etapas del análisis de la información documental," *Revista Interamericana de Bibliotecología*, vol. 45, no. 3, 2022.
[7] F. Matthes, C. Neubert, y A. Steinhoff, *EAM Pattern Catalog V1.0*, Technische Universität München, 2013. [En línea]. Disponible en: https://wwwmatthes.in.tum.de/file/11v2c1tl6ism3/Sebis-PublicWebsite/Publications/EAMPatternCatalogV1.0.pdf
[8] Dongee, "Ventajas y desventajas de Eclipse Java," 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dongee.com/tutoriales/ventajas-y-desventajas-de-eclipse-java/

[9] Reddit, "Laravel ERP that can be added to the new or existing Laravel project," 25 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.reddit.com/r/laravel/comments/13rfs78/laravel_erp_that_can_be_added_to_the_new_or/

[10] M. H. Z. Calero, "Estandarización de la documentación del Laboratorio de control de proceso-Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la empresa Centroaguas SA ESP," Universidad Nacional Abierta, 2021.
[11] GitLab, "Source code management," [En línea]. Disponible en: https://about.gitlab.com/es/solutions/source-code-management/
[12] E. A. Lemus Morales, "Adopción de un entorno DevOps utilizando GitLab-CI, Kubernetes y servicios de AWS para una aplicación web con Angular y NodeJS," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2022.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CONSULTORÍA 4.0 DE PROCESO Y SISTEMAS ERP

**Yanelis Pavón González[1], Marta Beatriz Infante Abreu[2]**

[1] Osonu. [1,2] Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba.

[1] nelis.pavon@gmail.com, [2] miabreu@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La Consultoría 4.0 de procesos y ERP explora el uso intensivo de inteligencia artificial para optimizar implementaciones de ERP en un contexto de transformación digital. Esta ponencia presenta un estudio de caso basado en la consultoría y despliegue de Odoo en Deshidratados Habana, destacando cómo la IA potencia la eficiencia en el análisis y personalización de procesos. La implementación mostró mejoras significativas en la gestión, planificación y escalabilidad, facilitando una transformación digital más ágil y adaptada.

**Palabras clave**: Consultoría 4.0, inteligencia artificial, ERP, eficiencia, transformación digital, Odoo.

# CONSULTING 4.0 OF PROCESS AND ERP SYSTEMS

**ABSTRACT**

Consulting 4.0 of process and ERP systems investigates the intensive use of artificial intelligence to optimize ERP deployments within a digital transformation context. This presentation outlines a case study focusing on the consulting and implementation of Odoo at Deshidratados Habana, highlighting how AI enhances efficiency in process analysis and customization. The deployment achieved significant improvements in management, planning, and scalability, leading to a more agile and adaptable digital transformation.

**Keywords**: consulting 4.0, artificial intelligence, ERP, efficiency, digital transformation, Odoo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se basó en una consultoría de procesos utilizando inteligencia artificial (IA) para implementar Odoo ERP en Deshidratados Habana. Se emplearon herramientas de análisis de datos y personalización de procesos para maximizar la eficiencia y asegurar una integración fluida del ERP con las necesidades específicas del cliente. La IA facilitó la adaptación y ajuste en tiempo real durante la consultoría y el despliegue.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del ERP Odoo mediante IAs como: turboscribe, chatgpt, geminis, y otras resultó en una mejora significativa de la eficiencia operativa y el control de inventarios, así como en una mayor precisión en la gestión financiera. Este despliegue mostró la capacidad de la IA para optimizar procesos en tiempo real, impulsando una adaptación organizacional rápida.

## CONCLUSIONES

1. La IA potencia la consultoría de procesos, permitiendo personalizaciones específicas y eficaces.
2. Odoo ERP mejoró la operatividad y planificación de recursos, apoyando la transformación digital.
3. La integración con IA fortalece la escalabilidad del ERP y facilita el rediseño de procesos de manera más eficiente.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN OBSERVATORIO UTILIZANDO FUNCIONALIDADES DEL ERP ODOO PARA LA CREACIÓN DE CAPACIDADES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

**Marta Beatriz Infante Abreu[1], Adrián Villalobos Carbonero[2], Jeffrey Blanco González[3], Hansel Lázaro Valdés Pérez[4], Marta Rosa Abreu Bosch[5]**

[1,2,3,4,5] Universidad Tecnológica De La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Facultad de Ingeniería Industrial, calle 114 No 11901 Entre 119 Y 127 Marianao. La Habana, Cuba. [4]Empresa de Telecomunicaciones de Cuba ETECSA. [5]Escuela Superior de Cuadros del Estado y el Gobierno.

[1] miabreu@ind.cujae.edu.cu, [2] avillalobosca@gmail.com, [3] jblanco@ind.cujae.edu.cu ,
[4] hansellvaldesperez@gmail.com, [5] martana@esceg.cu

## RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño de un observatorio tecnológico soportado en las funcionalidades del ERP Odoo, orientado a la creación de capacidades en sistemas de producción. A partir de un análisis de los componentes y servicios de observatorios tecnológicos tradicionales, se identifican módulos de Odoo que permiten implementar procesos como la recolección de datos, análisis de información, vigilancia tecnológica y toma de decisiones estratégicas. La investigación incluye la selección de módulos clave del ERP, tales como Gestión de Proyectos, Inteligencia de Negocios, Gestión Documental y CRM, los cuales se adaptan para satisfacer necesidades de vigilancia y análisis en sistemas de producción. Con esta integración, se contribuye a optimizar la toma de decisiones y a promover la eficiencia en el contexto de la Industria 4.0, generando un marco práctico y escalable para organizaciones intensivas en información

**Palabras clave:** Observatorio tecnológico, ERP Odoo, sistemas de producción, capacidades de producción, gestión de información, Industria 4.0

# IMPLEMENTATION OF A TECHNOLOGICAL OBSERVATORY USING ERP ODOO FOR CAPACITY BUILDING IN PRODUCTION SYSTEMS

## ABSTRACT

This paper presents the design of a technological observatory supported by ERP Odoo functionalities, aimed at capacity building in production systems. Based on an analysis of the components and services of traditional technological observatories, Odoo modules are identified that enable the implementation of processes such as data collection, information analysis, technology surveillance, and strategic decision-making. The research includes the selection of key ERP modules such as Project Management, Business Intelligence, Document Management, and CRM, adapted to meet surveillance and analysis needs in production systems. Through this integration, the study seeks to optimize decision-making and promote efficiency within the Industry 4.0 framework, creating a practical and scalable model for information-intensive organizations

**Keywords:** Technological observatory, ERP Odoo, production systems, production capacities, information management, Industry 4.0

## 1. INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados del proyecto de investigación "Los sistemas de producción como objeto de formación general de los profesionales". Se aprecia la necesidad de crear un observatorio tecnológico que

contribuya a divulgar las tareas de investigación ejecutadas dentro del proyecto y la posibilidad de tomar decisiones relacionados con la temática.

La dirección del país ha emitido la Estrategia Económico-Social para el impulso de la economía y el enfrentamiento a la crisis mundial provocada por la COVID-19. Alguna de estas estrategias son: mantener la planificación centralizada; defender la producción nacional y desterrar la mentalidad importadora; regulación del mercado, principalmente por métodos indirectos; complementariedad de los actores económicos; papel dinamizador de la demanda interna para la economía; dotar de mayor autonomía de gestión al sector empresarial; implementar aspectos claves, fundamentalmente en relación con las formas de gestión y propiedad, el redimensionamiento del sector empresarial, el sector no estatal y la adecuada relación que tiene que haber entre ambos; incentivar la competitividad, garantizando la utilización eficiente de los recursos materiales y financieros, el ahorro, el incremento de la eficiencia y la motivación por el trabajo; política ambiental activa en armonía con el ordenamiento social.

La implementación de esta estrategia requiere que todos los actores económicos se desempeñen integral y competitivamente por sus resultados finales hacia la economía nacional y no por soluciones avanzadas desde una especialidad.

Las características de todos los actores económicos se resumen en el concepto de Sistema de Producción (bienes y servicios) donde todos los profesionales (y no por la acción individual) que actúan en el mismo contribuyan al logro de sus resultados finales (competitividad, eficiencia material y financiera, ahorro, exportación, sustitución de importaciones, satisfacción de la demanda interna) en armonía con el ambiente y el ordenamiento social. El campo de actuación de todos los profesionales (en menor medida los de la medicina) es el Sistema de Producción (o Servicio). Actualmente en la formación de profesionales no queda preciso el objeto amplio de su actuación, sino que se concreta estrictamente en la super-especialización.

En el proyecto se proponen un total de cinco resultados fundamentales que requieren para su instrumentación la formación de colectivos para orientar la elaboración de materiales metodológicos y preparar a los profesores, así como que las comisiones de carrera definan los cambios específicos a realizar.

El problema de investigación a solucionar es: ¿Qué diseño debe tener un observatorio tecnológico que permita divulgar los resultados del proyecto de investigación y a la toma de decisiones tanto internas como externas a la organización en la que fue creada relacionadas con los sistemas de producción?

Para resolver esta problemáticas se utilizan los métodos científicos, también la inteligencia artificial generativa de ChatGPT. En la sección de materiales y métodos se describen los aspectos fundamentales en el orden metodológico que se tuvieron en cuenta para la obtención de este resultado científico.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizan las siguientes preguntas a Chat GPT 3.5 May3-2023.

1. ¿Qué es un observatorio tecnológico según los principales académicos que investigan el tema?
2. Ejemplos de observatorios tecnológicos en los 5 continentes relacionados con las temáticas de los sistemas de producción
3. Procesos de trabajo que se deben ejecutar detrás de un observatorio
4. Pasos para la creación de un observatorio tecnológico
5. Si quiere desarrollar un observatorio tecnológico temático sobre los sistemas de producción ¿qué aspectos tendría en cuenta? ¿Qué actividades fundamentales llevar a cabo?

6. ¿Qué son los sistemas de producción? ¿Qué decisiones se pueden tomar sobre ellos a través de un observatorio tecnológico?
7. ¿Pudiera ofrecer enlaces a observatorios europeos y de América del norte relacionados con los sistemas de producción?
8. ¿Pudiera decir los tipos de productos o servicios fundamentales que ofrecen cada uno de los enlaces a observatorios antes mencionados?
9. ¿Cuáles son las funcionalidades del sistema ERP Odoo que pueden soportar servicios del observatorio? Esta pregunta es validada a partir del prototipado del observatorio en ERP Odoo.

Cada una de los resultados propuestos por la herramienta de Inteligencia Artificial es validada con literatura científica, siguiendo el método siguiente:

- En cada una de las respuestas, se validaron los resultados, basados en la experiencia de la autora en la participación en la conformación de más de 10 observatorios (1-9) en el ámbito nacional e internacional.
- Cada ejemplo, fue validado, asistidos por la documentación científica revisada a través de Google Académico y los propios sitios de los observatorios mencionados, adicionando los enlaces correspondientes y eliminando los elementos aportados de los que no se encuentran evidencias.
- Fuente y calidad de los datos de entrenamiento: La base del modelo ChatGPT es el conjunto de datos utilizado para su entrenamiento. Es importante que estos datos sean de alta calidad, provenientes de fuentes confiables y verificadas científicamente. Además, se debe tener en cuenta si los datos abarcan un amplio espectro de dominios científicos relevantes.
- Revisión por pares: La revisión por pares es un proceso fundamental en la ciencia. Las respuestas generadas por ChatGPT podrían ser sometidas a revisión por expertos en el campo correspondiente. Esto implica enviar las respuestas para su evaluación y validación por parte de investigadores o profesionales cualificados que puedan confirmar su precisión científica.
- Comparación con fuentes de referencia: Es importante comparar las respuestas generadas por ChatGPT con fuentes científicas de confianza, como artículos científicos revisados por pares, libros de texto académicos u otras fuentes reconocidas. Si las respuestas coinciden con información bien establecida y respaldada por evidencia científica, aumenta la validez científica.
- Evaluación de la coherencia y cohesión: Las respuestas generadas por ChatGPT deben ser coherentes y cohesivas desde el punto de vista científico. Se pueden realizar verificaciones internas para asegurarse de que la respuesta no contradiga principios científicos conocidos y de que los argumentos presentados sean lógicamente válidos.
- Comprobación de fuentes citadas: Si ChatGPT proporciona citas o referencias, se debe verificar la validez y relevancia de esas fuentes. Asegurarse de que las citas sean precisas y estén respaldadas por investigaciones o estudios científicos confiables.
- Limitaciones y contexto: Es importante tener en cuenta las limitaciones del modelo ChatGPT. Reconocer que aunque el modelo puede proporcionar información útil y precisa en muchos casos, también puede cometer errores y no debe considerarse como una fuente única de autoridad científica. Además, proporcionar contexto adicional sobre la naturaleza del modelo y sus limitaciones puede ayudar a los usuarios a interpretar correctamente las respuestas.
- Al realizar estas validaciones y considerar estos aspectos, se puede aumentar la confiabilidad científica de las respuestas generadas por ChatGPT. Sin embargo, es fundamental recordar que el modelo sigue siendo una herramienta y no reemplaza el conocimiento y la experiencia de los expertos humanos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ¿Qué es un observatorio tecnológico según los principales académicos que investigan el tema?

De acuerdo con los principales académicos en el campo, un observatorio tecnológico se define como una entidad dedicada al monitoreo, análisis y difusión de avances tecnológicos en diversos campos. Aunque no existe una única definición, el consenso general resalta cinco funciones clave:

- Recopilación de información: Los observatorios tecnológicos obtienen datos de diversas fuentes sobre innovaciones, patentes, políticas y tendencias emergentes.
- Análisis y evaluación: Se identifican patrones y tendencias, evaluando su impacto técnico, económico, social y ambiental.
- Difusión de conocimiento: A través de informes, boletines y eventos, estos observatorios comparten sus hallazgos con distintos sectores, desde el ámbito académico hasta el público general.
- Asesoramiento para la toma de decisiones: Ofrecen recomendaciones estratégicas para apoyar la adopción y regulación de tecnologías.
- Vigilancia tecnológica: Monitorean constantemente para anticiparse a cambios tecnológicos emergentes.

La variabilidad en su alcance permite a los observatorios especializarse en áreas como la inteligencia artificial o la biotecnología, o bien, abarcar múltiples sectores tecnológicos. Esta estructura flexible contribuye a su papel como herramienta esencial en la planificación estratégica y la innovación en sectores clave.

2. Ejemplos de observatorios tecnológicos en los 5 continentes relacionados con las temáticas de los sistemas de producción

La existencia de observatorios tecnológicos en los cinco continentes destaca su relevancia en el análisis y apoyo a la toma de decisiones sobre sistemas de producción. Cada observatorio enfoca sus esfuerzos en áreas específicas de la industria y tecnología, adaptándose a las necesidades regionales:

1. **América del Norte**: El Observatorio Tecnológico del CCDG en México analiza tecnologías de producción, manufactura avanzada y competitividad industrial, brindando recomendaciones estratégicas y asesoramiento en políticas industriales.
2. **América del Sur**: El Observatorio Industrial en Uruguay examina la evolución de su industria, sistemas de producción y competitividad, apoyando en la toma de decisiones relacionadas con inversiones tecnológicas y mejoras de procesos.
3. **Europa**: La Comisión Europea, mediante el Observatorio de la Industria 4.0, da seguimiento a la transformación digital en la industria, enfocándose en automatización, inteligencia artificial y el Internet de las cosas, proporcionando asesoría en tecnologías de Industria 4.0.
4. **África**: El Observatorio Industrial en Egipto estudia sistemas de producción y políticas industriales egipcias, sirviendo como base para formular políticas y decisiones de inversión en tecnología.
5. **Asia**: En Japón, el Observatorio Industrial analiza la manufactura y competitividad de su industria, aportando asesoría estratégica para mejorar la competitividad y orientar inversiones.

Cada observatorio contribuye significativamente a la modernización de los sistemas de producción en su región, promoviendo el avance tecnológico y apoyando a sectores estratégicos a través de la difusión de conocimiento, asesoramiento especializado y recomendaciones para la adopción de innovaciones.

3. Procesos de trabajo que se deben ejecutar detrás de un observatorio

El funcionamiento de un observatorio tecnológico implica una serie de procesos clave, incluyendo la recopilación sistemática de información sobre avances y tendencias tecnológicas mediante fuentes diversas y colaboraciones estratégicas. La información recopilada se somete a análisis detallados, identificando patrones y evaluando riesgos y oportunidades. Los hallazgos se comunican a través de informes, publicaciones y eventos para informar a actores clave, como empresas y gobiernos. Además, el observatorio brinda asesoramiento en la toma de decisiones estratégicas sobre tecnologías emergentes y mantiene una vigilancia continua para adaptarse a nuevos desarrollos. Finalmente, la colaboración con entidades académicas e industriales fortalece el intercambio de conocimientos y recursos, optimizando la efectividad del observatorio y ampliando su alcance en áreas tecnológicas y de producción.

4. Pasos para la creación de un observatorio tecnológico

La creación de un observatorio tecnológico requiere una serie de etapas clave, comenzando con la definición clara de objetivos y el enfoque temático, seguido de la identificación de stakeholders que puedan aportar o beneficiarse del observatorio. Se debe asegurar el financiamiento y los recursos necesarios, diseñar una estructura organizativa eficiente y definir metodologías adecuadas para la recopilación y análisis de información. También es esencial establecer la infraestructura tecnológica adecuada y proceder con la implementación, que incluye la capacitación del personal y el inicio de actividades. Finalmente, el observatorio debe incluir mecanismos de monitoreo y mejora continua para evaluar su efectividad y optimizar sus procesos.

5. Si quiere desarrollar un observatorio tecnológico temático sobre los sistemas de producción ¿qué aspectos tendría en cuenta? ¿Qué actividades fundamentales llevar a cabo?

Al desarrollar un observatorio tecnológico temático sobre sistemas de producción, es crucial definir su alcance temático en áreas como automatización y logística, lo cual guía todas sus actividades. Es fundamental identificar y mantener actualizadas diversas fuentes de información como revistas y bases de datos especializadas. La vigilancia tecnológica se realiza mediante un monitoreo constante de avances en el campo, complementado con análisis detallados de riesgos, oportunidades y brechas tecnológicas. La difusión de hallazgos se lleva a cabo mediante informes y eventos, mientras que se ofrece asesoramiento técnico en temas de producción a diversos actores. La colaboración con otras instituciones y redes fortalece el observatorio, y se implementan evaluaciones periódicas para medir su impacto en el avance tecnológico y en decisiones estratégicas relacionadas con los sistemas de producción.

6. ¿Qué son los sistemas de producción? ¿Qué decisiones se pueden tomar sobre ellos a través de un observatorio tecnológico?

Los sistemas de producción, que abarcan los procesos y recursos necesarios para transformar insumos en productos o servicios, pueden beneficiarse significativamente de un observatorio tecnológico en la toma de decisiones estratégicas. Dicho observatorio ofrece información actualizada que apoya la adopción de tecnologías emergentes, optimizando procesos y mejorando la eficiencia y calidad mediante recomendaciones basadas en mejores prácticas y metodologías como Lean Manufacturing y Seis Sigma. Además, el observatorio facilita la gestión de la cadena de suministro al informar sobre herramientas y

tecnologías de logística, rastreo y control de inventarios, mientras que impulsa la innovación en productos y procesos, al seguir las tendencias de mercado y fomentar la colaboración. Finalmente, un observatorio tecnológico permite la evaluación de riesgos y oportunidades, lo cual es clave para decisiones sobre inversiones tecnológicas, mejoras en procesos productivos y medidas de seguridad industrial.

7. ¿Pudiera ofrecer enlaces a observatorios europeos y de América del norte relacionados con los sistemas de producción?

Algunos observatorios europeos y norteamericanos ofrecen información y recursos clave para optimizar sistemas de producción. En Europa, el *European Observatory for Clusters and Industrial Change (EOCIC)* y el *European Manufacturing Survey (EMS)* brindan análisis de clusters industriales y estudios sobre manufactura; el *European Innovation Scoreboard (EIS)* evalúa la innovación y competitividad; y el *Cedefop* apoya en formación profesional. En América del Norte, la *National Association of Manufacturers (NAM)* informa sobre tendencias de manufactura en EE. UU., el *Manufacturing Leadership Council (MLC)* organiza eventos sobre innovación en producción, el *National Center for Manufacturing Sciences (NCMS)* impulsa la colaboración en manufactura avanzada, y el *NIST Manufacturing Extension Partnership (MEP)* provee asistencia técnica para optimizar la productividad en empresas manufactureras estadounidenses.

8. ¿Pudiera decir los tipos de productos o servicios fundamentales que ofrecen cada uno de los enlaces a observatorios antes mencionados?

**1.** European Observatory for Clusters and Industrial Change (EOCIC)

- **Procesos**:
  - **Recopilación de datos**: Utiliza informes, bases de datos y expertos para obtener información sobre clusters industriales en Europa.
  - **Análisis y generación de conocimiento**: Identifica tendencias y desafíos en clusters industriales.
  - **Comunicación y difusión**: Comparte resultados mediante publicaciones, eventos y plataformas en línea.

**2.** European Manufacturing Survey (EMS)

- **Procesos**:
  - **Diseño y administración de encuestas**: Realiza encuestas a empresas para entender aspectos de la manufactura europea.
  - **Análisis de datos**: Evalúa temas de producción, innovación y competitividad.
  - **Informes y difusión de resultados**: Publica informes que incluyen análisis y recomendaciones.

**3.** National Association of Manufacturers (NAM)

- **Procesos**:
  - **Monitoreo de políticas y regulaciones**: Evalúa políticas y leyes en EE. UU. relevantes para la manufactura.
  - **Investigación y análisis**: Examina temas como comercio, innovación y productividad.
  - **Comunicación y defensa**: Informa a miembros y al público a través de eventos y publicaciones.

**4.** Manufacturing Leadership Council (MLC)

- **Procesos**:
  - **Generación de conocimiento y mejores prácticas**: Investiga temas como transformación digital y liderazgo en manufactura.
  - **Eventos y conferencias**: Ofrece plataformas para compartir conocimientos en la industria.
  - **Publicaciones y recursos**: Genera informes y herramientas de evaluación.
  - **Comunidad de aprendizaje**: Fomenta colaboración entre profesionales.
  - **Asesoramiento y consultoría**: Brinda orientación personalizada a miembros y empresas asociadas.

**5.** National Institute of Standards and Technology (NIST) Manufacturing Extension Partnership (MEP)

- **Procesos**:
  - **Red de Centros MEP**: Cada centro ofrece asesoría a empresas manufactureras.
  - **Evaluación y diagnóstico**: Analiza las capacidades y necesidades de las empresas.
  - **Apoyo técnico**: Ayuda en eficiencia, tecnologías avanzadas y calidad.
  - **Soluciones personalizadas**: Desarrolla planes y estrategias.
  - **Transferencia de conocimientos**: Capacita al personal en manufactura.
  - **Acceso a recursos**: Proporciona herramientas y tecnologías avanzadas.

**6.** European Centre for the Development of Vocational Training (Cedefop)

- **Procesos**:
  - **Investigación y análisis**: Examina formación profesional en Europa.
  - **Recopilación de datos**: Realiza encuestas y analiza datos.
  - **Desarrollo de informes y publicaciones**: Ofrece guías y documentos de referencia.
  - **Desarrollo de herramientas**: Proporciona guías prácticas y plataformas en línea.
  - **Asesoramiento técnico**: Asiste en diseño de políticas de formación.
  - **Cooperación**: Promueve colaboración en formación profesional.
  - **Diseminación de información**: Comparte informes en eventos y medios digitales.

**7.** European Innovation Scoreboard (EIS)

- **Procesos**:
  - **Recopilación y análisis de datos**: Utiliza indicadores de innovación en Europa.
  - **Metodología de evaluación**: Desarrolla un marco para comparar la innovación entre países.
  - **Elaboración de informes**: Analiza fortalezas y áreas de mejora.
  - **Benchmarking**: Comparación entre países para identificar mejores prácticas.
  - **Comunicación de resultados**: Publica y difunde hallazgos en conferencias y eventos.
  - **Retroalimentación**: Ajusta metodologías con base en comentarios de países y expertos.

En conjunto, estas instituciones utilizan metodologías estructuradas de análisis, recopilación de datos y difusión para cumplir sus objetivos, proporcionando apoyo, asesoramiento y recursos a actores relevantes en sus respectivos sectores.

9. ¿Cuáles son las funcionalidades del sistema ERP Odoo que pueden soportar servicios del observatorio? Esta pregunta es validada a partir del prototipado del observatorio en ERP Odoo. (Ver tabla 1.)

Tabla 1. Funcionalidades del sistema ERP Odoo que pueden soportar servicios del observatorio.

| Funcionalidad de Odoo | Servicio Soportado en el Observatorio de Sistemas de Producción | Descripción |
|---|---|---|
| **Gestión de Proyectos** | Proyectos y Buenas Prácticas | Facilita la planificación, seguimiento y colaboración en proyectos de buenas prácticas tanto nacionales como internacionales. |
| **Documentación** | Publicaciones, Audiovisuales, Materiales Didácticos | Permite gestionar y almacenar publicaciones, materiales didácticos, y recursos audiovisuales en un repositorio accesible y organizado. |
| **Gestión de Eventos** | Eventos y Convocatorias | Apoya la organización de eventos, facilita la inscripción de participantes, y permite hacer seguimiento a convocatorias científicas. |
| **CRM (Gestión de Clientes)** | Redes y Comunidades de Práctica | Permite la gestión de contactos y relaciones con integrantes de redes y comunidades de práctica nacionales e internacionales. |
| **Base de Datos de Conocimientos** | Ciencia en los Sistemas de Producción | Organiza y facilita el acceso a investigaciones, artículos científicos y datos de interés en los sistemas de producción. |
| **Sitio Web** | Blog, ¿Quiénes somos?, Página Principal | Facilita la presentación y actualización de contenidos estáticos, publicaciones de blog y la información institucional del observatorio. |
| **Gestión de Recursos Humanos** | ¿Quiénes somos? | Permite gestionar información sobre los miembros del equipo del observatorio, sus roles y competencias. |
| **Gestión de Inventario** | Recursos | Administra materiales físicos y digitales disponibles para el equipo, como herramientas didácticas, documentación y equipo audiovisual. |
| **Cumplimiento y Documentos Legales** | Políticas y Decretos, Acuerdos y Tratados | Permite almacenar, clasificar y dar acceso a documentos legales y políticas relevantes a nivel nacional e internacional. |
| **Integración con Redes Sociales** | Redes y Comunidades de Práctica | Conecta y comunica a las comunidades de práctica en plataformas externas, promoviendo el intercambio y la visibilidad de las actividades. |
| **Gestión de Usuarios y Permisos** | Acceso a otros observatorios internacionales | Facilita el control de acceso de usuarios y la asignación de permisos para el acceso a observatorios y recursos especializados. |
| **Portal de Clientes** | Acceso a otros observatorios internacionales | Permite a usuarios externos acceder a recursos específicos y consultar información de otros observatorios internacionales. |

## 4. CONCLUSIONES

1. El artículo presenta una reflexión profunda sobre la importancia de un observatorio tecnológico en el contexto de la formación profesional y la mejora de los sistemas de producción. A partir de la investigación “Los sistemas de producción como objeto de formación general de los profesionales”, se destaca la necesidad de fomentar la divulgación de los resultados de investigación y de facilitar la toma de decisiones informadas en las organizaciones.

2. La alineación de este proyecto con la Estrategia Económico-Social del país resalta su relevancia en un escenario marcado por la crisis global provocada por la COVID-19. Las estrategias mencionadas, como la defensa de la producción nacional y la complementariedad de los actores económicos, subrayan la urgencia de un enfoque integral que contemple la colaboración entre todos los actores del sistema productivo, priorizando la competitividad y la sostenibilidad.

3. El artículo también aborda la tendencia hacia la superespecialización en la formación profesional, indicando que es esencial ampliar la visión de los profesionales sobre su rol dentro del sistema de producción. En este sentido, la creación del observatorio tecnológico se plantea como una solución

viable para promover la interconexión y la colaboración entre diferentes especialidades, favoreciendo un enfoque más holístico y menos fragmentado.

4. Los métodos utilizados, incluyendo la inteligencia artificial, ofrecen un marco innovador para la obtención de resultados científicos validados, lo que incrementa la credibilidad y la aplicabilidad de los hallazgos. Este enfoque multidimensional no solo garantiza la calidad de la información, sino que también abre la puerta a nuevas formas de colaboración y aprendizaje en el ámbito de la investigación.

5. Se argumenta que el diseño de un observatorio tecnológico es crucial para mejorar la formación de profesionales en los sistemas de producción, facilitando la difusión de conocimientos y la toma de decisiones estratégicas que respondan a las necesidades del contexto económico actual. Esta propuesta no solo se alinea con las necesidades formativas y estratégicas del país, sino que también representa un avance significativo hacia la modernización y optimización de los sistemas de producción en el marco de un desarrollo sostenible y competitivo.

## 5. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. de la Cruz Santos ID, Infante Abreu MB. Estrategia para perfeccionar la gestión de ciencia, tecnología e innovación en el sector agrario cubano: principales resultados. Revista Universidad y Sociedad. 2022;14(3):696-713.
2. Pavón González Y, Ortega González YC, Infante Abreu MB, Delgado Fernández M. Método para proyectar el conocimiento de tecnologías de la información pertinente a la Ingeniería Industrial. Revista Universidad y Sociedad. 2021;13(6):10-21.
3. Reyes YRS, Fernández MD, Abreu MBI. Observatorios: clasificación y concepción en el contexto iberoamericano. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED). 2019;30(2).
4. Moyares Norchales Y, Infante Abreu MB, Rodríguez Cruz Y. Diseño de un Sistema de Vigilancia Tecnológica con la integración de tecnologías de la Web 2.0 en un observatorio tecnológico para un centro de desarrollo de software. Revista cubana de información en ciencias de la salud. 2018;29(1):5-24.
5. Norchales YM, Abreu MBI. Caracterización de los observatorios como plataformas para la gestión de la vigilancia tecnológica en el sector de la Educación Superior. Enl@ ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento. 2016;13(1):11-27.
6. Fernández MD, Abreu MBI, Pérez OI, Lee YA, Delgado BMG. Vigilancia tecnológica como factor clave para el éxito en la I+ D+ i: aplicación en el ámbito universitario. I Taller de Proyección y Prospección Tecnológica en TIC.: Habana; 2011.
7. Delgado-Fernández M, Infante-Abreu M, Abreu-Lee Y, Infante-Pérez O, Díaz-Batista A, Martínez-Moreno J. Vigilancia tecnológica en una Universidad de Ciencias Técnicas. Ingeniería Industrial. 2011;32(1):69-75.
8. Delgado M, Infante M, Abreu Y, García B, Infante O, Díaz A, et al., editors. Vigilancia tecnológica en universidades y centros de investigación. La Habana: VI Simposio de Ingeniería Industrial y Afines Convención Internacional de Ingeniería y Arquitectura Palacio de las Convenciones; 2010.
9. Delgado M, Infante M, Abreu Y, García B, Infante O, Díaz A. Metodología de vigilancia tecnológica en universidades y centros de investigación. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 2010;41:1-13.
10. Fraunhofer I, de Inovação SSP. European observatory for clusters and industrial change. 2019.
11. Rilla N, Lima-Toivanen M, Zenker A. European Observatory for Clusters and Industrial Change: Policy Briefing-North-Middle Sweden. 2019.
12. Wintjes R, Zenker A. European observatory for clusters and industrial change: Policy briefing: Slovenia. 2019.
13. Olko S, editor. Regional Observatory of technology-theoretical framings and practical implementation: Case study. European Conference on Knowledge Management; 2020: Academic Conferences International Limited.

14. Soares LC, Ferneda E, do Prado HA. Transportation and logistics observatories: Guidelines for a conceptual model. Transportation research interdisciplinary perspectives. 2022;16:100682.
15. Ayala RD. PANORAMA Y RETOS DE LOS OBSERVATORIOS TECNOLÓGICOS EN MÉXICO.
16. Actis Acevedo VE, Falco Stambulis RX, Fischer Guetti AC. Sistema de información para la encuesta industrial del Ministerio de Industria, Energía y Minería. 2020.
17. Rezk MRA, Ibrahim HH, Radwan A, Sakr MM, Tvaronavičienė M, Piccinetti L. Innovation magnitude of manufacturing industry in Egypt with particular focus on SMEs. Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2016;3(4):307.
18. Rezk MRA, Ibrahim HH, Tvaronavičienė M, Sakr MM, Piccinetti L. Measuring innovations in Egypt: case of industry. Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2015;3(1):47.
19. Linshöft-Stiller B. European Centre for the Development of Vocational Training (CEDEFOP) annual report 1992. 1993.
20. Sanz Menéndez L, Cabello C, Antón F. Technology foresight in its science and technology policy context in Spain. 1998.
21. Toivonen M. Expertise as business: Long-term development and future prospects of knowledge-intensive business services (KIBS). 2004.
22. Lindsay JH. The National Center for Manufacturing Sciences Cross-Section Leveraging from Maximum Technology Output. Plating and surface finishing. 2006;93(1):8.
23. Hollanders H, van Cruysen A. Rethinking the European innovation scoreboard: A new methodology for 2008-2010. Inno-Metrics Publication Brüssel. 2008.
24. Schibany A, Streicher G. The European innovation scoreboard: Drowning by numbers? Science and Public Policy. 2008;35(10):717-32.
25. Vaona A, Pianta M. Firm size and innovation in European manufacturing. Small business economics. 2008;30:283-99.
26. Hollanders H. Measuring innovation: The European innovation scoreboard. Measuring creativity European Commission Joint Research Centre Luxembourg. 2009:27-40.
27. Chiarini A. Relationships between total quality management and Six Sigma inside European manufacturing companies: a dedicated survey. International Journal of Productivity and Quality Management. 2013;11(2):179-94.
28. Rossini M, Costa F, Tortorella GL, Portioli-Staudacher A. The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019;102:3963-76.
29. Alefari M, Almanei M, Salonitis K. Lean manufacturing, leadership and employees: the case of UAE SME manufacturing companies. Production & Manufacturing Research. 2020;8(1):222-43.
30. Bertheau P. Assessing the impact of renewable energy on local development and the Sustainable Development Goals: Insights from a small Philippine island. Technological Forecasting and Social Change. 2020;153:119919.
31. Bosman L, Hartman N, Sutherland J. How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies. Journal of Manufacturing Technology Management. 2020;31(5):1117-41.
32. Greenberg CS, Mason LP, Sadjadi SO, Reynolds DA. Two decades of speaker recognition evaluation at the national institute of standards and technology. Computer Speech & Language. 2020;60:101032.
33. Jones D, Snider C, Nassehi A, Yon J, Hicks B. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2020;29:36-52.
34. Jyotishi SR. Engineering Work-and-learn: Imperatives for Innovation. 2020.
35. Onea IA. Innovation indicators and the innovation process-evidence from the European innovation scoreboard. Management & Marketing Challenges for the Knowledge Society. 2020;15(4):605-20.
36. Pantano E, Pizzi G. Forecasting artificial intelligence on online customer assistance: Evidence from chatbot patents analysis. Journal of Retailing and Consumer Services. 2020;55:102096.
37. Bautista-Puig N, Moreno Lorente L, Sanz-Casado E. Proposed methodology for measuring the effectiveness of policies designed to further research. Research Evaluation. 2021;30(2):215-29.

38. Pessot E, Zangiacomi A, Battistella C, Rocchi V, Sala A, Sacco M. What matters in implementing the factory of the future: Insights from a survey in European manufacturing regions. Journal of Manufacturing Technology Management. 2021;32(3):795-819.
39. Siebel J, Nerguisian N. The European Centre for the Development of Vocational Training (Cedefop). 2021.
40. NEW MDR. Manufacturers News. The Hearing Journal. 2022.
41. Ferreira IA, Oliveira J, Antonissen J, Carvalho H. Assessing the impact of fusion-based additive manufacturing technologies on green supply chain management performance. Journal of Manufacturing Technology Management. 2023;34(1):187-211.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS Y MEJORA DE LOS INDICADORES EN LA EMPRESA AGROPECUARIA MILITAR DEL OESTE DE LA HABANA.

**Lester González Morejón [1], Aleida González González[2]**

**Empresa Agropecuaria Militar del Oeste de La Habana [1]**
Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, agonza@ind.cujae.edu.cu[2]

**RESUMEN**

El control organizacional debe garantizar la evaluación de la gestión y velar que las actividades y recursos estén destinados a cumplir los objetivos de la empresa. La Empresa Agropecuaria Militar del Oeste de la Habana (EAMOH) a pesar de contar con técnicas de dirección de avanzada llevan a cabo de forma deficiente el proceso de medición y control organizacional. Ante esta disyuntiva se analizaron las metodologías a aplicar y se seleccionó el Procedimiento para la Gestión de la Medición (PGM).
Con la aplicación del procedimiento se definieron los indicadores para medir el cumplimiento de los objetivos y se desplegaron a nivel de procesos de la organización; lo que permitió mayor eficiencia en el control de gestión a través de la medición y seguimiento de los indicadores definidos, lo cual llevo a mejoras en los indicadores empresariales tales como: 63% en la participación en el mercado, 90 % el posicionamiento de los productos de la EAMOH en el mercado del turismo y la venta en MLC, el incremento de la productividad obtenido con respecto al supera el 7% y el índice de satisfacción del cliente obtenido es de 97,9%.

PALABRAS CLAVES: objetivos estratégicos, indicadores de gestión**, control de gestión**

# TOTAL QUALITY COSTS AND THE COMPANY'S ACCOUNTING SYSTEM.

**ABSTRACT**

**Currently, food production has acquired special importance given the economic crisis derived from the epidemiological situation that the world has gone through due to COVID 19. Including total quality costs in the accounting systems of companies is an essential activity for the good performance of the organization.**
**In the entity under study, there is a procedure for determining total quality costs, however, not all the costs that are needed are calculated, nor are primary records or documents used to allow adequate data collection, therefore they are not used as a management tool to evaluate the impact that these may have on total production costs.**
**In this work, an analysis of the incidence of total quality costs in the accounting system is carried out, as well as the existing procedure is improved in such a way that it guarantees the calculation, analysis and management of the same, using it as a tool for adequate decision-making.**

**KEY WORDS: Total quality costs, accounting system, food production.**

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de gestión, así como los de mejora, en la actualidad reconocen que la medición es un tema de vital importancia para controlar los procesos en una organización, independientemente de los productos o servicios que preste. Referente al tema, el reconocido físico y matemático británico Lord Kelvin plantea: "Cuando puedas medir lo que estás diciendo y expresarlo en números, sabrás algo acerca de eso; pero cuando no puedes medirlo, cuando no puedes expresarlo en números, tus conocimientos serán escasos y no satisfactorios" (Kpi.Estudios (Producer),2021; Kyocera, D. S. (Producer); 2021 ).

La medición constituye la base para garantizar que los procesos ejecutados, así como los productos y servicios resultantes, se ajusten plenamente a los requisitos del cliente, y cumplan los objetivos de negocio de la organización. Para lograr la efectividad de las mediciones realizadas a los procesos y resultados es necesario seleccionar métodos que sirvan de guía para su realización. Durante los últimos años se han creado múltiples espacios para orientar sobre el tema, diversas asociaciones y grupos han desarrollado y publicado herramientas, metodologías y modelos que brindan servicios para colaborar en la utilización de indicadores que apoyen a la dirección en la orientación de sus procesos hacia la mejora de la calidad. Se destacan la familia de Normas ISO:9000 (ISO, N. C. (2015), el Cuadro de Mando Integral (CMI) (Ballve, 2006). , el Modelo Integrado de Capacidad y Madurez para el Desarrollo (CMMI) (Rodríguez, 2019), el Método Goal Question Indicator Metric (GQIM) (Ergaxheva, 2019; IS0/IEC,2008) por solo citar algunos; que han sido adoptados internacionalmente por organizaciones de diversas ramas; dígase, la industria del software, las finanzas, los servicios, la industria manufacturera, entre otros.

Entre las actividades de la dirección de una organización se incluye la gestión de sus procesos. La dinámica de esta gestión consiste, por una parte, en determinar y desarrollar objetivos. Según una estrategia de mejora continua previamente definida, y por otra, efectuar los ajustes necesarios para alcanzar esos objetivos (UNE:66175, 2003).

Para lograr la efectividad de las mediciones realizadas a los procesos y resultados es necesario seleccionar métodos que sirvan de guía para su realización (Ross.L, 2015).

Luego de realizar un análisis se pudo observar que la EAMOH presenta un control inadecuado de la organización en general y sus procesos, no presentaba una estrategia definida para la obtención de indicadores, ni un procedimiento que garantice la validez de los datos, los que a su vez carecen de un sistema de protección, no tiene además evidencia de que se hayan realizado con anterioridad mediciones que respondan a los objetivos estratégicos definidos por la Empresa, ya que solo dos de los ocho indicadores obedecían a los objetivos estratégicos planteados.

Se puede ver por lo tanto que existe un claro problema a resolver en su Sistema de Gestión y los mecanismos en el control de este, por lo que se decide realizar un análisis del mismo a través de la medición de indicadores, ya que los sistemas de gestión, así como los de mejora, en la actualidad reconocen que la medición es un tema de vital importancia para controlar los procesos en una organización.

## MÉTODO

Se seleccionó el Procedimiento para la gestión de la medición organizacional PGM (Ross, 2018) por considerar sus ventajas y adecuación a las necesidades de la empresa, el cual se muestra en la figura 1.

iura

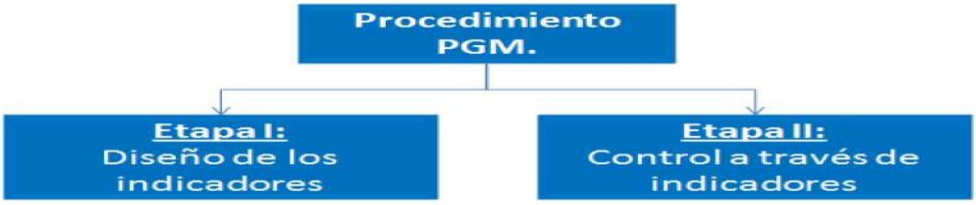


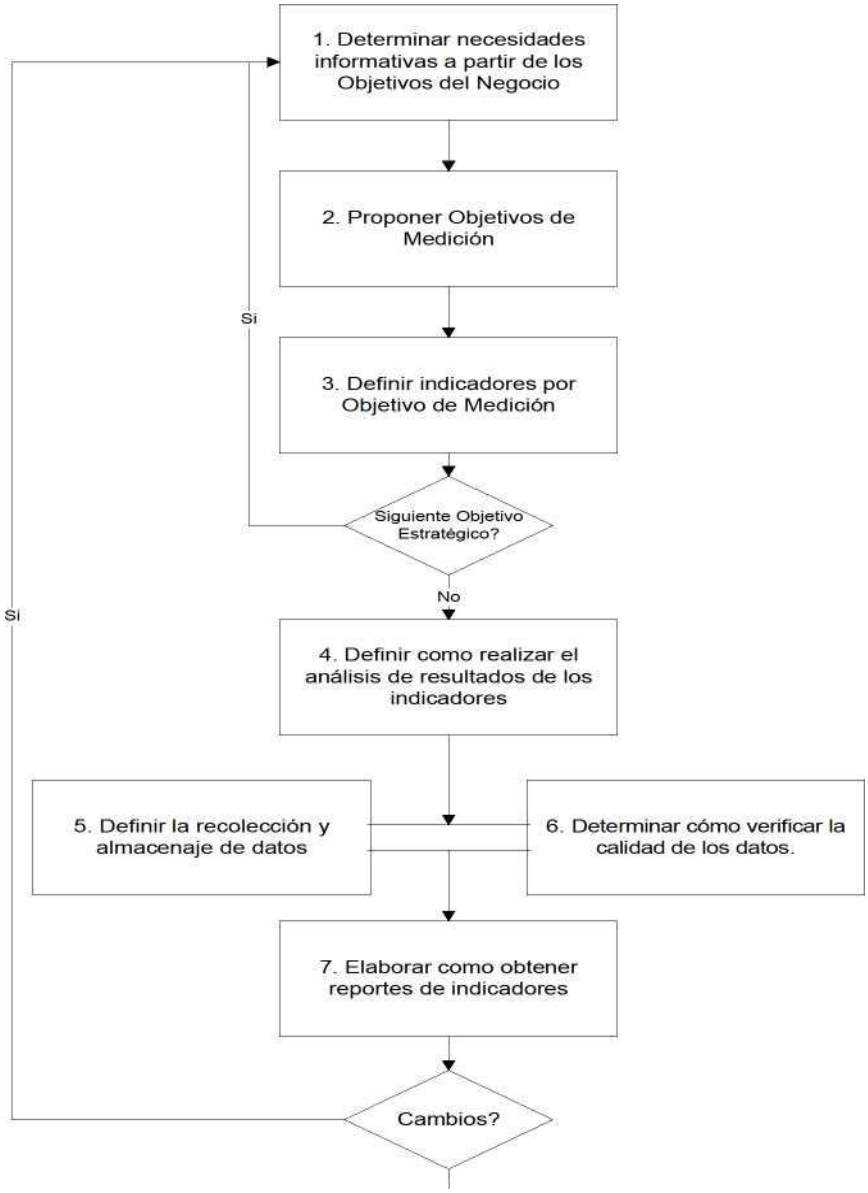

Figura 1. Etapas del procedimiento. Fuente Ross (2018)

A continuación se explican estas dos etapas:

.

Etapa I

Se parte de los objetivos para identificar los indicadores, una vez definidos se almacenan y se validan. En la Figura 2 se las actividades para el diseño de los indicadores




Pasar a la etapa 2

Figura 2. Actividades de la Etapa 1

Etapa II: Control a través de indicadores

Una vez realizada la primera etapa del procedimiento comienza esta etapa, en la que se define una secuencia de pasos lógicos para llevar a cabo la medición, lo que se muestra en la figura 3

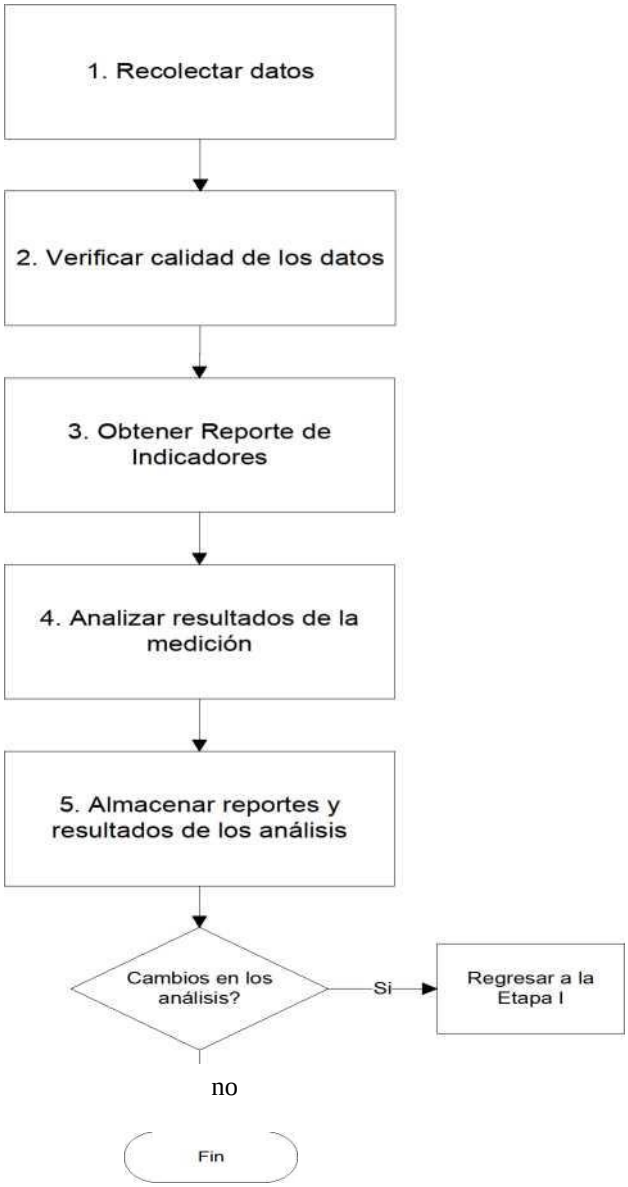



Figura 3. Actividades de la Etapa 1

Resultados

En el diagrama Causa – Efecto (figura 4) (Ishikawa, 2013). se muestran las causas y sub causas del problema principal las cuales se encontraron en el diagnóstico realizado a la empresa EAMOH.

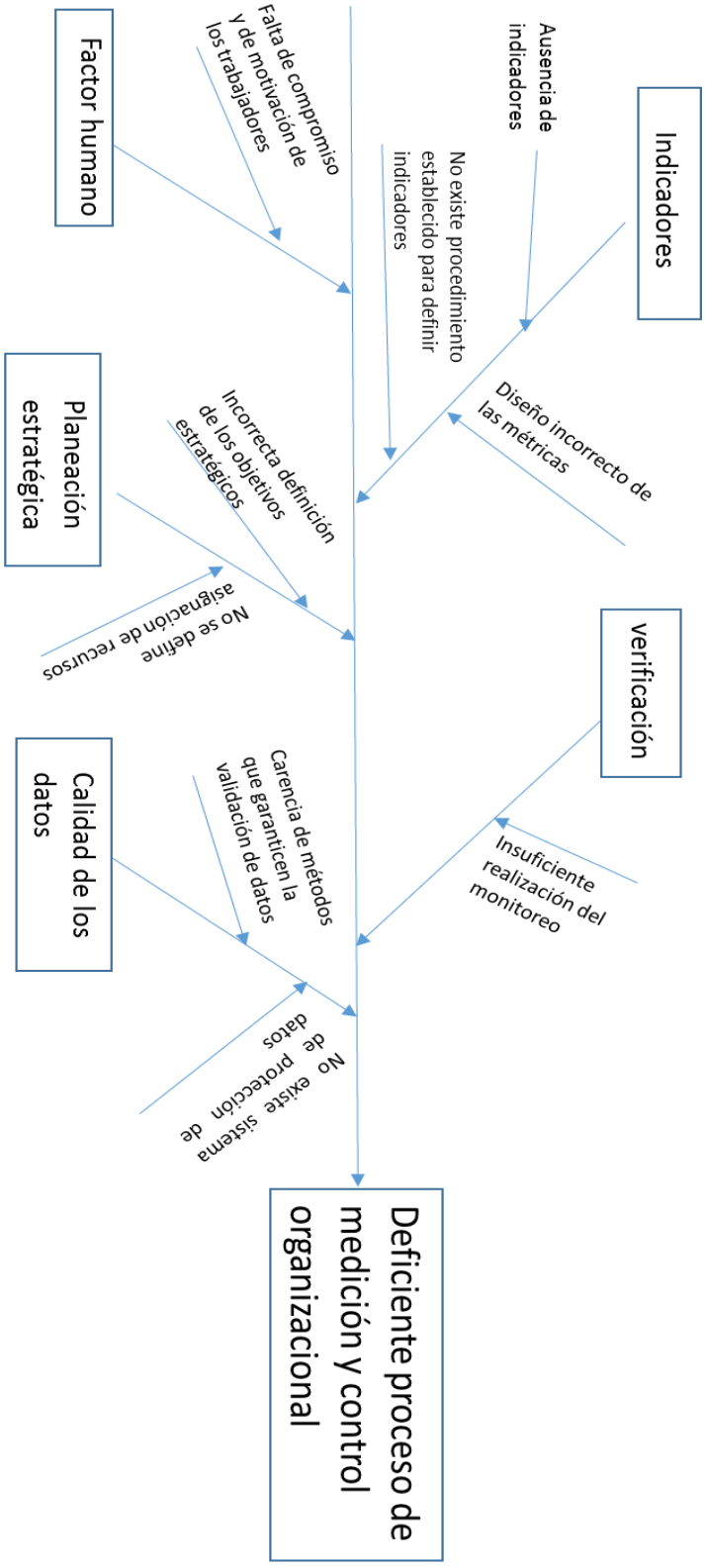



Figura 4. Diagrama causa efecto

APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN ORGANIZACIONAL PGM

Los objetivos estratégicos definidos a partir del diagnóstico son:

- Alcanzar en un 90 % el posicionamiento de los productos de la EAMOH en el mercado del turismo y la venta en MLC para el 2023
- Implementar en un 95% la tecnología requerida para el desarrollo de las diferentes actividades de la empresa además de innovar en los procesos que contribuyen a la eficiencia organizacional de manera rentable.
- Alcanzar anualmente un incremento de la productividad del trabajo en un 5 %, con respecto al plan, mediante la implementación de técnicas y sistemas que permitan elevar la rentabilidad de la empresa.
- Garantizar cada año una satisfacción del 97 % de los clientes.

Además se identificó la relación de los objetivos estratégicos con los procesos claves de la EAMOH (Tabla 1)

| | **Procesos claves EAMOH** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Objetivos estratégicos** | Compra/evaluación de proveedores | diseño | producción | comercialización | evaluación de la satisfacción del cliente |
| 1 | x | x | x | x | x |
| 2 | x | | x | | |
| 3 | x | | x | x | |
| 4 | | | | x | x |

Tabla 1. Relación de los objetivos estratégicos con los procesos claves de la EAMOH

Aplicación de las etapas del procedimiento
**Etapa I:**

Indicadores definidos:

<u>Indicador del grupo: Posicionamiento</u>

Nivel Organizacional
- Productos posicionados de productos en el mercado del turismo y MLC (%).
  Criterio de aceptación 70%

De acuerdo al contrato 20/23 establecido entre Gaviota la EAMOH se determinan los 66 productos aprobados para la comercialización en el turismo y la venta en MLC, la UEB Wajay produce en sus instalaciones 19 de los productos anteriormente mencionados y de ellos en el año 2023 se han logrado incursionar en este nuevo mercado 12 productos, que representa como se observa en la figura 5 el 63% por lo cual no se ha logrado alcanzar el porciento establecido y por tanto cumplir con el objetivo empresarial.

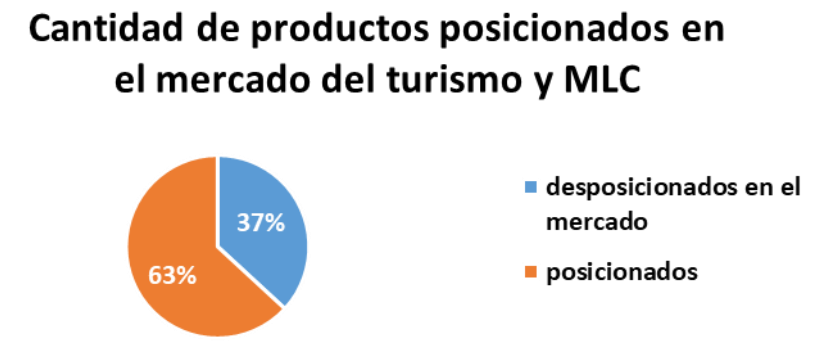



Figura 5. Cantidad de productos posicionados en el mercado

Nivel de Procesos

- Porciento de cumplimiento del plan de ventas al mercado MLC

El porciento de cumplimiento de los planes de producción con destino al turismo y a la venta en MLC, no es satisfactorio, ya que en ninguno de los trimestres se pudo cumplir el pronóstico.

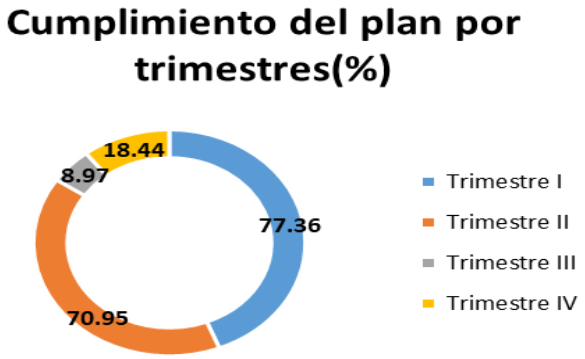



Figura 6. Cumplimiento del plan de producción por trimestres

**Indicador del grupo: Innovación y tecnología**

En la actualidad no existen registros de medición de datos primarios referentes al cumplimiento de la innovación y al uso de las tecnologías. Se diseñaron los modelos tanto para la recogida de datos como para la evaluación y análisis de los resultados.

En el caso del indicador Relación de ingresos de productos por innovación se utilizaron los datos de productos que ya existían en la entidad para la evaluación (Figura 7).

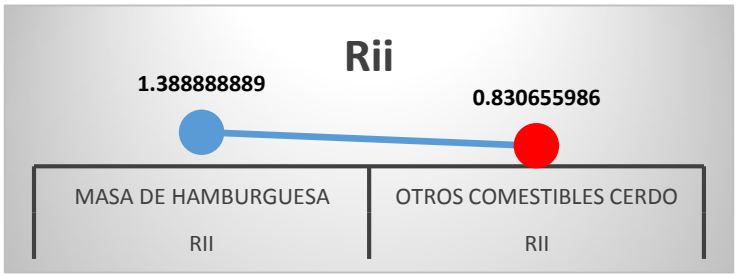



Figura 7. Rentabilidad de los nuevos productos

En el grafico se observa la relación entre dos productos, el valor en rojo significa que no es rentable, ya que los costos asociados superan los ingresos generados.

Indicadores del grupo: Productividad
Nivel Organizacional
- Variación de la productividad de la empresa
  Criterio de aceptación mayor o igual a 5%

Con el análisis de todos los trimestres y todos los productos del año se obtiene que la productividad alcanza más un 7% de incremento con respecto al plan, es un resultado exitoso ya que se cumple el objetivo propuesto. En la tabla 2 se observa la diferencia entre la productividad real y la planificada que, aunque tienen valores similares, la real es mayor.

| **Productividad** | |
|---|---|
| Productividad planificada (t/trab) | 12,91576812 |
| productividad real (t/trab) | 13,86592308 |
| variación de la productividad (%) | 7,356550168 |

Tabla 2. Productividad de la empresa año 2023

En la figura 8 se muestra gráficamente el aumento de la productividad




Figura 8. Productividad real y planificada

Indicador de satisfacción del cliente
Para la obtención del índice de satisfacción del cliente con la calidad del producto y el servicio por ventas efectuados se utilizó la encuesta diseñada en la organización. Todos los valores se encuentran entre los valores 4 y 5, el índice de satisfacción del cliente resultó 97.9%. No se reportaron reclamaciones. En el gráfico se muestra el porciento de satisfacción de los clientes por cada pregunta realizada en la encuesta. El objetivo propuesto se satisface ya que se supera el 97% de satisfacción. En la encuesta se tuvo en cuenta la inocuidad alimentaria a partir de la evaluación de la higiene como pre requisito indispensable en la elaboración de productos alimenticios, )figura 9

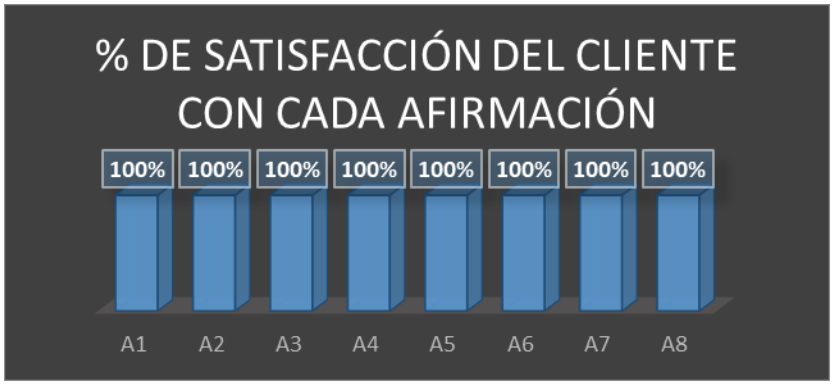



Figura 9. Porciento de satisfacción del cliente con cada afirmación.

CONCLUSIONES

1 Se analizaron los fundamentos teóricos que corresponden el estado del arte de la investigación realizada resultando el método GQM el seleccionado para la aplicación, ya que posee ventajas con respecto a las otras metodologías estudiadas (GQM, CMI, CMMI).
2. Se realizó el diagnóstico de la empresa y se determinó que la misma esta desprovista de indicadores (procesos y organizacionales), de sistemas informáticos y de métodos para garantizar la calidad de los datos.
3. A partir del uso del procedimiento PGM se le dio solución al problema principal, estableciendo los modelos para la recolección de datos, elaboración y análisis de los indicadores y de sus resultados
4. Se aplicó el procedimiento PGM para los objetivos estratégicos de organización, aplicando la evaluación en los procesos de la UEB Wajay, demostrando el encadenamiento que debe establecerse entre estas empresas.

**Referencias bibliográficas**

1. Ballve, A. (2006). Creando conocimientos en las organizaciones con el cuadro de Mando Integral y el Tablero de Control. Revista de contabilidad y dirección, 3, 13-38.
2. Ergaxheva, S., Kruglov, A. & Shulhan, I. (2019). Desarrollo y evaluación del método GQM para mejorar sistemas adaptativos. Informática, 4, 9.
3. Ishikawa, K. (2013). Diagrama de Ishikawa. Obtenido de http://www.academia.edu/download/45800691/Diagrama_de_Ishikawa.pdf.
4. ISO/IEC (2008). Software Engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Data quality model.
5. ISO, N. C. (2015). Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
6. Kpi.Estudios (Producer). (2021). Kpi estudios. com. Qué son los indicadores de gestión en recursos humanos. Kpi estudios. com. Qué son los indicadores de gestión en recursos humanos. Retrieved from https://www.kpiestudios.com/post/que-son-los-indicadores-de-gestionen-recursos-humanos.
7. KYOCERA, D. S. (Producer). (2021). KYOCERA Document Solutions. KPI e indicadores de procesos. KYOCERA Document Solutions. KPI e indicadores de procesos. Retrieved from https://www.kyoceradocumentsolutions.es/es/smarter-workspaces/insightshub/articles/kpi-e-indicadores-de-procesos.html.
8. Ishikawa, K. (2013). Diagrama de Ishikawa. Obtenido de http://www.academia.edu/download/45800691/Diagrama_de_Ishikawa.pdf.
9. Rodríguez, M. R., & López, S. T. (2019). CMMI, un modelo de procesos que norma la calidad. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 12(10), 117-125.
10. Ross, L. D. (2015). Diseño y Aplicación del Procedimiento para la Gestión. Tesis de maestría, Cujae, La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EL CONTROL DE INDICADORES DE GESTIÓN: ELEMENTO PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL SIG CALIDAD E INOCUIDAD DE LA UEB "WAJAY".

**Dr.C Claro Francisco Abá Alfonso[1], Dr.C Aleida González González[2], MSc. Lic. Miguel L. Ochoa Suárez[3]**

**[1]Empresa Agropecuaria Militar del Oeste de La Habana, Calle 425 y Final, Reparto Santa Elena, Santiago de las Vegas, Boyeros, La Habana; [2,3]Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Echevarría", Calle 114 # 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana.**

[1]e-mail: clarofrab@ind.cujae.edu.cu, [2]e-mail: agonza@ind.cujae.edu.cu, e -mail[3]: oeste@uam.cu

## RESUMEN

Resulta de vital importancia implementar el control de las organizaciones a través de indicadores de gestión, al otorgar la ventaja competitiva de generar información confiable sobre el comportamiento de los procesos y el logro de los objetivos estratégicos.

Este artículo presenta un análisis de la importancia de implementar los indicadores con la finalidad ser utilizado como herramienta de diagnóstico y como un complemento de otros elementos de información con datos actualizado para que los ejecutivos desarrollen una toma de decisiones efectiva en el camino a la mejora del desempeño organizacional de la agroindustria manufactura de alimentos cubana. El objetivo de la presente investigación consiste en aplicar un procedimiento para la gestión de la medición que garantice la correcta definición y control de indicadores de desempeño hasta el nivel operativo de los procesos. Ello debe contribuir a que los mecanismos de gestión de los indicadores garanticen la toma de decisiones para la mejora del desempeño organizacional en la UEB "Wajay".

Como resultado de la aplicación de un Procedimiento para la Gestión de la Medición, se determinaron los indicadores para la correcta gestión a nivel estratégico, de procesos y de desempeño individual, que se consideran fundamentales para mejorar la eficacia, eficiencia y la sostenibilidad del Sistema Integrado de Gestión Calidad e Inocuidad. Se determinan 43 indicadores organizacionales, de procesos y de desempeño individual útiles en términos de diagnóstico y análisis de la información en los procesos de gestión de la dirección, calidad, producción, venta, capital humano y gestión económica-financiera.

**PALABRAS CLAVES**: indicadores, sistema integrado de gestión, sostenibilidad.

## ABSTRACT

It is vitally important to implement organizational control through management indicators, as it provides the competitive advantage of generating reliable information on the behavior of processes and the achievement of strategic objectives.

This article presents an analysis of the importance of implementing indicators in order to be used as a diagnostic tool and as a complement to other information elements with updated data so that executives can develop effective decision-making on the path to improving the organizational performance of the Cuban food manufacturing agroindustry. The objective of this research is to apply a procedure for measurement management that guarantees the correct definition and control of performance indicators up to the operational level of the processes. This should contribute to the indicator management mechanisms guaranteeing decision-making for improving organizational performance at the UEB "Wajay".

As a result of the application of a Measurement Management Procedure, indicators were determined for proper management at the strategic, process and individual performance levels, which are considered essential to improve the effectiveness, efficiency and sustainability of the Integrated Quality and Safety Management System. 43 organizational, process and individual performance indicators were determined, which are useful in terms of diagnosis and analysis of information in the management processes of direction, quality, production, sales, human capital and economic-financial management.

**KEYWORDS:** indicators, integrated management system, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

El comercio internacional de productos alimenticios ha impulsado el desarrollo de Sistemas Integrados de Gestión (SIG), cuya adopción ha crecido globalmente, destacando su relevancia en las organizaciones agroindustriales [1]. Estas organizaciones, orientadas a la calidad total, fomentan una cultura que asegura comportamientos y procesos que cumplen con las expectativas de clientes y partes interesadas [2]. Este enfoque de la alta dirección proporciona confianza en la obtención del éxito sostenido [3]. En este entorno altamente competitivo, es esencial ofrecer productos y servicios de alta calidad al menor costo, buscando no solo productividad y eficiencia, sino también eficacia en la gestión [4].

El sistema empresarial cubano enfrenta uno de los mayores retos de su historia reciente. Debe adaptarse a un entorno internacional globalizado y postpandemia, e integrarse a las transformaciones estructurales del país para corregir errores del pasado y guiar a la sociedad hacia la sostenibilidad, integración y competitividad[5] . Para lograr estos objetivos, es crucial el análisis de datos y el uso de indicadores de gestión, que permiten medir el estado de los procesos y facilitar la toma de decisiones acertadas y oportunas [6]. Estos instrumentos son esenciales para la sostenibilidad de los SIG, ya que garantizan que los procesos y productos se ajusten a los requisitos del cliente y cumplan los objetivos de negocio. El reto para las organizaciones cubanas es emplear técnicas avanzadas para seleccionar los datos importantes y convertirlos en información útil para la toma de decisiones [7].

La revisión bibliográfica sobre el sector agroindustrial de alimentos manufacturados en Cuba evidenció la creciente necesidad del uso de indicadores. Estos permiten un mayor control y mejor calidad del producto final, además de mejorar la trazabilidad en todos los procesos de fabricación, garantizando un enfoque integral en las dimensiones de calidad e inocuidad [8].

En resumen, la generación de indicadores ayuda a las organizaciones a medir la aplicación y madurez de sus sistemas de gestión, y a planificar cómo fortalecer su compromiso con la responsabilidad social.

El desarrollo de la presente investigación tuvo como base el análisis documental, referido a ideas informativas relevantes de documentos relacionados con la investigación, como fueron la Norma ISO 9001 [2]; la Norma NC 136 [9], el Procedimiento para la Gestión de la Medición (PGM) de Ross [7]; y los Indicadores para la gestión derivados de la planificación estratégica 2022-2025 de la Empresa Agropecuaria del Oeste de La Habana.

La UEB “Wajay” ha identificado la necesidad de diseñar indicadores adecuados, ya que los actuales carecen de claridad sobre qué y cómo medir. Esto se debe a la complejidad de su estructura, la falta de información precisa y la percepción de que no aportan valor a los procesos. Por ello, en los últimos años se han implementado cambios en la gestión, aunque los resultados aún no cumplen con las expectativas.

Se analizaron los informes de resultados de diagnósticos organizacionales realizados en los años 2021-2023, así como del estudio de los informes de revisión por la dirección, de auditorías internas y de certificación al SIG Calidad e Inocuidad y de resultados del desempeño de la organización, referidos en seis (6) Trabajos de Diploma, tres (4) Tesis de Maestría[1] [10,11,12,13] y una tesis de doctorado [14].

Estos resultados subrayan que, aunque la función de control es integral en el ciclo de gestión, no es una práctica generalizada en la UEB. Esto resulta en una efectividad insuficiente en el control de la gestión de los resultados y en la falta de un enfoque sistémico que contribuya a su integración. Entre las principales deficiencias en la gestión de la medición, destacan:

- no se realizar la planificación estratégica propia para la organización;
- falta de alineación entre los indicadores y los objetivos estratégicos de la organización;
- la inexistencia de indicadores de gestión que tributen directamente al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la UEB;
- inexistencia de herramientas adecuadas para el seguimiento y análisis de los indicadores de medición;
- falta de automatización para el control de los indicadores de gestión;
- los trabajadores no conocen los indicadores, sólo lo maneja el responsable del proceso y la alta dirección;
- desconocimiento de la contribución a la gestión.

A partir de esta problemática, se plantea como objetivo establecer el sistema de indicadores de control de gestión en la UEB, que contribuya a la toma de decisiones y la mejora del desempeño organizacional, a partir de la implantación del procedimiento PGM de Ross [7].

[1] Resultado del proyecto de investigación Innovación y estrategias empresariales en la producción agroindustrial de alimentos basada en el conocimiento, llevado a cabo el 1 de marzo de 2021 al 1 de febrero de 2024, de la UB “Wajay”, perteneciente a la Empresa Agroindustrial del Oeste de La Habana.

Como resultado fundamental deja expuesto un procedimiento de trabajo para la generación de resultados que satisfagan las necesidades de las partes interesadas y la mejora del desempeño organizacional en la búsqueda de la sostenibilidad del SIG Calidad e Inocuidad de la UEB "Wajay".

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este artículo, se utilizó el modelo de investigación evaluativa, bajo el esquema de la revisión y el análisis de la literatura, observación directa, las entrevistas, análisis de la documentación, método de análisis de experticia [15], diagramas de barra y matriz DAFO, con el fin de generar un análisis y reflexiones críticas soportadas en argumentos disciplinares de diversas fuentes, tanto bibliográficas como documentales, en cada uno de los temas expuestos. Para ello, se realizó una amplia revisión académica de fuentes tanto nacionales como internacionales representativas en el tema. Se vincularon cerca de 75 documentos científicos que dan soporte argumental a cada ítem expuesto en este documento.
La presente investigación de campo corresponde a un estudio de caso, que busca comprobar la incidencia de la implantación del procedimiento PGM de Ross [7] como camino para utilizar el control de indicadores de gestión como herramienta esencial para mejorar la eficacia, eficiencia y sostenibilidad del SIG, entre los valores añadidos en la Unidad Empresarial de Base (UEB) "Wajay", perteneciente a la Empresa Agropecuaria del Oeste de La Habana (EAOH), en el ámbito de la producción de alimentos manufacturados.
La investigación comenzó con la exposición de premisas que llevaron a la formulación de la pregunta central del estudio: ¿Cuáles son los indicadores de control de gestión esenciales para implementar en la UEB, que contribuyan a la toma de decisiones y a la mejora del desempeño organizacional? Esta pregunta se responde a lo largo del documento con los resultados obtenidos.

## RESULTADO DE LA REVISIÓN

Para lograr un diagnóstico efectivo de la situación actual en la organización, se realizó una valoración crítica de los referentes teórico-metodológicos y se formularon las categorías de la metodología de investigación. Esto permitió identificar las deficiencias en la gestión de los indicadores y determinar la correspondencia entre los objetivos estratégicos y los indicadores de procesos y desempeño. De esta manera, se detectaron oportunidades de mejora y se logró una gestión de control eficiente, utilizando la Figura 1 como guía para la obtención de información [14].




Figura1: Etapas y tareas para realizar el diagnóstico.

En cada etapa se presentan los métodos y herramientas a utilizar, contribuyendo a una investigación estructurada y organizada. Se analiza la correspondencia entre los objetivos estratégicos y los indicadores

de procesos y desempeño, detectando oportunidades de mejora y logrando una gestión eficiente. Las cuatro etapas para identificar mejoras en la UEB "Wajay" son las siguientes:

Etapa 1: Características y particularidades de la UEB "Wajay".

1.1 Análisis del contexto de la organización. Determinar las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito y su dirección estratégica, y que afectan a su capacidad para lograr los resultados previstos de su sistema de gestión.

1.2 Determinación de las relaciones internas. Los procesos y sus interrelaciones. Determinación y aplicación de los criterios y los métodos (incluyendo el seguimiento, las mediciones y los indicadores del desempeño relacionados) que aseguran la operatividad eficaz y el control de estos procesos;

1.3 Amenazas - Debilidades - Fortalezas - Oportunidades: Determinar y analizar el contexto de la organización. La determinación y análisis de la situación actual del contexto se realiza a través de estudiar el comportamiento de factores claves como: las partes interesadas y las cuestiones externas e internas que son pertinentes para el propósito y la dirección estratégica de la organización para lograr el éxito sostenido ([3]. Resumir cada una de ellas teniendo en cuenta 1.1, 1.2 y 1.3.

1.4 Es una fase en la que se consideran los requisitos iniciales que deben tenerse en cuenta para la creación del indicador y su posterior utilidad. El estado actual de los indicadores crea las bases para un análisis posterior. En el caso de los indicadores históricos, estos permiten una visión de las tendencias tanto por su objetivo fundamental como por la variación de sus componentes.

Etapa 2: Correspondencia entre la estrategia y objetivos de la EAMOH, y los resultados de su cumplimiento en la UEB.

2.1 Estrategia de la UEB y sus objetivos. Se analiza su comportamiento no solo con las exigencias propias de los indicadores, sino también en su relación con los objetivos y las metas definidos de acuerdo con el contexto en particular. Analizar la estrategia de la UEB y sus objetivos; si existe correspondencia con la estrategia de la EAOH. Sistema de objetivos que tributen a los objetivos estratégicos, así como los indicadores metas. Valorar como se realiza el despliegue de los objetivos e indicadores hasta el nivel operativo de los procesos. Analizar la fuente y expresiones de cálculos de indicadores.

2.2 Correspondencia entre la estrategia de la EAOH y la UEB. Verificar necesidad de mejora del diseño estratégico actual. Las entradas al paso son las oportunidades de mejora detectadas en el análisis del posicionamiento estratégico a adoptar, la caracterización de la organización y la planificación estratégica actual.

Etapa 3: Identificación del problema en la UEB. En esta etapa se valoran los resultados, de acuerdo con el comportamiento de los indicadores en el tiempo, a fin de delimitar sus dificultades y contrarrestarlas posteriormente. Es el momento en que se profundiza en los problemas encontrados en busca de causas y posibles soluciones, de forma tal que el análisis adecuado de la información permita realizar evaluaciones; en el caso particular del medio ambiente, los indicadores también permiten valorar la marcha de la implementación de la política ambiental.

3.1 Despliegue de los objetivos hasta el nivel operativo. El grupo gestor (con el criterio de los trabajadores) analiza si los objetivos que se propusieron alcanzar a largo plazo en la planificación estratégica de la EAOH, están en concordancia con los FCE, su misión, visión y valores de la UEB. Los objetivos deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes, temporales y pertinentes para la conformidad de los productos y servicios, y el aumento de la satisfacción de las partes interesadas pertinentes.

3.2 Sistema de indicadores de gestión. La alta dirección evalúa el progreso del logro de sus resultados planificados, tomando como punto de partida los objetivos estratégicos definidos en la planificación estratégica de la EAOH, para identificar si los indicadores miden el comportamiento del desempeño de la UEB. Además conocer si estos indicadores permiten interpretar lo que está sucediendo, conocer la magnitud de desviación de las metas y tomar medidas correctivas para gestionarlos.

Etapa 4: Análisis del diagnóstico. Se realiza un análisis de las deficiencias detectadas y las alternativas de solución, culminando con el informe diagnóstico.

En la etapa de análisis del diagnóstico, se llevan a cabo los siguientes pasos:

a) Identificación de problemas: Se determinan los principales problemas relacionados con la situación en cuestión.
b) Formulación del problema central: Se resume el problema central de manera concisa.
c) Análisis de las causas: Se registran las posibles causas del problema central.
d) Evaluación de los efectos: Se anotan los efectos provocados por el problema central.

## PRINCIPALES RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO

El procedimiento diagnóstico se aplicó en la UEB "Wajay" organización exitosa del sector agroindustrial de alimentos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

1. Insuficiente utilización de indicadores como herramientas de diagnóstico que impide expresar de forma cuantitativa y cualitativa lo que sucede en la UEB.
2. No se lidera desde la alta dirección la política para la evaluación del desempeño organizacional a través de la gestión de indicadores de manera integrada.
3. Falta un procedimiento de control en el SIG que asegure la trazabilidad y validez de los datos desde los objetivos estratégicos hasta los indicadores en todos los niveles.
4. Existe una falta de alineación entre los indicadores de cada proceso, los objetivos de los procesos y los objetivos estratégicos de la organización. Además, los indicadores de desempeño de los empleados no corresponden adecuadamente con estos objetivos.
5. Los indicadores medidos no están relacionados con los objetivos estratégicos de la organización y se limitan a tareas operativas, lo que no aporta valor significativo.
6. Los formatos de reporte y las formas de cálculo no son claros para los funcionarios.
7. No se efectúa el esquema de seguimiento y control de los indicadores en cada uno de los niveles.
8. Poco reconocimiento del uso de indicadores de gestión como fuente de información para identificar dónde se deben realizar los procesos de mejoramiento continuo.
9. No se cuenta con un cuadro de mando integral para la gestión de la organización.
10. Los trabajadores no conocen los indicadores, sólo lo maneja el responsable del proceso la alta dirección.
11. Falta de automatización y protección de datos debido a la obsolescencia de medios y equipos informáticos, lo que afecta el control de los indicadores de gestión.

### Análisis de las deficiencias detectadas

Se observa que los objetivos estratégicos y operativos, así como los indicadores disponibles, están desconectados, sin evidenciar sus interdependencias. Esto resulta en una combinación de indicadores esenciales con otros triviales, sin jerarquización ni énfasis en indicadores cruciales como los de calidad y sanitarios. La falta de un sistema de información con datos relevantes dificulta el monitoreo y la mejora del desempeño organizacional, impidiendo la trazabilidad desde los objetivos estratégicos hasta los indicadores en todos los niveles de la organización. Por lo tanto, la alineación estratégica de los procesos no está orientada a apoyar la eficiencia operativa (productividad y rentabilidad) ni la mejora de la gestión integrada, lo que complica la toma de decisiones, la transparencia y el mejoramiento del desempeño organizacional [16].
Aunque en los últimos años se han producido cambios paulatinos en las formas de gestión implementada en la UEB, los resultados alcanzados distan de las expectativas al respecto, todavía se continúa presentando deficiencias en la integración del sistema de gestión con enfoque estratégico organizacional.
Todos los aspectos mencionados indican que los mecanismos de gestión de los indicadores del desempeño organizacional no garantizan la toma de decisiones para la mejora del desempeño organizacional en la UEB "Wajay".

## BASES CONCEPTUALES DEL MODELO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LA MEDICIÓN ORGANIZACIONAL (PGM) DE ROSS [7]

Las premisas para la aplicación del PGM son las siguientes:

- Premisa 1: Contar con un diseño estratégico.
- Premisa 2: Compromiso de la dirección.
- Premisa 3: Capacitación.

Este procedimiento consta de dos etapas, en la primera se diseñan los indicadores y en la segunda etapa se establecen los pasos para efectuar la medición y el control a través de dichos indicadores como se muestra en la Figura 2.

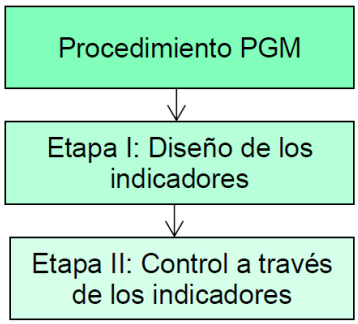



Figura 2: Procedimiento PGM [7].

Descripción del procedimiento PGM.

a) Comprobación del cumplimiento de las premisas del PGM.
b) Etapa I: Diseño de los indicadores.
   - Actividad 1. Determinar las necesidades informativas a partir de los objetivos del negocio.
   - Actividad 2. Proponer objetivos de medición.
   - Actividad 3. Definir indicadores por objetivo de medición.
   - Actividad 4. Definir como realizar el análisis de resultados de los indicadores.
   - Actividad 5. Definir la recolección y almacenaje de datos.
   - Actividad 6. Determinar cómo verificar la calidad de los datos.
   - Actividad 7. Elaborar como obtener reportes de indicadores.
c) Etapa II: Control a través de indicadores.
   - Actividad 1. Recolectar datos.
   - Actividad 2. Verificar calidad de los datos.
   - Actividad 3. Obtener reporte de indicadores.
   - Actividad 4. Analizar resultados de la medición.
   - Actividad 5. Almacenar reportes y resultados de los análisis.

Los pasos que propone el procedimiento para llevar a cabo la medición y puede ser utilizado en organizaciones que quieran la implantación de un sistema de medición completamente nuevo o en aquellas que quieran renovar, mejorar el existente; sin embargo parte de que ha realizado correctamente la planeación estratégica.

**Resultados de la aplicación del PGM)**

**Comprobación del cumplimiento de las premisas:** Se verificó que la alta dirección lidera la implementación del PGM, con compromisos y requisitos firmados y aprobados. Los miembros del equipo de trabajo conocen las herramientas propuestas y son responsables del plan de capacitación para el proceso de medición. Además, se constató que la UEB carece de un diseño estratégico propio y utiliza la planificación estratégica de la EAMOH, por lo que se proyectó una estrategia propia para el período 2022-2025.

Etapa I: Diseño de los indicadores

A partir del trabajo en equipo realizado en conjunto entre la EAOH y la UEB, se definieron los indicadores organizacionales, de procesos y posteriormente los de desempeño individual para la UEB que se plantean a continuación:

Indicadores a nivel organizacional:

1. Porciento de efectividad de entregas de producto al mercado del turismo y en MLC (%)
2. Relación de ingresos de productos por innovación
3. Porcentaje cumplimiento en tiempo de actividades por proyectos
4. Productividad
5. Medición de la satisfacción de los clientes
6. Tasa de crecimiento de los ingresos trimestral
7. Costos por peso de ingreso mensual
8. Costos totales de la calidad
9. Porcentaje de relevancia de los salarios

10. Competencias técnicas del personal
11. Índice medio de aplicación de la formación en el perfil desempeñado

Indicadores a nivel procesos:

1. Porciento de cumplimiento operativo de las ventas al mercado del turismo y MLC.
2. Tasa de entrega completa y a tiempo.
3. Tasa de innovación de los nuevos productos.
4. % de cumplimiento en tiempo de actividades por proyectos por procesos i.
5. Productividad del proceso i en el trimestre j
6. Índice de satisfacción del cliente (ISC) en el proceso de Comercialización
7. Porcentaje trimestral del incremento de las ventas en el trimestre j
8. Costos por peso de ingreso mensual por proceso i
9. Costo de rechazos por fallos internos del proceso i en el trimestre j
10. Tasa de devolución de productos.
11. % de relevancia de los salarios por procesos i.
12. Porcentaje del personal que se ajusta al perfil requerido en el proceso i.
13. Índice medio de aplicación de la formación en el perfil desempeñado.
14. Fallos por incumplimiento de los límites críticos (LC) del plan APPCC.
15. Porcentaje de productos contaminados.
16. Evaluaciones deficientes de limpieza y desinfección.

Indicadores a nivel desempeño individual:

1. Porciento de cumplimiento operativo de las ventas al mercado del turismo y MLC por grupo operacional X.
2. Tasa de producción para el mercado del turismo y MLC mensual.
3. % de cumplimiento en tiempo de actividades por proyectos por grupo operacional X.
4. Productividad por grupo operacional X en el trimestre j.
5. Índice de satisfacción del cliente (ISC) de acuerdo al ítem evaluado por grupo operacional X.
6. Porcentaje mensual del incremento de las ventas por trabajador (Incremento mensual de las ventas / Número promedio de trabajadores X 100).
7. Costos por peso de ingreso por trabajador mensual (Costos laborales totales / Ingresos totales.
8. Porcentaje de productos fabricados no conformes por grupo operacional X.
9. Tasa de devolución de productos por grupo operacional X.
10. % de relevancia de los salarios por grupo operacional X.
11. Cumplimiento de la jornada laboral.
12. Accidentalidad laboral.
13. Formación y capacitación.
14. Uso correcto de uniforme y medios de protección.
15. Cumplimiento de normas y reglamentos.
16. Limpieza y organización del área de trabajo.

Etapa II. Control a través de indicadores

Se muestran los resultados obtenidos durante el primer año de aplicación del sistema de indicadores metas de la UEB. La implantación se realiza de forma progresiva marcados para su término en el año 2025. En una primera etapa se vinculan los objetivos estratégicos con los 11 indicadores que ya han sido establecidos, desplegándose a los niveles organizacionales, procesos y desempeño individual.

El control implementado consta de 11 indicadores recolectados de diversas fuentes de información para orientar la gestión hacia la satisfacción del cliente. Se diseñaron fichas descriptivas para cada indicador, incluyendo objetivo, proceso encargado, fórmula de cálculo, periodicidad, metas, fuente de datos, periodo e ilustración gráfica de su comportamiento. Estas fichas se implementaron con éxito y apoyaron significativamente la toma de decisiones. Para las metas no alcanzadas, se realizó un análisis detallado de las causas para su redefinición o mejora de actividades

Con los datos obtenidos entre julio de 2022 y junio de 2023, se realizó un análisis de tendencia de los indicadores para cumplir con los objetivos estratégicos organizacionales. Dado que los diseños de algunos indicadores son nuevos, no hay datos disponibles para analizar la relación de ingresos por innovación, las competencias técnicas del personal y el índice de aplicación de la formación en el perfil desempeñado. Por ello, se elaboró un plan de acción para recopilar datos e implementar estos indicadores.

A continuación se realiza el análisis de los resultados obtenidos:

Efectividad de entregas de producto al mercado del turismo y MLC (%). A pesar de la situación económica que atraviesa el país desde el punto de vista económico y la baja entrada de turistas al país, la efectividad de las entregas fue de un 22,0 %, superando en un 2 % la meta del 20 % (Figura 3), evidenciando una tendencia a lograr una eficacia optima en la efectividad de entrega a los requerimientos del mercado.
Cumplimiento en tiempo de actividades por proyectos (%). En junio de 2023, se midieron el cumplimiento de las actividades y su nivel de implantación de los proyectos a través de los informes de resultados planificados en cada etapa del proyecto, se manifiesta que se cumplen el 80 % del total de actividades planificadas para la implementación del sistema de indicadores. Queda pendiente la contratación para la adquisición de los programas informáticos para el control de gestión.
Productividad del trabajo (UM: miles de pesos). La medición del indicador muestra que la proporción de producción o servicio obtenido respecto a los recursos utilizados ha aumentado en 3,26, con una tendencia de crecimiento del 31%. Este resultado exitoso clasifica el nivel de cumplimiento como satisfactorio, superando el objetivo propuesto. Los niveles de productividad alcanzados indican una mayor eficiencia en el uso de recursos, confirmando el compromiso de la UEB con la optimización de procesos y la mejora organizacional. El SIG ha influido positivamente en la productividad, facilitando la gestión integrada y apoyando a la alta dirección y responsables de procesos en la consecución de resultados óptimos.

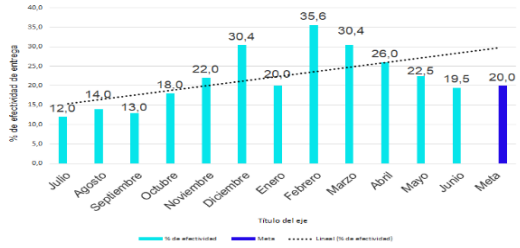



Figura 3: Efectividad de entregas al mercado del turismo y MLC.

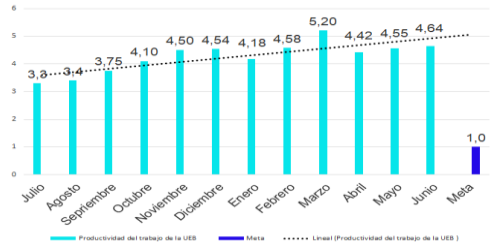



Figura 4: Productividad del trabajo de la UEB.

Medición de la satisfacción de los clientes.
Se evaluó la satisfacción de 46 clientes mediante una encuesta propia, validada con SPSS 20.0 y procesada en Excel 2019. La consistencia interna de los ocho ítems fue alta (Alfa de Cronbach = 0,8480). Los resultados mostraron una satisfacción general "Muy Satisfecho" (valores entre 4,54 y 5,0), aunque las preguntas 3, 4, 5 y 8 tuvieron puntuaciones ligeramente inferiores. El Índice de Satisfacción del Cliente (ISC) mostró un desempeño satisfactorio y creciente, superando las metas en un 6,9 %, indicando una alta satisfacción y capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes.
Al realizar un análisis comparativo de tendencia desde el año 2019 con los resultados del ISC después de implantado el SIG, evidencian que las acciones innovativas impactan directamente en la satisfacción del cliente con el productos y servicios recibidos, y a mejorar el desempeño global con la creación una cultura de mejora continua del SIG (Figura 7).

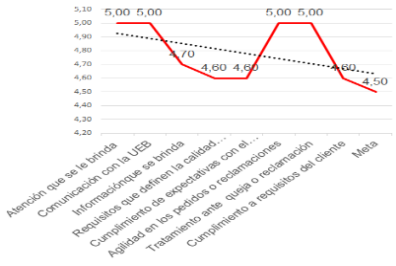



Figura 5: Ítems para medición del ISC.

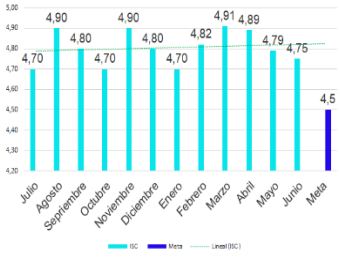



Figura 6: Medición del ISC.

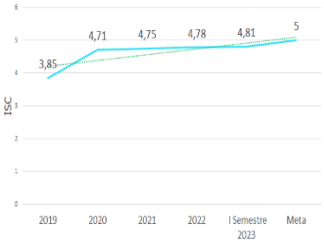



Figura 7: Tendencia del ISC año 2019-I Semestre 2023.

Tasa de crecimiento de los ingresos. Para lograr un crecimiento de un 10 % en las ventas al mercado del turismo y en MLC, se firmaron contratos con el Grupo de Turismos Gaviota S.A, Tiendas Caribe y Cubagro S. A., con la intención de abastecer 40 productos cárnicos en este segmento de mercado. Se logró proveer

31 productos, que representa el 78 % de productos propuestos. En la Figura 8 se puede apreciar que solo en el mes de enero no se cumple la meta establecida (0,84), el resto tiene una tendencia a mantener un valor entre 1,22 y 1,64, alcanzando un valor medio de 1,39 % por encima de la meta planificada de 1,0, tendencia que lo clasifica como nivel de cumplimiento satisfactorio.

Costos de totales de la calidad (%). La UEB emplea un sistema de costos por órdenes de producción, donde los decomisos de material directo, los costos de mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación se transfieren al final de cada periodo al costo de las producciones. Estos costos se presentan en los estados financieros como parte del costo de producción total por surtido y se distribuyen, junto con otros gastos indirectos, en función de los ingresos totales.

Hasta diciembre de 2022, el sistema de costos de la organización solo registraba los costos de calidad. A partir de 2023, se comenzaron a recopilar datos sobre los costos por no calidad, que incluyen desechos, repeticiones y trabajos en garantía debido a problemas de calidad. Se destaca la importancia del indicador de costos totales de calidad para el autocontrol de la gestión de la UEB, ya que puede mejorar la calidad de productos o servicios, reducir costos asociados a la mala calidad y aumentar la satisfacción del cliente, contribuyendo a alcanzar objetivos estratégicos a largo plazo

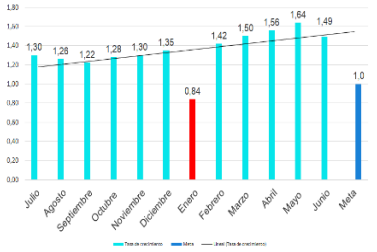



Figura 8: Tasa de crecimiento de los ingresos.

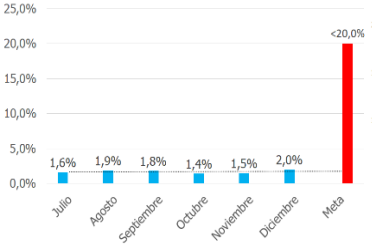



Figura 9: Costos totales de calidad julio- diciembre 2022.

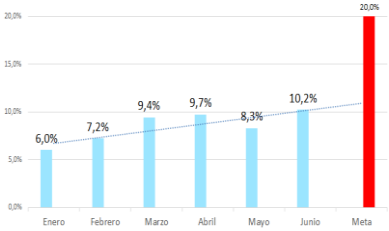



Figura 10: Costos totales de calidad enero - junio 2023.

Relevancia de los salarios (%). El desempeño del indicador presenta una tendencia positiva en la relación salarios pagados y el costo total de la producción, alcanzando un valor medio de 17,8 %, pero sin superar la meta establecida del 20 % (Figura 11).

La proporción de los costos totales de producción que se destinan a pagar los salarios de los trabajadores es adecuada, el indicador evalúa que se está invirtiendo convenientemente en su personal, proporcionando salarios justos y competitivos, lo que asegura que los trabajadores estén motivados y comprometidos con el proceso, lo cual mejora la satisfacción de las partes interesadas pertinentes y la gestión integrada. Estos resultados evidencian la existencia de una eficiencia sobre la gestión de costos totales de producción y la asignación de recursos, influenciado por el impacto de acciones innovativas realizadas en los procesos con la implementación del SIG. El cumplimiento del indicador tiene una tendencia que lo clasifica como nivel de cumplimiento satisfactorio.

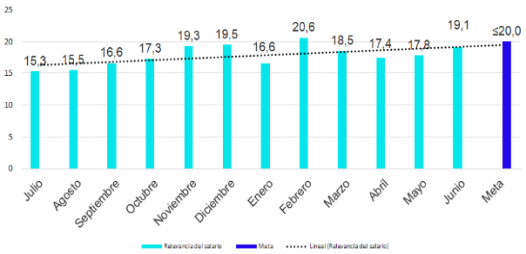



Figura 11: Relevancia de los salarios.

En resumen, al comparar los resultados obtenidos, justifican que la estrategia trazada se considera adecuada. A continuación en la Tabla 1 se muestran los cuatro (4) indicadores evaluados que tuvieron una mejoría importante en los resultados respecto al año 2021.

Tabla 1: Comparación de resultados de indicadores año 2021 vs. julio 2022/ junio 2023.

| Indicador | Criterio aceptación | Período | |
|---|---|---|---|
| | | 2021 | II S 2022 / I S 2023 |
| Porcentaje de efectividad de entregas de producto al mercado del turismo y en MLC | >100 | 74 | 121,9 |
| Productividad del trabajo | ≥ 1,0 | 3,8 | 4,3 |
| Porcentaje de relevancia de los salarios | ≤ 20 | 15.2 | 17,8 |
| Índice de satisfacción de los clientes | ≥ 4,5 | 4,5 | 4,81 |

Indicadores de la evaluación del desempeño individual.

Se grafican los resultados de los indicadores obtenidos por el trabajador "X" del área de producción en las Figuras 12 a la 23.

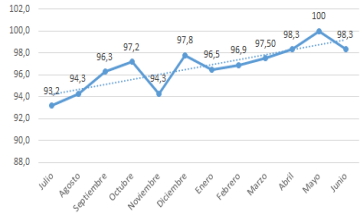



Figura 12: Cumplimiento de la jornada laboral.

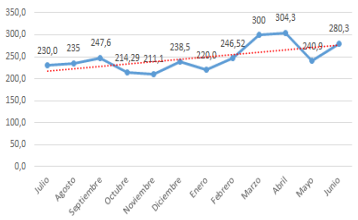



Figura 13: Productividad.

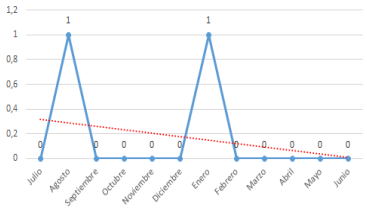



Figura 14: Accidentalidad laboral.

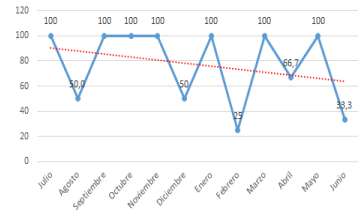



Figura 15: Formación y capacitación

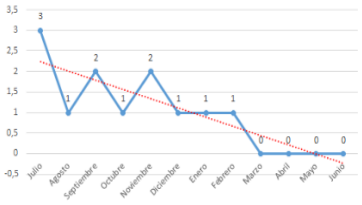



Figura 16: Uso correcto del uniforme y medios trabajo.

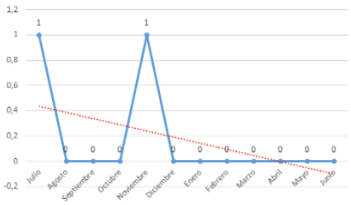



Figura 17: Cumplimiento de las normas reglamentos.

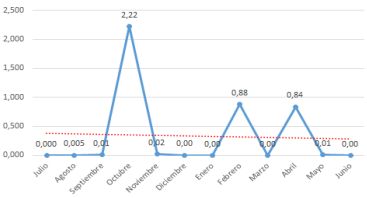



Figura18: % de rechazo.

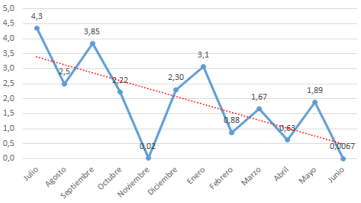



Figura19: % de desperdicio.

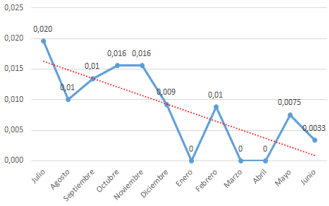



Figura 20: % de producción no conforme

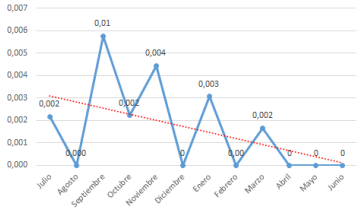



Figura 21: % de t producidas con problemas de calidad

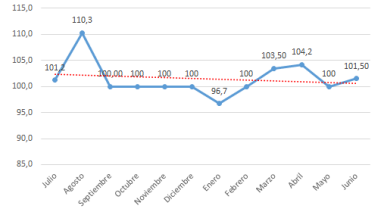



Figura 22: % de cumplimiento del plan de producción

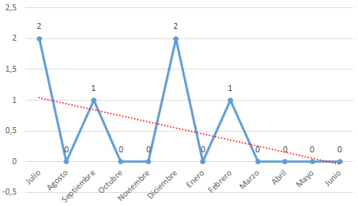



Figura 23: limpieza y organización

Los resultados de la evaluación del desempeño individual de los trabajadores del área de producción del año 2023 fueron de bien y muy bien, exceptuando dos (2) trabajadores que por problemas personales no

fueron evaluados.
La evaluación del desempeño individual ha demostrado que los objetivos establecidos se han alcanzado de manera efectiva, siendo una herramienta crucial para la toma de decisiones laborales. Sin embargo, es esencial considerar la evaluación de competencias y habilidades, las actividades del proceso productivo con mayores desviaciones y los factores externos que puedan haber afectado el desempeño. Tras estos análisis, se concluye que se abordaron tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos del desempeño, lo que facilita la toma de decisiones informadas y fomenta el crecimiento profesional.

## CONCLUSIONES

La implementación de herramientas adecuadas, como el control de indicadores de gestión, permitirá al sector agroindustrial de alimentos manufacturados en Cuba obtener datos relevantes para diagnosticar el desempeño y la calidad de sus procesos. Establecer un sistema de indicadores en la UEB facilitará el control y la medición efectiva de estos, asegurando que los procesos, productos y servicios cumplan con los requisitos del cliente y los objetivos estratégicos a mediano y largo plazo. Esto mejorará la toma de decisiones y el desempeño organizacional. No implementar este control privará a las organizaciones de beneficios operativos y financieros, especialmente en un mercado cambiante. El uso de estos instrumentos es crucial para la sostenibilidad del sistema de gestión. Este artículo presenta 43 indicadores de gestión esenciales para la UEB “Wajay”, que contribuyen a la toma de decisiones y la mejora del desempeño organizacional. Estos indicadores deberían ser utilizados como complemento a otros elementos de información, permitiendo un sistema de análisis de datos actualizado y una toma de decisiones efectiva.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece a todos los miembros del proyecto de investigación ‘Innovación y estrategias empresariales en la producción agroindustrial de alimentos basada en el conocimiento’, el cual se centra en el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos para mejorar la eficiencia y el desempeño organizacional. Este proyecto ha sido implementado con la cooperación de la Facultad de Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana, la Empresa Agropecuaria del Oeste de La Habana, la Empresa Agropecuaria del oeste de La Habana y la Unidad Empresarial de Base Wajay, y ha involucrado la colaboración interdisciplinaria de expertos en ingeniería, economía y ciencias alimentarias.

## REFERENCIAS

1. ISO Survey. (2021). The ISO Survey 2021. ISO. Disponible en: https://www.iso.org/the-iso-survey.html
2. ISO 9001 (2015). Quality management systems. Requirements. ISO 9001: 2015, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
3. ISO 9004 (2018). Quality management. Quality of an organization. Guidance to achieve sustained success. ISO 9004: 2018, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
4. González González, A., & González Rodríguez, R. A. (2008). Diseño de un sistema de gestión de la calidad con un enfoque de Ingeniería de la calidad. Ingeniería Industrial, Vol. XXIX/No. 3/2008. Disponible en: https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/235/225
5. CCPCC- Comité Central del Partido Comunista de Cuba (2021). Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista. Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el período 2021-2026. Disponible en: https://www.tsp.gob.cu
6. Alderete JM. (2018). Diseño y validación de indicadores para sistemas de gestión de la calidad y de la inocuidad alimentaria. Digital Publisher CEIT, ISSN-e 2588-0705, Vol. 3, Nº. 6, 2018, págs. 42-51. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7144015
7. Ross Domas, L. (2015). Diseño del proceso “Medición y Análisis” para la gestión de los indicadores de los Procesos Claves del CITI. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana], La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu

8. Abá Alfonso CF, González González A & Leal Rodríguez L. (2023). Calidad e inocuidad para la salud de los alimentos en la agroindustria cubana. Revista Cubana de Medicina Militar. 2023;52(3):e02302813. Disponible en: http://www.revmedmilitar.sld.cu
9. NC 136:2017 Sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC/HACCP). Requisitos. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 2017. Disponible en: https://www.ncnorma.cu/
10. Corredeira Valdivieso, J. (2024). Modelo de Integración de Riesgos en la Unidad Económica de Base Agroindustrial Wajay. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana], La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
11. González Morejón, L. (2024). Análisis y mejora de los indicadores en la Empresa Agropecuaria del Oeste de La Habana. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana], La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
12. Hernández Fraga, O. (2024). Modelo para la determinación de los costos totales de calidad en la Granja Militar Agroindustrial Wajay. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana], La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
13. Ochoa Suárez, M. (2024). Diseño y control de indicadores de gestión de la UEB "Wajay". [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana], La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
14. Abá Alfonso, CF. (2024). Modelo de Gestión de la Calidad Integral para organizaciones agroindustriales manufacturadoras de alimentos cubanas. [Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría]. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
15. Garza y Chávez (2011). Procedimiento para medir la satisfacción del cliente externo. Aplicación en la sucursal Ciudad de la Habana Sur de la Corporación CIMEX [Tesis de maestría]. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana. La Habana, Cuba. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu
16. Colectivo de autores (2023). Informes de resultado del período 2021-2023 del proyecto de investigación Innovación y estrategias empresariales en la producción agroindustrial de alimentos basada en el conocimiento. Unidad Empresa Agropecuaria del Oeste de La Habana (EAOH), La Habana, Cuba.

**Sobre los autores**

Claro Francisco Abá Alfonso[1], Doctor en Ciencias Técnicas y Profesor Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana, así como Especialista en Planificación y Control de la UEB "Wajay", participó en la coordinación el proyecto mencionado en este trabajo. Durante su coordinación, se participó en diversos eventos nacionales e internacionales, tanto virtuales como presenciales, relacionados con el tema. Además, se publicaron artículos y se presentaron trabajos que divulgaron los resultados alcanzados hasta la fecha.

Aleida González González[2], Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana, desempeña el rol de Jefe de disciplina y coordina la Maestría de excelencia de Calidad Total. En el contexto del proyecto descrito en este documento, participó en varios eventos nacionales e internacionales, tanto virtuales como presenciales, relacionados con el tema.

Miguel Leonardo Ochoa Suárez[3], Licenciado en Educación en Medicina Veterinaria, Diplomado en Economía para no economista y Máster en Calidad Total, es el director de la UEB "Wajay". Participó en la 20ª Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura con el proyecto de investigación referido en esta investigación.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# INDICADORES PARA LA INTEGRACIÓN DE RESGOS Y PELIGROS

**Jesús J. Corredeira Valdivieso[1], Rosario Garza Rios[2]**

**[1]Granja Militar Agroindustrial Wajay**
[2]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae,
dirección [2]garzarios2015@gmail.com

**RESUMEN**

En la Granja Militar Agroindustrial Wajay se tiene implementado y certificado un Sistema Integrado de Gestión de la Calidad e Inocuidad.
Con respecto a los riesgos coexisten dos formas de gestión: gestión de los riesgos y de peligros para lograr la inocuidad alimentaria (IA) que provoca que se dejen de gestionar riesgos de IA a nivel organizacional, existan en ocasiones duplicidad de información lo que provoca afectaciones en la eficacia de la gestión integrada.
Es por esto, que en el presente trabajo se propone un conjunto de indicadores de riesgos y peligros que permitirán analizar la gestión integrada de los peligros. Lo que demostró proveer amplias ventajas que facilitan el control de los procesos de manufactura y el aseguramiento de la salud a los consumidores finales, al generar alimentos inocuos y de alta calidad, al tiempo que mejora el desempeño operacional del ciclo productivo. Estos indicadores se podrán extender a otras entidades de la industria alimentaria.

Palabras claves: riesgo, inocuidad, producción alimentaria.

# INDICATORS FOR THE INTEGRATION OF RISKS AND DANGERS.

**ABSTRACT**

At Wajay agro-industrial military farm, an Integrated Quality and Safety Management System has been implemented and certified.
With respect to risks, two forms of management coexist: risk and hazard management to achieve food safety (AI), which causes AI risks to stop being managed at the organizational level, and there is sometimes duplication of information, which causes effects. in the effectiveness of integrated management.
For this reason, this work proposes a set of risk and hazard indicators that will allow the analysis of integrated hazard management. Which proved to provide broad advantages that facilitate the control of manufacturing processes and ensure the health of final consumers, by generating safe and high-quality food, while improving the operational performance of the production cycle. These indicators can be extended to other entities in the food industry.

Keywords: risk, safety, food production.

**Introducción**

La gestión de una organización no escapa a los riesgos. Ellos están presentes en las actividades que se realizan en cualquier entidad para cumplir el encargo social que le fue asignado.. Una mejora en las cosas que hacemos, una innovación, por muy sencilla que sea, agrega nuevos retos en la gestión e incorpora aspectos que pueden afectar positiva o negativamente el objetivo que se quiere alcanzar.

El riesgo es un elemento consustancial a la propia actividad de la organización y en sus diferentes manifestaciones está presente en cualquier tipo de actividad; en la mayor parte de los casos no es posible establecer mecanismos para su completa eliminación, por lo que se hace imprescindible gestionarlo de forma adecuada. Según la norma ISO 9001:2015 el pensamiento basado en riesgos permite a una organización determinar los factores que podrían causar que sus procesos y su sistema de gestión de la calidad se desvíen de los resultados planificados, para poner en marcha controles preventivos que minimicen los efectos negativos y maximicen el uso de las oportunidades que surjan.

En las industrias productoras de alimentos, la seguridad en la inocuidad de sus productos es un requisito implícito para el cliente y las entidades reguladoras, esto es evidente y no es negociable a diferencia de otras características del producto. Los consumidores esperan alimentos seguros y la industria alimentaria tiene la responsabilidad de cumplir con esas expectativas.

La importancia de mantener parámetros estrictos que garanticen la calidad de los sistemas productivos y los alimentos manufacturados se vislumbra cada vez más, ya que se considera que las alteraciones en las condiciones de inocuidad de los alimentos es uno de los problemas de salud pública distribuidos a nivel mundial de forma muy amplia. Esto genera una reducción importante de la productividad económica (Miliotis, 2007).

Durante la última década, el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) ha surgido a nivel global como una herramienta preventiva y de control (Godfray et al. 2010), que asegura a los consumidores y los países socios comerciales que los procesos de manufactura y transformación de alimentos se desarrollen con medidas estrictas de higiene (Ropkins& Beck, 2000).

El análisis de riesgos se realiza a través de modelos cualitativos o cuantitativos que permiten evaluar la probabilidad y la severidad de un peligro determinado presente en los alimentos, junto con sus efectos y consecuencias para la salud de los consumidores (González, et al. 2010). Se denomina riesgo a la probabilidad de que un alimento cause efectos indebidos en la salud de los consumidores por la presencia en él de uno o varios peligros de tipo físico, químico o microbiológico (Balderrama & Gortáres, 2011).

La Granja Militar Agroindustrial Wajay, aplica un Sistema Integrado de Gestión Calidad e Inocuidad que garantiza productos de calidad e inocuos; para la evaluación, identificación y control de los peligros y riesgos el que incluye el procedimiento PRO-PE-01 sin embargo en el análisis realizado del mismo se encontraron posibles mejoras, entre ellas está que la gestión de los peligros de Inocuidad Alimentaria (IA) y los riesgos de la organización se ejecutan de forma independiente, siendo este una brecha que puede causar afectaciones en el desempeño de la organización y por consiguiente a las partes interesadas pertinentes.

De la situación anterior, se plantea que el problema a resolver con la presente investigación es ¿Cómo gestionar de forma integrada los peligros y riesgos en la Granja Militar Agroindustrial Wajay?

En el presente trabajo se proponen un conjunto de indicadores que permitirá evaluar la efectividad de la implementación del Plan de prevención y del Plan HACCP, así como, medir el desempeño de la entidad a través de la elevación de la calidad del producto.

## I. SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN

Para controlar los peligros y riesgos presentes en una entidad productora de alimentos, se diseñan el plan de prevención y el plan HACCP. La actividad de seguimiento y medición es la encargada de detectar si realmente los planes diseñados han permitido a la entidad obtener los resultados esperados. Para efectuar esto es necesario valorar un conjunto de indicadores. Los autores han propuesto algunos indicadores, los cuales no son exhaustivos y pueden ser mejorados una vez que sean aprobados y puestos en marcha en la entidad. A partir de la evaluación de los mismos se pueden proponer acciones de mejoras que eleven el desempeño de la Granja Militar Agroindustrial.

**Definición de indicadores**

En este acápite se exponen el conjunto de indicadores diseñados que en opinión de los autores garantizarán medir el impacto de la implementación del plan de prevención de riesgos y el plan HACCP de la Granja Militar Agroindustrial. En la Tabla 1 se muestran los indicadores propuestos, los cuales se deben incluir en el sistema de indicadores de la Granja Militar Agroindustrial para el control de gestión. La Granja Militar Agroindustrial pudiera analizar la incorporación, o no, de nuevos indicadores, así como la eliminación de alguno de los propuestos. La organización podrá, además, decidir los indicadores que sean de su interés, para ir desarrollando y verificando las mejoras en el progreso de la organización. Los mismos fueron definidos por los autores y han sido aprobados por el grupo de trabajo responsable de la presente investigación. Se definen un total de 17 indicadores.

| Indicador | Forma de cálculo | Periodicidad | Meta |
|---|---|---|---|
| Porcentaje de reclamo por inocuidad | (# Reclamos x inocuidad / # reclamos totales) * 100 | Semestral | Rango de 0-5% |
| Porcentaje de lotes reprocesados por inocuidad | (# lotes reprocesados x inocuidad/ # lotes totales producidos) * 100 | Semestral | Rango de 0-5% |
| Porcentaje de mermas por reprocesos | # lotes reprocesados x inocuidad/ # lotes totales por año | Semestral | Rango de 0-5% |
| Porcentajes de hisopaje conformes | (# hisopaje conformes / # hisopaje totales realizado) *100 | Semestral | 100% |
| Porcentaje de personas uniformados correctamente | (# uniformados correctamente/# total de trabajadores de la industria) *100 | Semestral | Rango de 95-100% |
| Porcentaje cumplimiento de visitas y observaciones a las instalaciones para su supervisión | (# de visitas y observaciones realizadas/# total de visitas y observaciones planificadas) *100 | Semestral | Rango de 95-100% |
| % de horas de capacitación relacionadas con la inocuidad | (# horas capacitación inocuidad/ # horas totales capacitación mes) * 100 | Semestral | Hasta 85% |
| Porciento de cumplimiento del programa de vigilancia epizootiológica | (# de inspecciones aceptadas / # de inspecciones realizadas) *100 | Semestral | Rango de 90-95% |
| Porciento de quejas y reclamaciones de clientes atendidas | (# de quejas y reclamaciones / # total de clientes atendidos en un período) * 100 | Semestral | Rango de 95-100% |
| Porciento de productos conforme con relación a la materia prima consumida | (kg de producto conforme / kg de materia prima consumida) *100 | Semestral | Rango de 90-95% |
| Porciento de producción defectuosa debido a violaciones de procedimiento | (# de lotes de productos defectuosos / # de lotes de productos defectuosos por violación de los procedimientos) *100 | Semestral | Rango de 0-5% |
| % de costos de no calidad sobre costos totales de calidad | (Costo de fallos internos + costo de fallo externo /costo total de calidad)*100 | Semestral | Menor que 40% |
| % de productos devueltos | (kg de productos devueltos / kg de productos vendidos) *100 | Semestral | Hasta el 7% |
| % de producción rechazada | (kg de productos rechazado/ kg de productos elaborados) * 100 | Semestral | Hasta el 7% |
| % cumplimiento del plan de riesgo | (Cantidad de acciones cumplidas / total de acciones declaradas) * 100 | Trimestral | 100% |
| % materia prima devuelta con respecto a la materia prima utilizada | (kg de materia prima devuelta/ kg de materia prima utilizada) *100 | Semestral | Hasta el 7% |
| % de acciones correctivas realizadas en tiempo | (# de acciones correctivas identificadas /# total de acciones correctivas cumplidas en tiempo) * 100 | Semestral | Rango de 95-100% |

Tabla 1. Indicadores propuestos para evaluar los riesgos

En la tabla 2 se muestran los indicadores y el proceso en que deben ser controlados.

| Indicador | Proceso |
|---|---|
| Porcentaje de reclamo por inocuidad | Inocuidad y calidad |
| Porcentaje de lotes reprocesados por inocuidad | |
| Porcentaje de mermas por reprocesos | |
| Porcentajes de hisopaje conformes | |
| Porcentaje de personas uniformados correctamente | |
| % materia prima devuelta con respecto a la materia prima utilizada | |
| Porcentaje cumplimiento de visitas y observaciones a las instalaciones para su supervisión | Infraestructura |
| Porciento de cumplimiento del programa de vigilancia epizootiológica | |
| % de horas de capacitación relacionadas con la inocuidad | Capital humano |
| Porciento de quejas y reclamaciones de clientes atendidas | Comercial |
| % de productos devueltos | |
| Porciento de productos conforme con relación a la materia prima consumida | Producción de productos cárnicos |
| Porciento de producción defectuosa debido a violaciones de procedimiento | |
| % de producción rechazada | |
| % de costos de no calidad sobre costos totales de calidad | Gestión económica financiera |
| % cumplimiento del plan de riesgo | Gestión de la dirección |
| % de acciones correctivas realizadas en tiempo | |

Tabla 2. Indicadores y procesos en que deben ser controlados

Expuestos los indicadores propuestos es necesario validar los mismos para determiner si realmente son efectivos En este se comparan los valores de los indicadores con los alcanzados en periodos anteriores con la meta definida para ellos, en la misma solamente se muestran los resultados de aquellos indicadores de los cuales se tiene información en el segundo semestre del 2023. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos sin realizar una comparación de los mismos dados que no existen los datos necesarios.

| Indicador | Forma de cálculo | Trimestre |
|---|---|---|
| Porcentaje de reclamo por inocuidad | (# Reclamos x inocuidad / # reclamos totales) * 100 | **0** |
| Porcentaje de lotes reprocesados por inocuidad | (# lotes reprocesados x inocuidad/ # lotes totales) *100 | **0** |
| Porcentaje de mermas por reprocesos | # lotes reprocesados x inocuidad/ # lotes totales por año | **0** |
| Porcentajes de hisopajes conformes | (# hisopajes conformes / # hisopajes totales) * 100 | **91.6** |
| Porcentaje de personas uniformados correctamente | (# uniformados correctamente/# total de trabajadores de la industria) *100 | **99.8** |
| % de horas de capacitación relacionadas con la inocuidad | (horas capacitación en inocuidad/ horas totales capacitación mes) *100 | **21.2** |
| Porciento de cumplimiento del programa de vigilancia epizootiológica | (# de inspecciones aceptadas / # de inspecciones realizadas) *100 | **93** |
| Porciento de materia prima consumida en la obtención de productos no conforme | (kg de materia prima consumida para la producción no conforme / kg total de materia prima consumida) *100 | **85.2** |
| Porciento de producción | (kg de productos defectuosos por | **100** |

| No | Indicadores | UM | Valor |
|---|---|---|---|
| defectuosa debido a violaciones de procedimiento del total de defectuosos | violación de los procedimientos /kg de productos defectuosos) *100 | | |
| Porciento de producción defectuosa debido a violaciones de procedimiento de la producción total | (kg de productos defectuosos por violación de los procedimientos /kg de producción total) *100 | | **0.5** |
| % de productos devueltos | (kg de productos devueltos / kg de productos vendidos) *100 | | **0.25** |
| % de producción rechazada | (kg de productos rechazado/ kg de productos elaborados) * 100 | | **0** |
| % cumplimiento del plan de riesgo | (Cantidad de acciones cumplidas / total de acciones declaradas) * 100 | | **100** |
| % materia prima devuelta al proveedor con respecto a la materia prima comprada | (kg de materia prima devuelta/ kg de materia prima comprada) *100 | | **0** |

Tabla 3. Resultados de los indicadores para el segundo semestre de 2023

En la table 4 se muestran los datos primarios que se utilizan para la obtención de los valores de los indicadores.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Reclamos por inocuidad | U | 0.00 |
| 2 | Reclamos totales | U | 0.00 |
| 3 | Número de lotes reprocesados por inocuidad | U | 0.00 |
| 4 | Número de lotes totales | U | 0.00 |
| 5 | Número de hisopaje conformes | U | 145 |
| 6 | Número de hisopaje totales | U | 146 |
| 7 | Total de trabajadores uniformados correctamente | U | 40 |
| 8 | Total de trabajadores del proceso productivo | U | 41 |
| 9 | Horas de capacitación en temas de inocuidad | Horas | 6 |
| 10 | Horas de capacitación Total | Horas | 8 |
| 11 | Número de inspecciones aceptadas | U | 9 |
| 12 | Número de inspecciones realizadas | U | 10 |
| 13 | Kg de materia prima consumida para la producción no conforme | Kg | 11186.0 |
| 14 | Kg total de materia prima consumida | Kg | 130500.0 |
| 15 | Kg de productos defectuosos por violación de procedimiento | Kg | 500 |
| 16 | Kg de productos defectuosos | Kg | 500 |
| 17 | Kg de producción total | Kg | 25000.0 |
| 18 | Kg de producción vendida | Kg | 100000.0 |
| 19 | Kg de productos rechazados | Kg | 0.0 |
| 20 | Cantidad de acciones cumplidas | U | 10 |
| 21 | Cantidad de acciones declaradas | U | 10 |
| 22 | Cantidad de materia prima devuelta | Kg | 0.0 |
| 23 | Cantidad de materia prima comprada | Kg | 156600.0 |

Tabla 4. Datos primarios para obtención de indicadores.

Los indicadores que obtengan un comportamiento peor que en evaluaciones anteriores muestran las áreas potenciales de mejora, para ello se propone la conformación de un plan de acción que redundará en el logro de mejores resultados. Para la validación del modelo propuesto se utiliza el primer trimestre del año actual.

Como se muestra en la tabla en el periodo analizado los indicadores muestran pocentajes aceptables, aunque existen 3 indicadores del (21.4%), lo que no es significativo según criterio del grupo de trabajo, para la Granja Militar Agroindustrial, por tanto se deberán trazar las acciones pertinente**s.**

## CONCLUSIONES

Se definen un conjunto de indicadores que permitirá evaluar paulatinamente los resultados del diseño del plan de prevención de riesgo y el plan HACCP, los cuales se podrán comparar con periodos anteriores y detectar áreas de mejoras.

La determinación de los indicadores para el Segundo trimestre de 2023 permitió detectar las brechas de mejora en la gestión de peligros y riesgos.

## Referencias bibliograficas

1. Abá Alfonso CF. (2013). Mejora al Modelo CMASCI para el diseño e implementación de un sistema integrado de gestión calidad, inocuidad, medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo y control interno en la GMA Menelao Mora [Tesis de Maestría, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverria", Cujae]. Disponible en: http://tesis.cujae.edu.cu:8080/handle/123456789/7040
2. Abá Alfonso CF y González González A. (2023). Impacto de la gestión integrada calidad e inocuidad en una organización agroindustrial. *Ingeniería Industrial*. ISSN 1815-5936. Vol. XLIV/No. 2/mayo-agosto /2023/4418. Disponible en: http://www.rii.cujae.edu.cu
3. Aguilar, K. et al. (2021). Uso de la Metodología HAZOP para el Análisis de Riesgo en Estaciones de Almacenamiento de Combustibles de Aviación. Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, Celaya, México.
4. Balderrama, A.P & Gortáres, P. (2011). El procedimiento de la evaluación cuantitativa de riesgos en la predicción de peligros biológicos. *CONCYTEG*, 519-525.
5. Barrera, A. et al. (2017).Diseño del Sistema de Gestión Integrado en la Empresa Oleohidráulica Cienfuegos. Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos, 255-266
6. CAC- *Codex Alimentarius Commission. Codex Alimentarius* (2020). General principles of food hygiene. CXC 1-1969. (Adopted in 1969. Amended in 1999. Revised in 1997, 2003, 2020. Editorial corrections in 2011). Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius
7. Chávez, S. (2018). El Concepto de Riesgo. *Recursos Naturales y Sociedad*, 32-52.
8. Díaz, B. (2020). Sistema de gestión de seguridad y HAZOP en una planta de producción de azúcar, trabajo para optar por el título de Master en Ingeniería Química. Escuela de ingenieros industriales, Universidad Politécnica de Madrid, España.
9. Escoriza, (2019). Aplicación de un procedimiento para la gestión de riesgos en procesos de la industria cárnica cubana. *I CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSRIAL*, (pág. 13). Cayos de Villa Clara.
10. FAO -Food and Agriculture Organization-. (2009). El sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control APPCC. Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos -Manual de capacitación-, FAO. 107-156 pp.
11. Fuentes, P. (2020). Análisis de riesgos en una instalación de suministro de combustible para embarcaciones en el puerto de valencia, trabajo para optar por el título de ingeniero en Tecnologías Industriales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Valencia, España.
12. Godfray, H. C. et al. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 812-818.
13. González, D. (2022). Propuesta de Integración de Riesgos e Inocuidad en una empresa productora de alimentos cárnicos. Aplicación en la Granja Militar Agroindustrial Wajay, trabajo para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverria".
14. ISO 9000 (2015). Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. ISO 9000: 2015, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
15. ISO 9001 (2015). Quality management systems. Requirements. ISO 9001: 2015, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
16. ISO 22 000 (2018). Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain.ISO 22000:2018, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
17. ISO 31 000 (2018). Risk management – Guidelines. ISO 31000: 2018, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org

18. ISO/IEC 31010 (2009). Risk management – Risk assessment techniques. ISO/IEC 31010:2009, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org

19. Miliotis, M. (2007). Role of microbial risk assessment in food safety. SAMJ, 1211-1214.

20. Ministerio de Justicia. (2011). Resolución No. 60/2011. Gaceta Oficial de La República de Cuba.

21. NC 136:2017 Sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC/HACCP). Requisitos. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 2017. Disponible en: https://www.ncnorma.cu/

22. ONN- Oficina Nacional de Normalización (2023). Empresas certificadas 2023. Datos nacionales. [Internet]. La Habana: ONN; 2023 [acceso:15/08/2023]. Disponible en: http://www.ncnorma.cu/index.php/servicios/certificacion

23. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2017). Manual de Buenas Prácticas de Manufactura para productos acuícolas y pesqueros. San Salvador.

24. Organización Panamericana de la Salud. (2020). Codex Alimentario.

25. Rincón Ballesteros DL (2021). Perspectivas empresariales sobre sistemas de gestión de seguridad alimentaria. [Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca]. Disponible en: https://gredos.usal.es/handle/10366/149398

26. Ropkins, K., & Beck, A. J. (2000). Evaluation of worldwide approaches to the use of HACCP to control food safety. Trends in Food Science & Technology, 10-21.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LOS COSTOS TOTALES DE LA CALIDAD Y EL SISTEMA CONTABLE DE LA EMPRESA. CASO GRANJA AGROINDUSTRIAL MILITAR "WAJAY".

**Orailys Fraga Hernández[1], Rosario Garza Rios[2]**

**[1]Granja Agroindustrial Militar Wajay**
[2]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae,
dirección[2]garzarios2015@gmail.com

**RESUMEN**

En la actualidad la producción de alimentos ha adquirido especial importancia dada la crisis económica derivada de la situación epidemiológica que ha atravesado el mundo por la COVID 19. Incluir en los sistemas contables de las empresas los costos totales de calidad es una actividad imprescindible para el buen desempeño de la organización.
En la entidad objeto de estudio existe un procedimiento para la determinación de los costos totales de calidad, sin embargo, no se calculan todos los costos que se necesitan, así como no se utilizan registros o documentos primarios que permitan una adecuada recopilación de los datos, por tanto, no son utilizados como instrumento de gestión para evaluar el impacto que estos pueden tener sobre los costos totales de producción.
En el presente trabajo se realiza un análisis de la incidencia de los costos totales de calidad en el sistema contable, así como se mejora el procedimiento existente de manera que garantice el cálculo, análisis y gestión de los mismos utilizándolo como herramienta para la adecuada toma de decisiones.

PALABRAS CLAVES: Costos totales de calidad, sistema contable, producción de alimentos.

# TOTAL QUALITY COSTS AND THE COMPANY'S ACCOUNTING SYSTEM.

**ABSTRACT**

**Currently, food production has acquired special importance given the economic crisis derived from the epidemiological situation that the world has gone through due to COVID 19. Including total quality costs in the accounting systems of companies is an essential activity for the good performance of the organization.**
**In the entity under study, there is a procedure for determining total quality costs, however, not all the costs that are needed are calculated, nor are primary records or documents used to allow adequate data collection, therefore they are not used as a management tool to evaluate the impact that these may have on total production costs.**
**In this work, an analysis of the incidence of total quality costs in the accounting system is carried out, as well as the existing procedure is improved in such a way that it guarantees the calculation, analysis and management of the same, using it as a tool for adequate decision-making.**

**KEY WORDS: Total quality costs, accounting system, food production.**

## INTRODUCCIÓN

El siglo XX marcó el comienzo de cambios bruscos en la panorámica económica internacional, siendo necesario un mejoramiento sostenido de las empresas que les permita ser cada vez más competitivas. Por tal motivo, la eficiencia en la gestión de la calidad ya no constituye un factor más, sino que se ha convertido en uno de los principales, y dentro de estos, uno de los temas más debatidos por los especialistas es lo concerniente a la gestión de los costos totales de calidad, por lo que constituyen una destreza gerencial para el logro de resultados económicos y financieros, satisfactorios y estables. Es por ello que no se puede hablar de gestión de la calidad si no se conoce cuánto cuestan los esfuerzos para implementarla, mantenerla y mejorarla (González et al, 2015), los costos totales relacionados con la calidad juegan un papel importante en el proceso de mejora continua, con énfasis en la reducción de los costos de fallas en el proceso (Castro & Pérez, 2017).

En la actualidad se hace necesario para las empresas introducirse en los mercados globalizados y considerar dentro de sus procesos la mejora en su calidad y productividad, las empresas deben ejecutar acciones tendentes a minimizar las causas de sus diversos problemas y deficiencias, por tanto los costos totales de calidad son una poderosa herramienta para el incremento de la competitividad de las empresas, pues permite satisfacer las necesidades de los clientes a través del incremento de la calidad de los productos y una utilización más eficiente de los recursos tecnológicos, humanos y financieros.

La medición de los costos totales de calidad se centra en la atención a los elementos que provocan grandes gastos, posibilita detectar donde se podría ayudar a reducir gastos, facilita medir el desempeño y constituye una base para la comparación interna entre productos, servicios, procesos, departamentos y externa con la competencia. Estos costos son un arma para las áreas de calidad y contabilidad, al asignar un costo a la calidad este debe ser administrado y controlado como cualquier otro costo. Al expresar la calidad en términos contables ofrece un medio muy poderoso de comunicación y control.

En el Artículo 625 del decreto 281 "Reglamento para la implantación y consolidación del sistema de dirección y gestión empresarial estatal" se establece que: las empresas deben implantar un sistema de costo total de calidad como parte integrante de su sistema de costo, con el fin de facilitar la toma de decisiones a los dirigentes de la empresa, sobre aquellos que tienen mayor impacto económico, a fin de que se actúe sobre ellos. A pesar de esto, el tema de los costos totales de calidad en el territorio nacional no está enraizado en la cultura empresarial y ha sido poco tratado. (Lim et al, 2015) plantean que la mayoría de las empresas de la industria alimentaria no reconocen el hecho de que se necesitan cambios en sus prácticas de gestión de procesos, por lo tanto, se ve como una industria conservadora con relación a la mejora de la calidad (Hubbard, 2003; Paiva, 2013).

La implementación de las normas ISO 9000:2015 Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario, ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos, e ISO 9004:2018 Gestión de la calidad — Calidad de una organización —Orientación para lograr el éxito sostenido, así como la emisión de la Resolución 60/11 de la Contraloría General de la República, sobre las Normas del Control Interno denotan la importancia que el estado cubano le ha dado a los temas relacionados con el control y la calidad.

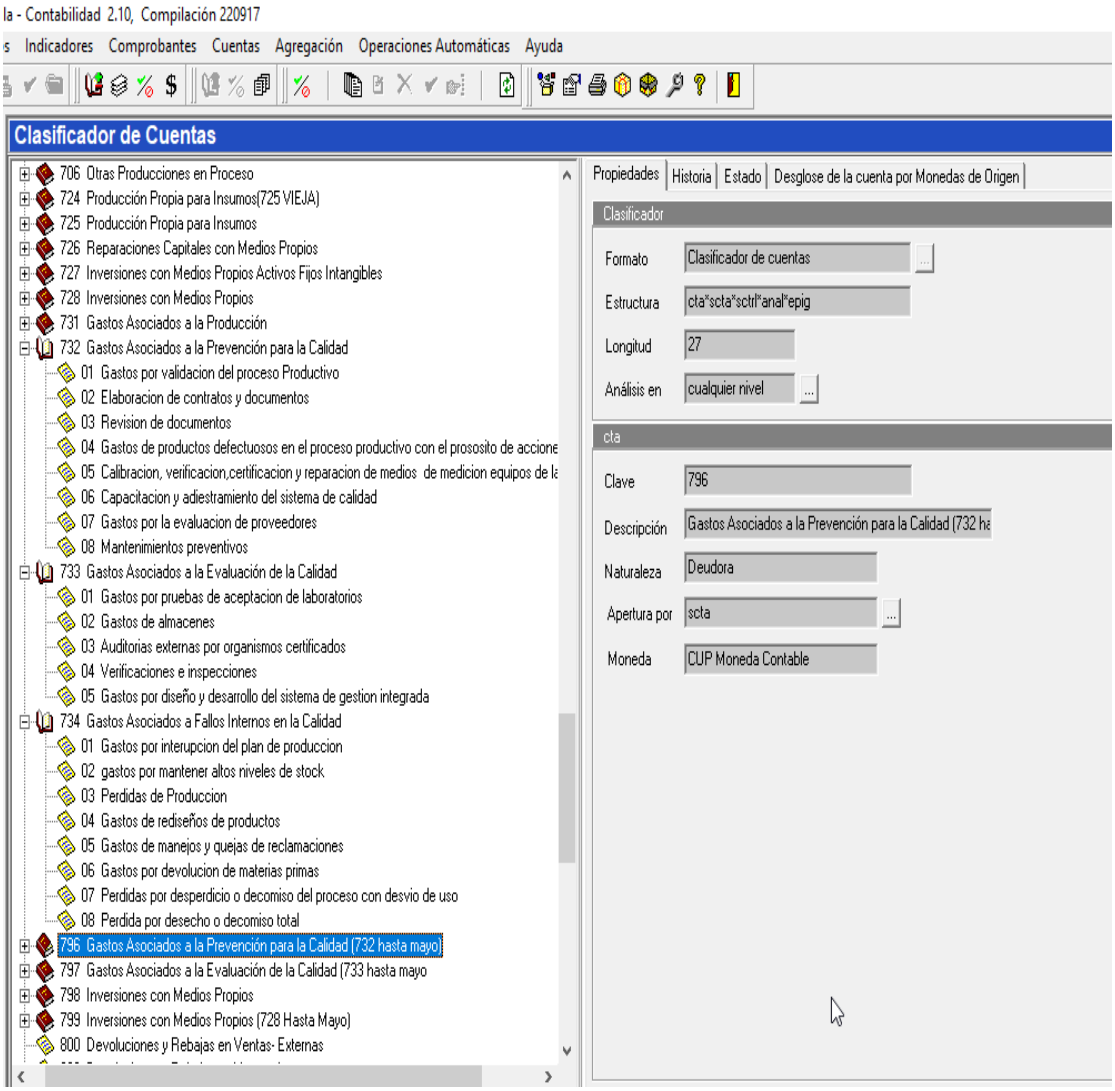
El control y la mejora de la calidad son dos componentes interconectados de gran impacto en la satisfacción del cliente en la industria alimentaria, según refiere (Lim et al, 2014). El continuo rechazo de productos terminados, la separación de productos y retiro de productos tienen serias implicaciones financieras, que ponen en riesgo la imagen de la empresa y la confianza pública. El cálculo de los costos totales de calidad debe ser un ejercicio de grupo. Los contadores garantizan a los técnicos y las personas de aseguramiento de la calidad, no conscientes con el verdadero significado o la dependencia relativa de ciertas cifras a los costos, obviar algunos costos ocultos. Sin embargo, como precisa, (Campanella, 1992), es aconsejable, recordar que los directivos de contabilidad continuamente reciben presiones para que proporcionen toda clase de costos. Para que el cálculo de los costos totales de calidad progrese, es necesario que los contables en las empresas estén plenamente convencidos de que se trata de una tarea útil.

Controlar los costos totales de calidad es un aspecto esencial para garantizar que cada día nuestras empresas sean más eficientes y competitivas alcanzando los niveles de utilidades deseados, las industrias de alimentos no se encuentran exentas de ello, es por esto que este trabajo centra su atención en la UEB "Wajay" la que tiene como objeto social la producción de cárnicos frescos y procesados, en la misma existe un procedimiento diseñado por la Unión Agropecuaria Militar para llevar a cabo el cálculo de los costos totales de calidad, sin embargo, no se calculan todos los costos que se necesitan, así como no se

utilizan registros o documentos primarios que permitan una adecuada recopilación de los datos, por tanto no son utilizados como instrumento de gestión para evaluar el impacto que estos pueden tener sobre los costos totales. Por lo que se define como problema a resolver con la presente investigación ¿Cómo ayudar a la UEB "Wajay" a implementar los costos totales de calidad? Es por esto, que en la presente investigación se analiza el Sistema contable instalado en la entidad y se proponen acciones de mejora para poder controlar los costos totales de calidad definidos.

## ANÁLSIS Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA CONTABLE DE LA ENTIDAD.

En la entidad objeto de estudio se utiliza el sistema automatizado contable Versat Sarasola para controlar la actividad económica y financiera. Actualmente dentro de su clasificador de cuentas incluye las siguientes cuentas relacionadas con la calidad: 732, 733 y 734 las que refieren gastos asociados a la prevención, evaluación y fallos respectivamente. Sin embargo, no considera en sus subcuentas el 100% de los costos totales de calidad propuestos mediante los cuales se deben gestionar los costos totales de calidad de la UEB. Las autoras han incorporado, considerando la opinión y aprobación de la empresa a la que se encuentra subordinada, las subcuentas correspondientes a los costos totales de calidad que se pretenden evaluar con este trabajo. A continuación, en la figura 1 se muestra como quedan las subcuentas incorporadas a las cuentas 732, 733 y 734.



Para determinar los saldos asociados a los costos totales de calidad es necesario, con la información recibida a través de los modelos primarios elaborar los comprobantes de operaciones correspondientes a cada costo total de calidad, en el proceso de gestión económica financiera, lo cual se realizará al cierre de cada mes.

En la figura 2, 3 y 4 se observa las diversas pantallas de captación de datos necesarias para determinar el Gastos por la elaboración de contratos y documentos básicos definido como un costo de prevención.

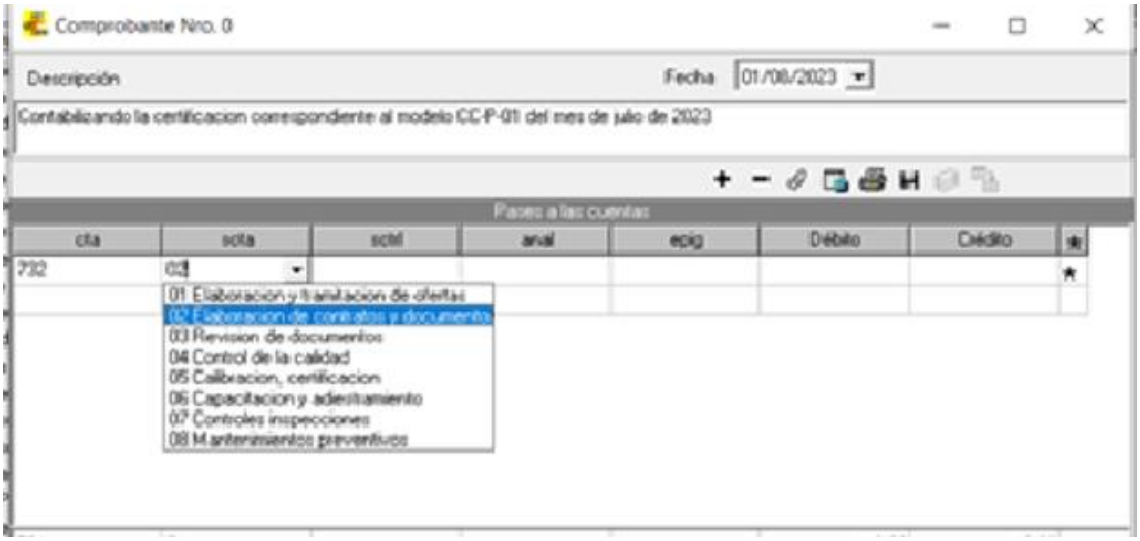


Fig 2. Captación del comprobante de operación

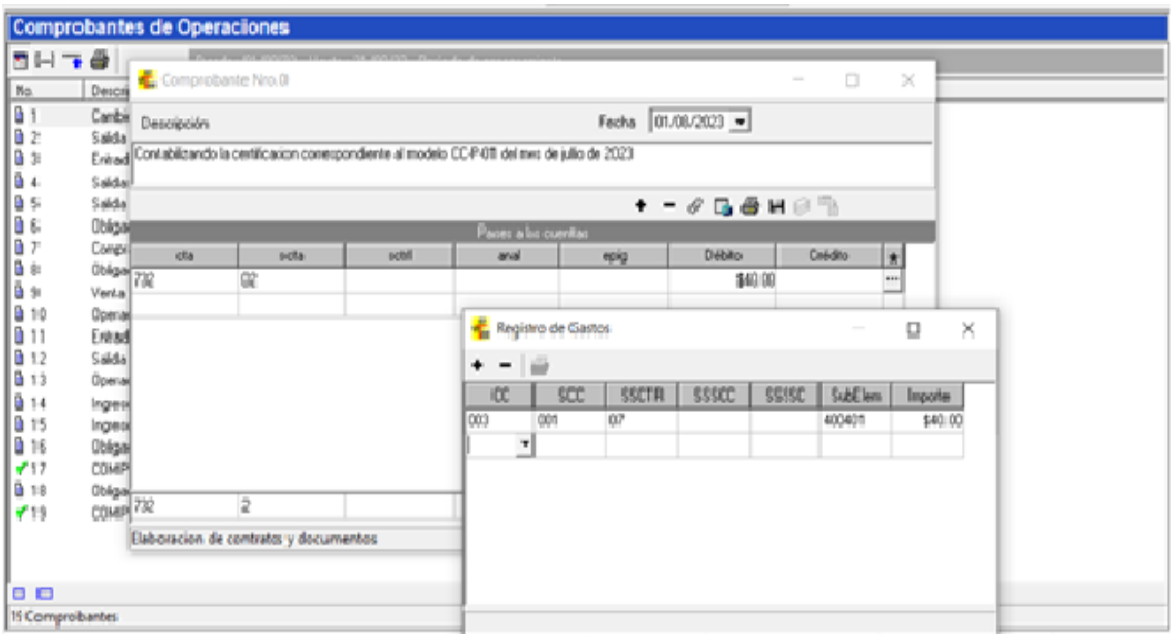


Fig 3. Actualización del centro de costo asociado

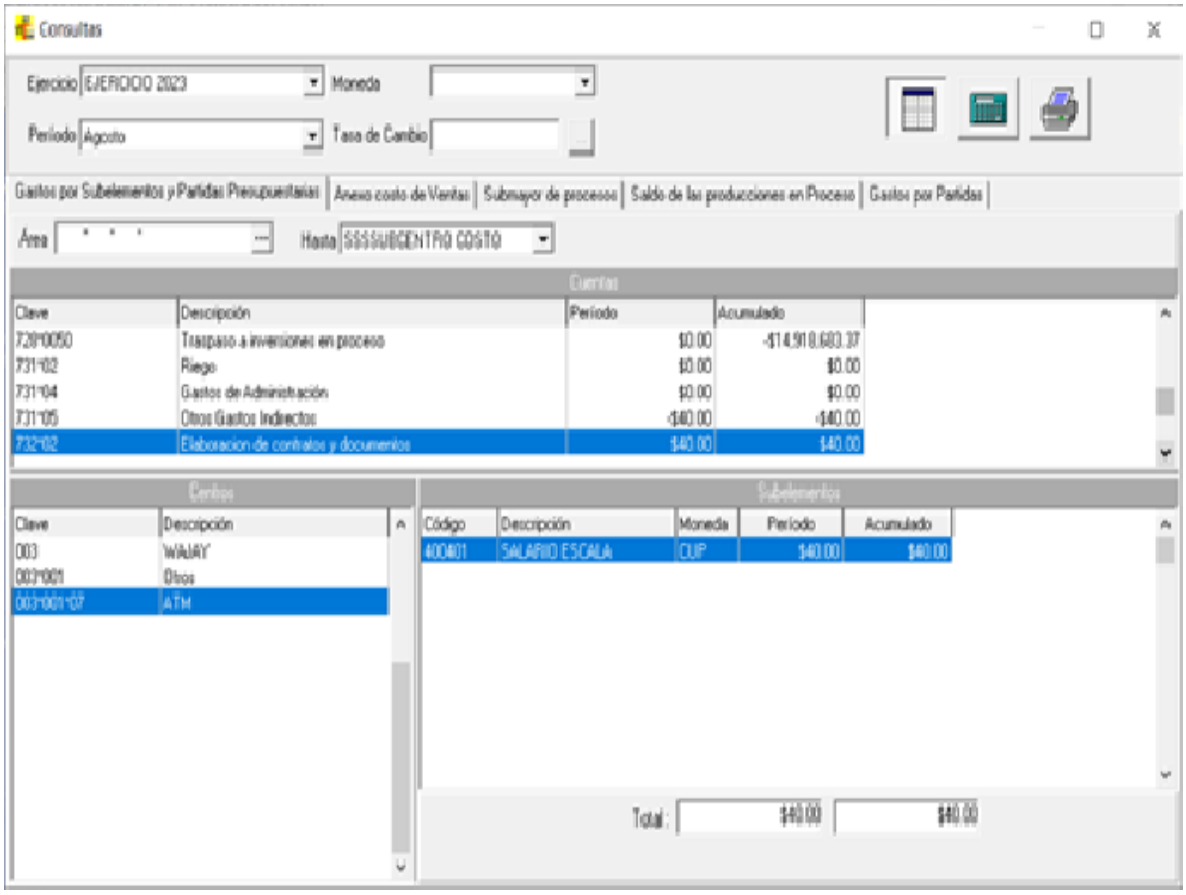


Fig 4. Reporte de saldo a nivel de centro de costo

En figura 2 se muestra el ajuste contable de costo por el comprobante de operaciones realizado en el módulo de contabilidad, en figura 3 se puede observar el ajuste del centro de costo asociado y en la figura 4 se obtiene el reporte de los saldos de las cuentas y los centros de costos relacionados con el costo de prevención referido anteriormente.
La modificación fundamental realizada al sistema Versat Sarasola es la incorporación de las subcuentas al clasificador de cuentas relacionadas con los costos totales de calidad que se proponen evaluar el procedimiento para la obtención de dichos costos se corresponde con los requerimientos del sistema automatizado para la gestión económica financiera de la entidad.

## Conclusiones.

Como resultados de la presente investigación se obtienen como principales conclusiones, las siguientes:

Se diseñan un total de 22 modelos o formatos de recogida de información que permitirán obtener el dato primario para el cálculo de los costos asociados a los costos de evaluación, prevención, fallos internos y fallos externos.

Se modifica el clasificador de cuentas de la UEB hasta donde permite la facultad de la empresa, con las subcuentas necesarias en el sistema contable automatizado de manera tal que se muestren en los reportes del mismo los valores relacionados con los costos totales de calidad, los costos por fallos externo serán controlados extra libros.

**Referencias bibliográficas**

1. Anaya, M. (2023). Revista cubana de Administración Pública y Empresarial. Vol.7 Núm.3. Disponible en https://doi.org/10.5281/zenodo10446153.
2. Barrios, S. (2013). Costos de calidad y costos de no calidad. Una decisión de mercado. Revista Técnica Administrativa, 12.
3. Berni, L., et all (2018). Procedimiento para determinar los costos de calidad por fallas en procesos empresariales. Revista Espacios vol 39 no 42 .
4. Cruz,M. (2015). Costos Totales de la Calidad en la Empresa Constructora de Obras de Arquitectura e IndustrialesLas Tunas, trabajo para optar por el titulo de master en Calidad Total, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
5. Cuatrecasas, LL (2010): Gestión integral de la calidad. Implantación, control y certificación. Ediciones gestión 2000, S.A., Barcelona.
6. Gómez, B. et al. (2019). Procedimiento para implementación del sistema de costos de la calidad en empresa cárnica cubana. Revista ECA Sinergia, vol. 10, núm. 3.
7. Gómez, R. (2010). Los índices de costos de calidad, una herramienta estratégica para el éxito de los proyectos. disponible en: http://www.liderdeproyecto.com/articulos/administracion_de_proyectos.
8. González, Gordillo, A. (2022). Determinación de los Costos Totales de Calidad en la Granja Militar Agroindustrial Wajay, trabajo para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría", Cujae, La Habana, Cuba.
9. González, L.L. (2017). Determinación para la gestión integral de los costos de la calidad. Aplicación en la empresa comercializadora y distribuidora de medicamentos Trabajo para optar por el título de doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Holguín.
10. ISO 10014 (2021).Quality management systems. Managing an organization for quality results. Guidance for realizing financial and economic benefits. ISO 10014:2021, European Committee for Standardization, Brussels. Available in: http://www.iso.org
11. Juran, J and De Feo, J (2021): . The complete guide to performance excellence. 7ma edición, editorial McGraw Hill Education.
12. Kenton, Will (2023). Costeo por actividades (ABC): Método y ventajas definidas con un ejemplo. Investopedia. Consultado en: https://www.investopedia.com/terms/a/abc.asp.
13. Robledo, A. (2014). Diseño e implementación de un procedimiento para calcular y evaluar los costos de calidad en la Central Termoeléctrica del Este de la Habana, trabajo para optar por el título de Master en Calidad Total. Universidad Tecnológica de La Habana Jose Antonio Echeverría.

.

# SISTEMA DE INDICADORES PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA BORIS LUIS SANTA COLOMA

**(Cira Lidia Isaac Godínez)[1] (Annia García Pereira)[2] (Darian Samá Muñoz)[3]**

[1.2.3] Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". km 23 ½ de la Autopista nacional. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba
[1]e-mail: *ciralidiai@gmail.com*
[2]e-mail: *annia@unah.edu.cu*
[3]e-mail: *dsama1991@gmail.com*

**RESUMEN**

La Responsabilidad Social Empresarial ha adquirido cada vez más mayor preponderancia, influenciada por la globalización, el desarrollo de la conciencia ecológica, mayores exigencias de las partes interesadas y las nuevas tecnologías, por lo que la organización no puede limitarse a la responsabilidad única de ofrecer bienes y servicios, sino que debe incrementar sus objetivos incorporando aspectos del entorno natural y social con el que se relaciona. En la cadena de producción del Ron Havana Club, las mieles constituyen una materia prima esencial. Estas son suministradas por la Empresa Agroindustrial Azucarera "Boris Luis Santa Coloma. Como parte del proceso para comercializar el ron, se incluye la evaluación del cumplimiento de prácticas de responsabilidad social por organismos internacionales. Se aplicó una auditoría donde se detectaron una serie de deficiencias relacionadas el Código de Conducta "Business Social Compliance Initiative", que comprometen la obtención de la certificación de la marca de Ron Havana Club y su exportación. Este trabajo tiene como objetivo establecer indicadores para evaluar el desempeño de las prácticas de Responsabilidad Social Empresarial de la empresa Boris Luis Santa Coloma, alineados a; los Objetivos de Desarrollo Sostenible, políticas públicas, principios y variables de Responsabilidad Social, las normas ISO para los sistemas de gestión y otros requisitos legales y reglamentarios. La evaluación del desempeño, puede considerarse una herramienta de gestión interna diseñada para proporcionar continuamente a las partes interesadas, información fiable y verificable del cumpliendo con los criterios establecidos en cuanto a responsabilidad social.

**Palabras claves**: Responsabilidad Social, evaluación del desempeño, indicadores, Agroindustria Azucarera.

# INDICADOR SISTEM TO EVALUATE THE SOCIAL RESPONSAILITY PERFORMANCE OF THE SUGAR AGROIDUSTRIAL COMPANY BORIS LUIS SANTA COLOMA

**ABSTRACT**

Corporate Social Responsibility has acquired increasing preponderance, influenced by globalization, the development of ecological awareness, greater demands of stakeholders and new technologies, so the organization cannot be limited to the sole responsibility of offering goods and services, but must increase its objectives by incorporating aspects of the natural and social environment with which it relates. In the production chain of Havana Club Rum, honeys are an essential raw material. These are supplied by the Sugar Agroindustrial Company "Boris Luis Santa Coloma. As part of the process to market rum, the evaluation of compliance with social responsibility practices by international organizations is included. An audit was applied where a series of deficiencies related to the Code of Conduct "Business Social Compliance Initiative" were detected, which compromise the obtaining of the certification of the Havana Club Rum brand and its export. This work aims to establish indicators to evaluate the performance of the Corporate Social Responsibility practices of the company Boris Luis Santa Coloma, aligned with; the Sustainable Development Goals, public policies, principles and variables of Social Responsibility, ISO standards for management systems and other legal and regulatory requirements. Performance evaluation can be considered an internal management tool designed to continuously provide stakeholders with

reliable and verifiable information on compliance with the established criteria in terms of social responsibility.

**Keywords:** Social Responsibility, Performance Evaluation, Indicators, Sugar Agroindustry

## 1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera es la más antigua y arraigada en la tradición productiva en Cuba. Los lineamientos establecen para la agroindustria azucarera como sector estratégico, continuar incrementando la eficiencia agrícola e industrial, aumentar la producción de caña y de azúcar, diversificar las producciones, teniendo en cuenta las exigencias del mercado internacional y nacional y avanzar en la creación, recuperación y explotación de las plantas de derivados, priorizando las destinadas a la obtención de alcohol, alimento animal y los bioproductos.

Un reto importante es ubicar los productos cubanos en el mercado internacional, lo que conlleva sin duda a aplicar estándares y normas internacionales que avalen su calidad, no únicamente las producciones en sí, sino también, que la empresa cumpla con un código de ética de Responsabilidad Social Empresarial (RSE).

La Responsabilidad Social (RS) se define como la responsabilidad de una organización ante los impactos que sus decisiones y actividades ocasionan en la sociedad y en el medio ambiente, mediante un comportamiento ético y transparente que contribuya al desarrollo sostenible, incluyendo la salud y el bienestar de la sociedad [1]. La misma tiene como objetivos:

- Asistir a las organizaciones a establecer, implementar, mantener y mejorar los marcos o estructuras de RS.
- Apoyar a las organizaciones a demostrar su RS mediante el cumplimiento de compromisos de todas las partes interesadas.
- Promover y potenciar una máxima transparencia y respeto a condiciones relacionadas a leyes, costumbres y cultura, ambiente psicológico y económico.

La RSE es un concepto que se ha transformado y se ha ampliado, al requerir de un impacto positivo en escenarios como lo social, económico, ambiental, legal, laboral y cultural, para que las organizaciones consideren la RSE como un medio y un fin y a la vez lograr ser competitivos en un mundo globalizado como lo es el actual. El concepto comienza a aparecer como un elemento estratégico organizacional, debido a que algunos empresarios tienen una conciencia de responsabilidad frente a los impactos que puede llegar a tener la organización con la sociedad, el medio ambiente o el impacto económico de la misma y por otro lado, las empresas en su afán de ser cada vez más competitivas y adoptar estrategias con las que se logren posicionar dentro del mercado, tratan de desarrollar planes de RS.

Es por ello, que desde hace ya varios años han venido apareciendo en el mundo empresarial, entre otros mecanismos, un considerable número de normas técnicas, certificaciones, informes, memorias, para implementar y divulgar programas de RSE. Como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Instituto Ethos de Responsabilidad Social, el European Bahái Business Forum, el Business in the Community, la International Organizationfor Standardization (ISO), la Business Social Compliance Initiative (BSCI)[1].

El Código de conducta BSCI [2], define los valores y principios para una práctica empresarial responsable en la cadena de suministro (de la materia prima al producto final) y certifica la calidad de los procesos productivos pero enfocados en el hombre y el medio ambiente.

La RSE en Cuba ha pasado por diferentes etapas, cuya periodización está basada en la en la evolución de la estructura empresarial y su interacción con los actores sociales [3]. Hoy el cumplimiento de la RSE

[1]Código BSCI por sus siglas en inglés. Es un Código que recoge una iniciativa privada, no gubernamental y sin ánimo de lucro a nivel europeo que tiene como objetivo mejorar las condiciones laborales en la cadena de suministro global. Esta iniciativa fue creada en 2003 por la Asociación de Comercio Exterior (FTA) para ofrecer a las empresas un código de conducta común y un sistema integrado para implementar la responsabilidad social en la cadena de suministro. Esta iniciativa es impulsada por empresas y dirigida a empresas comprometidas con la mejora de las condiciones de trabajo en las fábricas y fincas de todo el mundo.

resulta un requisito indispensable de acceso a algunos mercados que lo han definido como un requisito de obligatorio cumplimiento. Para Cuba que trata de insertarse en el mercado internacional resulta indispensable considerar y perfeccionar cada día más el cumplimiento de las prácticas de la RSE. En tal sentido, la producción de alcohol y mieles, como materias primas de la industria del ron en Cuba, deben ser certificadas. De ahí que se haya tomado como punto de partida la aplicación de determinados protocolos de auditoría social que se exigen a las empresas en todo el mundo.

En la cadena de producción del Ron Havana Club, las mieles constituyen una materia prima esencial. Estas son suministradas por la Empresa Agroindustrial Azucarera "Boris Luis Santa Coloma. Como parte del proceso para comercializar el ron, se incluye la evaluación del cumplimiento de prácticas de responsabilidad social por organismos internacionales. Se aplicó una auditoría donde se detectaron una serie de deficiencias relacionadas el Código de Conducta "Business Social Compliance Initiative", que comprometen la obtención de la certificación de la marca de Ron Havana Club y su exportación.

El Código BCSI y otras organizaciones de reconocimiento mundial como el *Global Reporting Initiative* (GRI), *Eco-Management and Audit Scheme*, ó Reglamento Comunitario de gestión y auditoría medioambiental (EMAS), Instituto Ethos de empresas de responsabilidad social (Ethos) entre otras, hacen propuestas de indicadores importantes para la responsabilidad social, sin embargo, no existe alineación entre los indicadores que avalúan y los indicadores establecidos para evaluar la gestión eficaz y eficiente de los procesos organizacionales.

Este trabajo tiene como objetivo establecer un conjunto de indicadores para evaluar el desempeño de las prácticas de Responsabilidad Social Empresarial de la EAA Boris Luis Santa Coloma, alineados a los ODS, políticas públicas, variables y principios de la RS, normas ISO para los sistemas de gestión y otros requisitos legales y reglamentarios. El mismo se enmarca dentro de una de las tareas, del proyecto de investigación empresarial. "Metodología para la evaluación del cumplimiento de las prácticas de responsabilidad social empresarial en UEB productoras de azúcar y derivados".

Como resultado del trabajo se destaca la estructuración de un conjunto de indicadores para evaluar el desempeño de la RS en empresas agroindustriales a partir de la implementación de sus prácticas en los procesos. Con la propuesta que aquí se realiza se busca que las EAA productoras de azúcar y sus derivados puedan familiarizarse con este tema y que a través de los indicadores propuestos puedan realmente adoptar estrategias, tomar decisiones y realizar acciones que impliquen un verdadero compromiso con la RSE.

Además, lograr la certificación de las normas BSCI en la EAA "Boris Luis Santa Coloma" es un valor agregado a esta empresa porque mejora su imagen, incide positivamente en su productividad, competitividad y credibilidad en el mercado internacional. Esto favorece la mejora en el acceso a financiamientos porque refuerza la confianza de inversores reales y potenciales.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación, para la planificación del desempeño en cuanto a la RS en base a indicadores y su posterior evaluación, se basa en:

- ✓ Método histórico lógico, para analizar el desarrollo de la RS, concluyendo que existe una ampliación del concepto de Responsabilidad Social de un enfoque tridimensional (Social, Económico y ambiental) a multidimensional (social, económico, ambiental, legal, laboral y cultural), para que las organizaciones consideren la RSE como un medio y un fin y a la vez lograr ser competitivos en un mundo globalizado como lo es el actual.
- ✓ Análisis documental de los resultados de la auditoría realizada a la EAA Boris Luis Santa Coloma por BCSI AMFORI.
- ✓ Modelo para evaluar el desempeño ambiental establecido en la NC ISO 14031:2019 [4].
- ✓ Método de análisis- síntesis de objetivos e indicadores establecidas en política públicas globales como la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como paradigma de desarrollo y herramienta de planificación y seguimiento para los países, hacia un desarrollo sostenido, inclusivo y en armonía con el medio ambiente, a través de políticas públicas Donde se establecen 17 ODS, 169 metas y 304 indicadores [5].

  Con respecto a los ODS, los indicadores que se diseñaran han de tributar fundamentalmente al cumplimiento de los objetivos siguientes:

2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible, y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsable
15. Vida de ecosistemas terrestres
17 Fortalecer alianzas para lograr los objetivos

- ✓ Método de análisis- síntesis de política públicas nacionales como son los Lineamientos de la Política Económica y Social [6], la conceptualización del Modelo Económico y Social y la Estrategia Ambiental Nacional [7].

  La Estrategia de desarrollo hasta el 2030 de la empresa se sustenta en los principios del Modelo Económico Social de desarrollo Socialista, a partir de las transformaciones surgidas en el sector azucarero para consolidar el papel de la propiedad socialista, reconocer las diferentes formas de gestión , descentralizar facultades al municipio, elevar el nivel de calidad de vida, consolidar el papel de la universidad e impulsar la ciencia, la tecnología y la innovación para incrementar eficiencia, eficacia y productividad.

  Además, en los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, fundamentalmente los específicos del sector:
  - **Lineamiento 129**. Recuperar la producción cañera, incrementar los rendimientos agrícolas, eliminar el área vacía, crecer en áreas de riego y drenaje eficiente, en la introducción de la biotecnología y la agricultura de precisión. Fortalecer, diversificar y desarrollar la base productiva, el mejoramiento de su gestión económica favoreciendo el medio rural.
  - **Lineamiento 130**. Modernizar la maquinaria agroindustrial, perfeccionar la preparación, organización y aseguramiento integral de la zafra, elevando el aprovechamiento de la norma potencial, la eficiencia y la calidad de la producción de azúcar, energía eléctrica, alimento animal, bioproductos y otros derivados, favoreciendo el encadenamiento con la industria nacional, las entidades de ciencia y concretando el impacto de la inversión extranjera en las exportaciones.

- ✓ Despliegue de políticas públicas globales a sectoriales y empresariales como se representa en lafigura 1, para integrar la conducta empresarial responsable en las políticas y los sistemas de gestión.




Figura 1. Despliegue de políticas públicas. Fuente: Elaboración de los autores

- ✓ Análisis de los requisitos legales y reglamentarios aplicables para minimizar barreras comerciales y mejorar el desempeño organizacional de la responsabilidad social, establecidos en:

    - ISO 26000: 2010 Guía sobre Responsabilidad Social. Establece un modelo de RS, sobre la base de siete principios y siete variables de responsabilidad social a las cuales tienen que tributar los indicadores que se definan. Estas variables son las siguientes:
        1. Gobernaba de la organización.
        2. Derechos humanos.
        3. Prácticas Laborales.
        4. Medioambiente,
        5. Prácticas justas de operación.
        6. Asuntos de consumidores
        7. Participación activa y desarrollo de la comunidad.
    - NC ISO 9000:2015. Sistemas de Gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario [8]. Se toma como base los principios de gestión de la calidad, en particular el enfoque a procesos, ya que se alcanzan resultados coherentes y previsibles de manera más eficaz y eficiente cuando las actividades se entienden y gestionan como procesos interrelacionados que funcionan como un sistema coherente.
    - NC ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos [9]. Proporciona un marco de referencia para la adopción de un sistema de gestión de la calidad como decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible.
    - NC ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso [10]. Proporciona un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.
    - NC ISO 45001: 2018 Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos con orientación para su uso [11].
    - NC ISO 9004:2018. Gestión de la Calidad ─ Calidad de una organización ─ Orientación para lograr el éxito sostenido [12]. . Este documento trata la mejora sistemática del desempeño global de la organización y enfatiza que la calidad de una organización se mejora y se puede lograr el éxito sostenido al satisfacer sistemáticamente las necesidades y expectativas de sus partes interesadas a largo plazo. Como ejemplo de esas necesidades enfatiza en la responsabilidad social.

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores, el grupo de investigadores decidió que entre los criterios para basar la selección de los indicadores se debe considerar, la relación con:

- El cumplimiento de los ODS.
- Los principios y variables de RS establecidos en la ISO 26000:2010.
- Los principios del código de Conducta BCSI.
- El cumplimiento de los objetivos estratégicos de la institución y Los requisitos establecidos en los modelos normativos para los sistemas de gestión implantados en la misma.
- La posibilidad de generar controles oportunos que permitan prevenir la ocurrencia de riesgos
- La disponibilidad informativa en el manejo de los mismos.
- Otros requisitos legales y reglamentarios.

## 3. RESULTADOS

Para cada variable de RS, se definieron un conjunto de indicadores globales y la relación de estos con los ODS, requisito legal o reglamentario, necesidad o expectativa de las Partes Interesadas. Algunos de ellos se visualizan en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 siguientes.

La base de la evaluación y seguimiento de los indicadores se encuentra en los procesos relacionados. Por lo que se identifica la relación de cada indicador con el proceso correspondiente, estableciendo las fuentes de recopilación de información, desarrollando los formatos adecuados para el registro de la información, las responsabilidades y fechas correspondientes en cada caso, así como en lo relacionado el análisis de causas y posibles acciones de mejora a tener en cuenta.

**Tabla 1. Indicadores asociados a la variable de RS: Gobernanza de la Organización (Dirección)**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 17 Fortalecer Alianzas para lograr los objetivos | ISO 9004:2018 | Éxito sostenido organizacional<br>Mejora del desempeño organizacional<br>Calidad de la organización | Identificación de las partes interesadas y determinación de sus necesidades y expectativas |
| | | | Evaluación de la satisfacción de las partes interesadas |
| | | | Determinación de los riesgos y oportunidades a partir de la comprensión del contexto |
| | | | Definición y comunicación de la identidad de la organización (la misión, la visión, valores y cultura de la organización,) |
| | | | Nivel de calidad directiva |
| | | | Determinación de los procesos pertinentes y sus interrelaciones |
| | | | Gestión de los recursos para que sus procesos logren los resultados |
| | | | Evaluación y seguimiento del desempeño de los procesos. |
| | | | Está establecido un proceso para la mejora, el aprendizaje y la innovación |

**Tabla 2. Indicadores asociados a la variable Derechos Humanos.**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 5. Igualdad de género<br>10. Reducción de las desigualdades<br>8. trabajo decente y crecimiento económico | Código de Trabajo. Ley No. 16, primer capítulo, artículo 2, que guarda una estrecha relación con las áreas de actuación que determina el Manual de Sistema de la BSCI. | Equidad, empleo, igualdad de género, educación | Proporción de mujeres en cargos directivos |
| | | | Proporción de mujeres trabajadoras que han sufrido violencia física o sicológica |
| | | | Trabajo Infantil en la Cadena Productiva |
| | | | Trabajo Forzado en la Cadena Productiva |
| | | | % de trabajadores que declaran haberse sentido víctima de discriminación |
| | | | Proporción de trabajadores que viven por debajo del 50% de la mediana de los ingresos, desglosada por grupo de edad, sexo y personas con discapacidad |
| | | | Proporción de trabajadores por sexo con acceso a internet u otra red móvil. |
| | | | Ingreso medio por hora de mujeres y hombres empleados, por ocupación, grupo de edad y personas con discapacidad |
| | | | Cumplimiento del Código del trabajo |
| | | | Igualdad de oportunidades para la contratación (No discriminación por edad, sexo, raza, orientación sexual, discapacidad). |
| | | | Igualdad de oportunidades para todos los trabajadores (estimulación, superación, capacitación, otorgamiento de plazas, ocupar puestos de dirección) |
| | | | Política igualitaria de estimulación y/o distribución de utilidades |
| | | | Existe convenio colectivo de trabajo, es comunicado y de conocimiento por todos. |

**Tabla 3. Indicadores asociados a la variable Prácticas Laborales**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 3. Salud y bienestar<br>4. Educación de calidad | NC ISO 45001:2018 | Infraestructura y ambiente de trabajo Condiciones de trabajo Seguridad y salud del trabajo Contratación de la fuerza de trabajo Motivación y Formación de la fuerza de trabajo | Impacto de la infraestructura |
| | | | Condiciones físicas del puesto de trabajo (calor, humedad, iluminación, ventilación, higiene, limpieza y el ruido) |
| | | | Proporción de puestos de trabajo y equipos diseñados ergonómicamente |
| | | | La entidad cuenta con servicios de (agua, transporte alimentación, sanitarios, iluminación, recreación) trabajadores para los trabajadores. |
| | | | Cumplimiento de los métodos de trabajo |
| | | | Implantación de la NC ISO 45001:2018 |
| | | | Establecimiento de reglas y orientación de seguridad y salud, así como cumplimiento del uso de equipos de protección |
| | | | Servicios de salud existente para los trabajadores y brigadas de primeros auxilios |
| | | | Crecimiento personal, el aprendizaje, la transferencia de conocimientos y el trabajo en equipo; |
| | | | Competencia de las personas |
| | | | Proporción de trabajadores con consumo de tabaco, alcohol u otras sustancias nocivas. |
| | | | Proporción de trabajadores con enfermedades transmisibles u otras no transmisibles |
| | | | Tasa de mortalidad o morbilidad atribuibles por accidentes laborales o contaminación del ambiente de trabajo |
| | | | Proporción de chequeos médicos de los trabajadores actualizados según frecuencia establecida |
| | | | Atención a los trabajadores de baja por incapacidad laborar o accidente. |

**Tabla 4. Indicadores asociados a la variable Medioambiente**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 12. producción y consumo responsable<br>15. Vida de ecosistemas terrestres<br>13. Acción por el clima<br>7. energía asequible, y no contaminante<br>6. agua limpia y saneamiento | Estrategia Ambiental Nacional<br>Ley 81 de medioambiente<br>NC ISO 14001:2015<br>NC ISO 14031<br>Resoluciones ambientales<br>NC ISO 50001: 2015 | Bajo impacto ambiental ecoeficiencia | Diseño e implantación de un SGA por el modelo ISO 14001:2015 |
| | | | Procedimiento para la gestión de los aspectos ambientales |
| | | | Proyectos para reducir los impactos ambientales significativos |
| | | | Programa de sensibilización y capacitación ambiental a trabajadores |
| | | | Estrategia para el enfrentamiento al cambio climático y cumplimiento de la tarea Vida |
| | | | Control de residuos de la producción |
| | | | Control y tratamiento de aguas residuales |
| | | | Plan para la reducción de gastos energéticos y empleo de energía renovable |

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| | | | Consumo indirecto de energía desglosado por fuentes primarias. |
| | | | Plan para la reducción de gastos energéticos y empleo de energía renovable |
| | | | Ahorro de energía debido a la conservación y a mejoras en la eficiencia. |
| | | | Aporte al sistema electro energético nacional |
| | | | Uso y consumo del agua |
| | | | Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada. |
| | | | Políticas para el uso sostenible y la conservación de los suelos |
| | | | Control de emisiones a la atmosfera |
| | | | Emisiones totales, directas e indirectas, de gases de efecto invernadero, en peso. |
| | | | Evaluación energética de la planta |
| | | | Iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones logradas. |
| | | | Emisiones de sustancias destructoras de la capa ozono, en peso. |

**Tabla 5. Indicadores asociados a la variable Prácticas de Operación**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 12. producción y consumo responsable<br>9. Industria, innovación e infraestructura<br>2.Hambre cero | Estrategia Ambiental Nacional<br>Estrategias sectoriales de AZCUBA<br>Lineamientos ISO 56002:2019 | Producción sostenible | % de la producción en el bienestar de los trabajadores (autoconsumo-alimentos) |
| | | | Cumplimiento del plan o volumen de producción de azúcar crudo y derivados |
| | | | Productividad agrícola sostenible |
| | | | Contribuciones a la exportación de productos |
| | | | Porcentaje de contribución de la industria a las cadenas de valor de la caña de azúcar y sus derivados |
| | | | Proporción de cumplimiento de las prácticas de producción y consumo sostenible |
| | | | Gastos en investigación y desarrollo como contribución a la mejora de la capacidad tecnológica |
| | | | Política de Ciencia y Técnica de la empresa |
| | | | Proyectos de I+D+i desarrollados |
| | | | Funcionando la ANIR y las BTJ |
| | | | Desarrollo de publicaciones y eventos en la empresa para la socialización de resultados de la ciencia y la innovación |
| | | | Porcentaje de introducción de Innovaciones y resultados científicos a la producción |
| | | | Acciones de vínculo con universidades y centros científicos. |
| | | | Estrategias de reducción del riesgos en situaciones de emergencias |
| | | | Pérdidas económicas |

**Tabla 6. Indicadores asociados a la variable: Asuntos de consumidores**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 17 Fortalecer Alianzas para lograr los objetivos 12. producción y consumo responsable | ISO 9001:2015 | Calidad del producto | Procedimiento de selección y evaluación de proveedores |
| | | | Satisfacción de los consumidores |
| | | | Porcentaje de producto reprocesado |
| | | | Porcentaje de pérdidas del producto y sus derivados |
| | | | Porcentaje de cumplimiento de las características de calidad establecidas en los controles del proceso |
| | | | Control estadístico del proceso |
| | | | Capacidad del proceso de cumplir con las especificaciones |

**Tabla 7. Indicadores asociados a la variable: Participación activa y desarrollo de la comunidad**

| ODS | Requisito legal o reglamentario | Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas | Indicadores |
|---|---|---|---|
| 17.Fortalecer Alianzas para lograr los objetivos 11. Ciudades y comunidades sostenibles | ISO 9004:2018 | Satisfacción social Satisfacción de las partes interesadas | Vínculo con la universidad para la investigación y desarrollo, capacitación y superación |
| | | | Generación de empleos para las personas de la comunidad sin distinción de sexo, raza, discapacidad, orientación sexual. |
| | | | Acciones para salvaguardar el patrimonio agroindustrial azucarero de la comunidad. |
| | | | Porcentaje de ingresos de la UEB destinados al desarrollo comunitario |
| | | | Número de alianzas, acuerdos y programas de cooperación en materia de ciencia y tecnología con la universidad y otras partes interesadas |
| | | | Política para evaluar a los proveedores |
| | | | Trabajos voluntarios promovidos por la empresa |
| | | | Participación en proyectos sociales |
| | | | Vinculación con la comunidad para el mejoramiento de los servicios y las instituciones. |
| | | | Relación con centros educativos para la formación vocacional hacia la agroindustria azucarera. |
| | | | Acciones para salvaguardar el patrimonio agroindustrial azucarero de la comunidad. |
| | | | Estado ambiental de la comunidad por la acción de la empresa azucarera |
| | | | Acciones para mejorar las condiciones medioambientales de la comunidad. |

**Se** desplegaron estos indicadores a los procesos organizacionales que tributan a su cumplimiento. A modo de ejemplo se ilustra en la tabla 8, este despliegue para el proceso clave de producción de azúcar

**Tabla 8. Ejemplo de despliegue de indicadores al proceso de producción de azúcar**

| **Necesidad o expectativas de las Partes Interesadas** | **Indicadores** | **Indicadores asociados al proceso clave de producción de azúcar** |
|---|---|---|
| Calidad del producto | Porcentaje de cumplimiento de las características de calidad establecidas en los controles del proceso | % de cumplimiento de la Norma potencial,<br>Indicadores de eficiencia de purificación<br>Indicadores de eficiencia de evaporación<br>Indicador de eficiencia de centrifugación<br>Cierre de No Conformidades (NC) del proceso |
| | Capacidad del proceso de cumplir con las especificaciones | Índice de capacidad del proceso |
| Producción sostenible | Eficiencia productiva | % de aprovechamiento del Rendimiento Potencial que tiene la Caña, |
| Seguridad y Salud en el trabajo | Tasa de mortalidad o morbilidad atribuibles por accidentes laborales o contaminación del ambiente de trabajo | No. de accidentes laborales |
| Bajo impacto ambiental | Procedimiento para la gestión de los aspectos ambientales | Número de aspectos ambientales significativos<br>Controles operacionales establecidos para los aspectos significativos |

## 4. CONCLUSIONES

- La influencia del contexto en la gestión organizacional, ha conllevado a que las empresas incorporen la responsabilidad social como un elemento estratégico organizacional, para ser más competitivas y lograr posesionarse dentro del mercado.
- Se desarrolló un sistema de indicadores alineados a las variables de responsabilidad social, los objetivos de desarrollo sostenible y otros requisitos legales y reglamentarios, que permite desde la evaluación del desempeño de los procesos organizacionales, evaluar la responsabilidad social de la organización.

## REFERENCIAS


1. ISO. Norma ISO 26000. Guía de Responsabilidad social. Recuperado de https://www.iso.org
2. Manual del Sistema BSCI. 2014. Recuperado de https:// www.bsci-intl.org
3. Betancour, R. (2016). La Responsabilidad Social Empresarial en Cuba. Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina. Vol 4 No. 2. pp 34-43
4. ONN. NC ISO 14031:2019. Gestión Ambiental. Evaluación del Desempeño Ambiental- Directrices. www.nconline.cu
5. (CEPAL, 2017. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago, abril de 2017. www.cepal.org)
6. Comité Central del Partido. Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el período 2021-2026., Imprenta PCC, 2021, pp. 39-44. https://www.pcc.cu/actualizacion-de-los-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-del-partido-y-la-revolucion
7. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025. Edición, ilustración y realización: Departamento de Comunicación CITMA. http://www.citma.gob.cu
8. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 9000:2015. Sistemas de Gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu
9. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu
10. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu

11. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 45001: 2018. Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos con orientación para su uso. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu
12. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 9004:2018. Gestión de la Calidad ─ Calidad de una organización ─ Orientación para lograr el éxito sostenido. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu
13. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 56002:2019 Gestión de la Innovación". Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu.

**Sobre los autores:**

Cira Lidia Isaac Godínez es Profesora Titular de la Facultad de Ciencias Técnicas de la UNAH y Doctora en Ciencias Técnicas. Annia García Pereira es Profesora Titular de la Facultad de Facultad de Ciencias Técnicas de la UNAH, Decana de la Facultad y Doctora en Ciencias Técnicas. Darian Samá Muñoz es Profesor Auxiliar de la Facultad de Ciencias Técnicas de la UNAH y Máster en Dirección.

# CADENA PRODUCTIVA DEL AZÚCAR DE CAÑA: ACCIONES PARA LA MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA HÉCTOR MOLINA RIAÑO

**(Darian Samá Muñoz)[1], (Mercedes Zenea Montejo)[2], (Cira Lidia Isaac Godínez)[3]**

[1] Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". km 23 ½ de la Autopista nacional. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba
[2] Universidad de La Habana. San Lázaro y L. Vedado. Ciudad de La Habana. Cuba,
[3] Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". km 23 ½ de la Autopista nacional. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba
[1]e-mail: *dsama1991@gmail.com*
[2]e-mail: *mzeneamontejo@gmail.com*
[3]e-mail: *ciralidiai@gmail.com*

**RESUMEN**

En los últimos años se han impulsado un conjunto de políticas orientadas a la reanimación de la producción azucarera cubana, algunas de las cuales se sintetizan en los lineamientos 129 y 130 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Sin embargo, en la actualidad la sostenibilidad de la cadena productiva del azúcar de caña se sigue viendo limitada por numerosas causas. Todo lo anterior presupone la búsqueda, aplicación y asimilación de enfoques para asumir los retos actuales. La Empresa Agroindustrial Azucarera Héctor Molina Riaño de la provincia Mayabeque, Cuba, en el período del 2019 al 2022 tuvo un descenso paulatino de la producción de azúcar del 34,2%, y por problemas de infraestructura tecnológica se toma la decisión de no participar en la zafra 2022-2023, siendo índices poco favorables para la empresa, afectando su sostenibilidad y por ende la satisfacción de sus clientes y otras partes interesadas. Este trabajo se desarrolló con el objetivo de proponer acciones para contribuir a la mejora de la sostenibilidad de empresa. Se identificaron las causas que inciden en la cadena productiva del azúcar de caña y a partir del análisis de las mismas, se valoraron nuevos enfoques de innovación y se propusieron acciones para contribuir a la sostenibilidad de la empresa y al desarrollo sector azucarero.

**Palabras clave:** cadena productiva, azúcar de caña, mejora, sostenibilidad.

# SUGAR CANE PRODUCTION CHAIN: ACTIONS TO IMPROVE THE SUSTAINABILITY OF THE SUGAR AGROIDUSTRIAL COMPANY "HÉCTOR MOLINA RIAÑO"

**ABSTRACT**

In recent years, a set of policies have been promoted aimed at reviving Cuban sugar production, some of which are summarized in guidelines 129 and 130 of the Economic and Social Policy of the Party and the Revolution. However, currently the sustainability of the cane sugar production chain continues to be limited for numerous reasons. All of the above presupposes the search, application and assimilation of approaches to take on current challenges. The Agroindustrial Sugar Company Héctor Molina Riaño of the Mayabeque province, Cuba, in the period from 2019 to 2022 had a gradual decrease in sugar production of 34.2%, and due to technological infrastructure problems, the decision was made not to participate in the 2022-2023 harvest, with unfavorable indices for the company, affecting its sustainability and therefore the satisfaction of its customers and other interested parties. This work was developed with the objective of proposing actions to contribute to the improvement of company sustainability. The causes that affect the cane sugar production chain were identified and based on their analysis, new innovation approaches were assessed and actions were proposed to contribute to the sustainability of the company and the development of the sugar sector.

**Keywords:** productive chain, cane sugar, improvement, sustainability.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cadena productiva del azúcar de caña, es compleja, en términos tanto de los numerosos segmentos que abarca (desde la materia prima hasta el consumo) como de los impactos que su progreso y desarrollo

pueden generar [1], [2], [3], [4]. En ella intervienen un conjunto de actores y actividades económicas, desde la provisión de insumos y materias primas, transformación y producción de bienes intermedios y finales, hasta su comercialización en los mercados internos y externos, para satisfacer las necesidades de los clientes y otras partes interesadas.

La desarticulación entre los actores que la integran, insuficiencias políticas públicas nacionales, sectoriales e institucionales, problemas de infraestructura tecnológica y de servicios, deficiencias en la logística de insumos y la inadecuada gestión integrada de la calidad, el medioambiente, la inocuidad de los alimentos, del capital humano y la seguridad en los procesos, entre otros factores, impiden su correcto desarrollo y no solo afectan las producciones de azúcar y sus derivados, sino que comprometen la sostenibilidad de la cadena y de la organización.

La sostenibilidad hay que verla desde la perspectiva de la calidad y la excelencia organizacional, y tiene como objetivo crear valor para las partes interesadas con la gestión adecuada de todos sus recursos, asegurando así la mejora de su desempeño y su competitividad [5].

Desde hace algunos años, Cuba reorienta su estrategia de desarrollo para el sector azucarero. En el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC), se aprobó la Agroindustria Azucarera y sus derivados dentro de los sectores estratégicos del país para su trasformación productiva, y la Política Económica del Estado y la Revolución para el período 2016-2021 estableció, en los lineamientos 176, 177 y 204, las directivas para el desarrollo de la agroindustria azucarera cubana. Lo anterior fue ratificado en el VIII Congreso del PCC y para ello fueron aprobados los lineamentos 129 y 130 la Política Económica del Estado y la Revolución para el período 2021-2026 [6].

Estos lineamientos tributan a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU) [7]. En particular contribuye al ODS 2 “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” y también al progreso del ODS 8 “Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”, así como al ODS 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”.

A su vez, el Grupo Azucarero (AZCUBA) ha proyectado, como visión a corto y mediano plazo, ser competitivos y eficientes en la fabricación de azúcares y sus derivados. Esto implica la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. En esta interacción, es preciso garantizar un flujo material estable y racional entre la obtención del azúcar, derivados y su aprovechamiento industrial, para lograr el diseño y la gestión de sus cadenas de suministro, buscando racionalidad, integralidad y efectividad.

Aunque existe voluntad política del gobierno cubano para lograr la competitividad y sostenibilidad de la producción del azúcar, referida en los documentos anteriormente señalados, en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) “Héctor Molina Riaño”, aún no se logran altos niveles de productividad y de calidad en los procesos y productos de la cadena productiva del azúcar de caña que satisfagan las exigencias de los mercados nacionales e internacionales, lo que afecta la sostenibilidad de la cadena. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo proponer acciones para contribuir a la mejora de la sostenibilidad de la EAA “Héctor Molina Riaño y al desarrollo del sector azucarero.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon los materiales y métodos siguientes:

- Análisis documental de la información disponible en la empresa correspondiente al período: de enero 2021 a diciembre 2023.
- Metodología para la gestión de cadenas productivas en Cuba [8]. En esa metodología se definen los elementos y atributos más relevantes para la gestión de la cadena productiva y se toman como base para la elaboración del cuestionario del diagnóstico.
- Aplicación de cuestionario y entrevista a los miembros del consejo de dirección de la empresa. Además, fueron seleccionados 85 trabajadores, lo cual representó el 25 % del total de trabajadores. Para la selección de esta muestra se aplicó un muestreo no probabilístico intencional [9].

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Diagnóstico de la cadena productiva del azúcar de la caña en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) "Héctor Molina Riaño"

La EAA "Héctor Molina Riaño" ubicada en el Municipio San Nicolás de Bari, provincia Mayabeque, Cuba; está conformada por una fábrica de azúcar, una Unidad Empresarial de Base de Derivados y tres Unidades Empresariales de Bases de prestación de servicios que agrupa a 31 Unidades Productoras de Base enmarcadas en dos provincias y cinco municipios.
La fábrica de azúcar por su capacidad de molida, ubicación geográfica, características de su superficie agrícola, su almacén de azúcar de gran capacidad con todas las prestaciones, hace que sea una de las diez fábricas estratégicas del país.

Para realización del diagnóstico se ejecutaron un conjunto de acciones que permitieron lograr la participación activa de todos los actores, entre ellas las siguientes:
- Socialización e implicación de los actores a partir de talleres
- Se establecieron las áreas (eslabones) en las que se aplicarían las herramientas para la recopilación de información y los participantes.
- Se definieron los facilitadores en cada área y se informó a todos los involucrados en el proceso.
- Se realizó la capacitación de los actores por área.
- Se aplicaron los instrumentos del diagnóstico.

En las últimas contiendas (ver figura 1), la producción azucarera de la EAA "Héctor Molina Riaño compila un cumplimento del plan de producción como promedio de 58,33% dejando de producir 270 959 toneladas. La producción tuvo un descenso paulatino del 34,2%, siendo un índice poco favorable para la empresa.

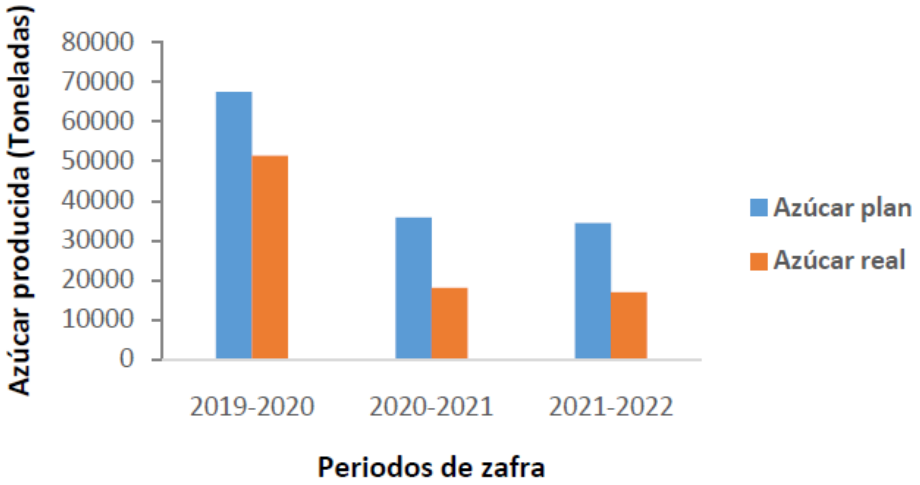



**Figura 1. Comportamiento de la producción de azúcar de caña en el período 2019-2022**
**Fuente: Elaboración de los autores a partir del estudio documental**

La producción ha sufrido contratiempos debido a la falta de materia prima (caña de azúcar) y a la vez esta no cumplía con los valores mínimos de calidad necesarios para la ejecución del proceso, lo que genera que la empresa incurra en más gastos por concepto de compra de insumos con tal de conseguir una mejor calidad del producto.

La estructura técnica es otra causa que interrumpe la producción, pues la empresa cuenta con un equipo envejecido trayendo como consecuencia ineficiencia y baja productividad, costos de mantenimiento elevados, riesgo de interrupciones en la producción y muy importante riesgo para la seguridad de los trabajadores y contaminación ambiental. Ejemplo de ello es la caldera número tres que venía presentando dificultades desde hace varias zafras atrás a la hora de generar vapor, por lo que en la zafra 2022-2023 se toma la decisión de no participar en la zafra de ese año.

Por otra parte, la comercialización del azúcar de caña presentó irregularidad dado fundamentalmente por el incumplimiento de indicadores de calidad, pues no han cumplido los parámetros de comercialización según la NC 85:2018 [10], de la azúcar en cuanto al Pol, la humedad, el color y las partículas ferromagnéticas; pues han tomado valores por encima según dicha norma.

Con el objetivo de indagar en el comportamiento de la cadena productiva, se aplicó un cuestionario a la muestra seleccionada. Algunos resultados se muestran a continuación:

- Sobre la calidad del producto el 54% coincide en que la calidad depende en su totalidad de la materia prima utilizada y en los últimos años esta no cumple los requisitos. establecidos.
- El 49 % coincide que la empresa opera por debajo de su capacidad, que son muchos los factores que afectan la producción de azúcar de caña.
- El 77,77 % de los encuestados plantea que no se brinda la información necesaria y oportuna para la realización de las tareas, lo que afecta el cumplimiento del principio de gestión de la calidad compromiso de las personas y del requisito de comunicación.
- El 54 % plantea que existe una falta de integración y aprovechamiento de los avances científicos y tecnológicos en los procesos productivos de la empresa, lo que limita su capacidad de innovación y mejora continua.
- El 45 % plantea no haberse implementado estrategias efectivas para aprovechar los residuos generados en la fábrica, lo que provoca en pérdidas económicas y ambientales y alto consumo de energía y costos operativos elevados.
- Se presentan deficiencias en los controles de calidad e inocuidad de los productos, lo que afecta la reputación de la empresa y su capacidad para cumplir con los estándares y regulaciones establecidos. Esto es reconocido por el 100 % de los encuestados.
- El 48,11 % refiere que la empresa presenta problemas en la rapidez de adaptación del mercado, debido al bajo cumplimiento del requisito 4 de la NC ISO 9001:2015 [11], lo que limita la comprensión de la organización y de su contexto y el responder a los cambios en el entorno y las demandas del mercado.

A partir de los resultados de la aplicación del cuestionario, se pudo inferir que la empresa no está alcanzando los niveles de producción deseados, lo que afecta su capacidad de cumplir con la demanda del mercado y de generar ingresos suficientes, aun cuando ha logrado generar ingresos por concepto de venta de alcohol. La inversión para la puesta en marcha de la caldera para la obtención de azúcar y otros derivados se ha retasado más de lo provisto no pudiéndose incorporar a las dos últimas zafras. A eso se le suma la adquisición y garantía de suministro de los insumos necesarios para la producción, lo que puede afectar la continuidad y calidad de los procesos que en los últimos años ha sido insuficiente la gestión de suministros.

En entrevistas y trabajo grupal con el consejo de dirección se puedo determinar que los factores que inciden en que la empresa opere por debajo de su capacidad son:

- ✓ Bajos índices de rendimiento industrial.
- ✓ Consumo excesivo de agua.
- ✓ Baja eficiencia energética.
- ✓ Fluctuación y cambios constantes de los directivos.
- ✓ Bajos índices de las capacidades productivas.
- ✓ Baja presión de vapor directo por:
  - • Insuficiente molida horaria.
  - • Insuficiente retroalimentación de bagazo.
  - • Falta de bagazo almacenado.
  - • Disparo eléctrico del SEN por sobrecarga.
  - • Inadecuada frecuencia de limpieza hornos.

Con el desarrollo de una técnica grupal con el consejo de dirección y sobre la base de la valoración de los resultados del diagnóstico, se determinaron las causas más influyentes en la producción de azúcar de caña, siendo las más significativas las siguientes:

- Obsolescencia tecnológica trayendo como consecuencia ineficiencia y baja productividad por interrupciones y altos costos de mantenimiento elevados, riesgos para la seguridad de los trabajadores y contaminación ambiental.
- Ineficiente aprovechamiento de los portadores energéticos.
- Bajos niveles de producción de azúcar y de derivados e incumplimiento de los contratos.
- Reprocesamiento de un alto porcentaje de toneladas de azúcar por incumplimiento de parámetros de calidad establecidos en la NC 85:2018 [10].
- Inadecuada manipulación de los sacos que provocan roturas superiores al índice establecidos, conllevando a un sobreconsumo de sacos de polipropileno.
- Falta de efectividad del sistema de seguridad y protección de la entidad

- Débil articulación e integración con entidades de ciencia, tecnología e innovación.

**3.2 Propuesta de acciones para la contribución a la sostenibilidad de la EAA "Héctor Molina Riaño"**

- Obsolescencia tecnológica trayendo como consecuencia ineficiencia y baja productividad por interrupciones y altos costos de mantenimiento elevados, riesgos para la seguridad de los trabajadores y contaminación ambiental.
  Acciones de mejora:
  - ✓ Recuperar el proceso industrial sin una caldera, y generar la meladura para la producción de aguardiente y alcoholes.
  - ✓ Modernización de la tecnología del Central Azucarero: Construcción de la columna de destilación del aguardiente y reparación de la de alcohol, así como la automatización de los procesos de producción de alcohol y aguardiente.

- Ineficiente aprovechamiento de los portadores energéticos.
  Acciones de mejora:
  - ✓ Realizar modificaciones al subsistema energético de la empresa. Se realizó una investigación conjunta de profesores de la Universidad Tecnológica de La Habana, e investigadores del ICIDCA, donde se evalúan diferentes alternativas cuyos resultados están publicados [12].
  - ✓ Implementar la Metodología Pinch para optimizar la eficiencia termo energética del proceso destilación del aguardiente, debido a que la columna de destilación presenta problemas en los platos separadores, sufriendo una inundación causada por la distancia de estos, teniendo así eficiencias menores al 75%. La investigación, resultado de un trabajo de diploma, empleó una combinación de métodos para analizar y optimizar el proceso de destilación, entre ellos el método directo e indirecto para el cálculo de la eficiencia de generación de vapor de la caldera de la entidad. La metodología Pinch determinó que el número mínimo de intercambiadores que permiten una mayor eficiencia y recuperación de calor, reduciendo las pérdidas de energía con una temperatura mínima de intercambio de 10 0 K es de 2, con un área mínima de intercambio de 29,9512 m2.
  - ✓ Aprovechamiento de fuentes de energía renovable, generar energía para autoabastecerse y aportar al Sistema Electro-energético Nacional (SEN)
  - ✓ Capacitación del personal en buenas prácticas energéticas.

- Bajos niveles de producción de azúcar y de derivados e incumplimiento de los contratos.
  Acciones de mejora:
  - ✓ Recuperar tierras que no son aptas para el corte mecanizado, pero hay fuerza para hacerlo manualmente y se estabilizaron los procesos
  - ✓ Mejorar la calidad de las labores agrícolas.
  - ✓ Establecer acuerdos estratégicos con proveedores confiables y establecer sistemas de seguimiento y control de la calidad de los insumos recibidos.
  - ✓ Fortalecer capacidades técnicas y gerenciales de las cooperativas agropecuarias, formas de gestión no estatales con incidencia en otros eslabones de la cadena y los servicios locales para formular la propuesta de intervención que contribuya a la sostenibilidad de la cadena, según prioridades establecidas en el diagnóstico y la estrategia municipal.
  - ✓ Perfeccionar la organización del trabajo del proceso de producción de azúcar de caña para mejorar rendimiento en extracción del azúcar de la caña.

- Reprocesamiento de un alto porcentaje de toneladas de azúcar por incumplimiento de parámetros de calidad establecidos en la NC 85:2018 [10], en cuanto al Pol, la humedad, el color y las partículas ferromagnéticas; pues han tomado valores por encima según dicha norma.
  Acciones de mejora:
  - ✓ Analizar la capacidad del proceso.
  - ✓ Establecer control estadístico del proceso
  - ✓ Evaluar y diversificar la base de proveedores de insumos clave para minimizar los riesgos de desabastecimiento.
  - ✓ Establecer sistemas de seguimiento y control de la calidad de los insumos recibidos.

- Inadecuada manipulación de los sacos que provocan roturas superiores al índice establecidos, conllevando a un sobreconsumo de sacos de polipropileno.

Acciones de mejora:

- ✓ Proporcionar formación específica sobre técnicas adecuadas de levantamiento y transporte de sacos. Esto incluye el uso correcto de equipos de elevación y la ergonomía para reducir el riesgo de lesiones y daños a los sacos.
- ✓ Implementar indicadores específicos para monitorear las tasas de rotura y daños durante la manipulación
- ✓ Analizar y optimizar el flujo logístico dentro del central azucarero, asegurando que las rutas de transporte sean las más cortas y seguras posibles.
- ✓ Establecer límites en la velocidad a la que se manejan los sacos para evitar movimientos bruscos que puedan provocar roturas.
- ✓ Realizar auditorías periódicas para evaluar las prácticas de manipulación y el estado físico de los sacos, asegurando que se cumplan los estándares establecidos.

- Falta de efectividad del sistema de seguridad y protección de la entidad
  Acciones de mejora:
  - ✓ Realizar un análisis de las condiciones laborales actuales y tomar medidas para mejorar la seguridad, el bienestar y el ambiente de trabajo.
  - ✓ Compra de medios de protección para la seguridad de los trabajadores.
- Débil articulación e integración con entidades de ciencia, tecnología e innovación.
  Acciones de mejora:
  - ✓ Mejorar la articulación e integración de los actores e instituciones que participan en los procesos de capacitación, innovación y extensión. Para ellos se han establecidos convenios para realizar sus prácticas laborales y trabajos de diplomas estudiantes, de la Universidad Agraria de La Habana y se realizan investigaciones conjuntas con el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), la Universidad Tecnológica de La Habana la UNAH.

Otras acciones:

- ✓ Establecer un Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control según la NC136: 2023 [13], para el proceso de producción de aguardiente.
- ✓ Proceso de certificación del aguardiente con el ICIDCA Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados del azúcar de caña.
- ✓ Desarrollar tareas sociales que tributen al bienestar social de la comunidad donde está situada la empresa.

## 4. CONCLUSIONES

La cadena productiva del azúcar de caña de la EAA Héctor Molina Riaño, ha presentado indicadores no favorables que comprometen la sostenibilidad de la empresa. Las acciones de mejora propuestas, algunas de las cuales ya se han implementado y son muy innovadoras, son de gran importancia para lograr el éxito sostenido de la entidad y el desarrollo del sector azucarero.


## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos, los que, de una forma u otra, han permitido, ayudado y colaborado en el desarrollo e implantación de algunas de las acciones propuestas.


## REFERENCIAS


1. Fernández, J., Barrios, L., y Ortiz, C. A., Análisis de la cadena de valor de la caña de azúcar destinada a la producción de panela en el departamento de Cundinamarca. Fundación Universitaria. 2018. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/entities/publication/13e178ec-511e-436b-911b-45728d06542c.
2. Nieto, V. M., Cadena Productiva de Azúcar, Confitería y Chocolatería Estructura, Comercio Internacional y Protección. Archivos de Economía. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Vol. 495, No. 59, pp 1-59 .2019. https://econpapers.repec.org/paper/col000118/017340.htm
3. Orozco Cervantes, S., Riesgos en cadenas de productivas mediante la aproximación a la técnica 5 x 5 aplicado a la producción de azúcar, confitería y chocolatería. (Tesis Doctoral). Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Administración de Empresas, Santa Marta. 2023 Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12494/51502

4. Sarmiento, E.L.C., Padilla, B.E.T., Zaquinaula, T.E.M., y Villavicencio, V.D.L.V., Estudio de la cadena de valor de los pequeños productores de la caña de azúcar de Asopromonca., Revista Científica y Tecnológica VICTEC, Vol. 3, No. 5, 2022, pp. 61-76. http://server.istvicenteleon.edu.ec/victec/index.php/revista/article/view/86
5. Perero, G.A., Isaac, C.L., Díaz, S., y Ramos, Y., Modelo para la contribución a la gestión de la sostenibilidad en universidades ecuatorianas., Revista Universidad y Sociedad. Vol. 14, No. 4, 2022, pp. 733-744. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-
6. Comité Central del Partido., Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el período 2021-2026., Imprenta PCC, 2021, pp. 39-44. https://www.pcc.cu/actualizacion-de-los-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-del-partido-y-la-revolucion
7. PNUD., Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030., 2015. https://www.undp.org/es/sustainabledevelopment-goals
8. Antúnez Saíz, V. I., y Ferrer Castañedo, M., Metodología para el análisis de cadenas productivas en Cuba: el caso de agrocadenas como proyecto innovador. Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina. RPNS 2346. Vol. 9, No. 2,pp. 15-43, 2021. https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/4189
9. Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P., Metodología de la investigación., 6ta Edición, México, McGraw-Hill, 2014. https://www.semanticscholar.org/paper/METODOLOGÍA-DE-LA-INVESTIGACIÓN-Fundamentales-Método/3e42246ee04eeab4fcef7b4bd80c13c59bc21292?p2df
10. ONN, NC 85: 2018, Azúcar Crudo de Caña - Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2018. Disponible en: http://www.otnmatanzas.cu/nc-852018-azucar-crudo-de-cana
11. ONN, NC ISO 9000: 2015. Sistema de gestión de Calidad. Requisitos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2015. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu
12. Cruz M., Zumalacárregui L y Pérez O., Propuesta de modificaciones al subsistema energético de la Empresa Agroindustrial Azucarera "Héctor Molina". Revista Centro Azúcar. Vol. 50, No. 2. Santa Clara, mayo 2023, http://scielo.sld.cu/scielo.ISSN 2223-4861.
13. ONN, NC136: 2023. Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC/HACCP) - Requisitos. Disponible en: https://www.nconline.cubaindustria.cu

**Sobre los autores:**

Darian Samá Muñoz es Profesor Auxiliar de la Facultad de Ciencias Técnicas de la UNAH y Máster en Dirección. Mercedes Zenea Montejo es Profesora Titular de la Facultad de Economía de la Universidad de La Habana y Doctora en Ciencia Técnicas. Cira Lidia Isaac Godínez es Profesora Titular de la Facultad de Ciencias Técnicas de la UNAH y Doctora en Ciencia Técnicas.

# LA CAPACIDAD DE CONTROL DE GESTIÓN: UN MODELO PARA SU DESARROLLO EN LAS EMPRESAS

**Autores:** Felipe Pérez Carrillo[1], Yuniel Bolaño Rodríguez[2], Daniel Alfonso Robaina[2]

1. Organización Superior de Dirección Empresarial del Agua y Saneamiento
2. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"

**Autor de correspondencia**: felipe@ays.cu

**Resumen**

Este artículo tiene como objetivo presentar el diseño de un modelo para desarrollar una efectiva capacidad de control de gestión, abordando temas claves como la evaluación del desempeño organizacional, el diagnóstico de la gestión de la empresa, el estudio de los riesgos, la determinación de los puntos estratégicos y los objetivos de control para la toma de decisiones y la asignacion de recursos críticos. A través de una revision amplia de la bibliografia así como la experiencia práctica en diferentes casos de estudios se determinan las variables y elementos del modelo así como el procedimiento para el desarrollo y la mejora continua de la capacidad de control de gestión. Se tiene en cuenta la inteligencia artificial, el análisis de datos e informaciones así como la aplicación de la prospectiva estratégica para orientar en una mejor forma la realización de auditorías de gestión o rendimiento. La digitalización transforma y fortalece la capacidad de control de gestión de las organizaciones a partir de integrar diferentes informaciones relevantes en una misma unidad de análisis para la toma decisiones. Las empresas que adoptan estas prácticas y logran una alta capacidad de control de gestión son más propensas a sostener resultados relevantes en el desempeño organizacional, el crecimiento y la competitividad. Este artículo proporciona un marco teórico, metodológico y práctico sobre los componentes, variables y elementos esenciales para un control de gestión efectivo, relevante tanto para los académicos como para los empresarios.

**Palabras clave**: Capacidad de control de gestión, desempeño organizacional y gestión de la empresa, inteligencia artificial y digitalización, toma de decisiones, puntos estratégicos y objetivos de control.

## The capacity of management control: a model for their development in the companies

**Abstract**

This article has as objective to present the design of a model to develop an effective capacity of management control. They are integrated key topics as the evaluation of the organizational performance, the diagnosis of the company management, the study of the risks, the determination of the strategic points and the control objectives. Through a wide revision of the bibliography as well as the practical experience in different cases of studies, are determined the variables and elements of the model as well as the procedure for the development and the continuous improvement of the capacity of management control. One keeps in mind the artificial intelligence, the analysis of data and informations as well as the application of the strategic prospective to guide in a better

form the realization of management audits or performance audits. The digitalization transforms and it strengthens the capacity of management control of the organizations starting from integrating different excellent informations in oneself analysis unit for the taking decisions. The companies that adopt these practices and they achieve a high capacity of management control they reach excellent results in the organizational performance, the growth and the competitiveness. This article provides a theoretical, methodological and practical mark on the components, variables and essential elements for an effective management control, being excellent as much for the academics as for the managers.

**Keywords**: Capacity of management control, organizational performance and enterprise management, artificial intelligence and digitalization, taking of decisions, strategic points and control objectives.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DIAGNÓSTICO DEL DESEMPEÑO DEL EQUIPO DIRECTIVO EN LA EMPRESA DE CONSULTORÍA Y SEGURIDAD INFORMÁTICA, SEGURMÁTICA

# DIAGNOSIS OF THE PERFORMANCE OF THE MANAGEMENT TEAM IN THE COMPUTER CONSULTING AND SECURITY COMPANY, SEGURMATICA

**Niurka Edith Milanés Sarduy[1], Roberto López Boudet [2]**

[1]Empresa de Consultoría y Seguridad Informática, Segurmática, Centro Habana, La Habana [2] Facultad Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría,
[1]e-mail: niurka.milanes@segurmatica.cu,

**RESUMEN**

El Consejo de dirección de la Empresa de Consultoría y Seguridad Informática, como principal órgano de dirección, es el encargado de elaborar, implementar y analizar las deviaciones que afectan el cumplimiento de las metas trazadas en su proyección estratégica. En los últimos dos años, no se han alcanzado las metas previstas, identificándose como una de las causas, deficiencias en el desempeño del equipo de dirección. La investigación tiene como objetivo diagnosticar el desempeño del equipo de dirección de Segurmática, con un enfoque sistémico e integrador. Entre los métodos teóricos de investigación empleados se encuentran histórico-lógico, análisis-síntesis e inducción deducción; entre los empíricos encuestas, listas de chequeo y observación científica; los estadísticos para la validación de los instrumentos aplicados y el procesamiento de los datos recopilados. Como resultado se cuenta con un conjunto de instrumentos para el diagnóstico del desempeño del equipo de dirección, así como los elementos que lo afectan en la actualidad. Se obtuvieron las variables que afectan el desempeño del Consejo de dirección, para en correspondencia, trazar un plan de acción para su mejora. Además, los instrumentos aplicados se convierten en una herramienta útil para evaluar la eficacia del plan de mejora diseñado.

**PALABRAS CLAVES:** equipo de dirección, desempeño de equipos directivos.

**ABSTRACT**

Below are instructions for preparing your article and send it for consideration by the Scientific Committee The Board of Directors of the Computer Consulting and Security Company, as the main management body, is in charge of preparing, implementing and analyzing the deviations that affect the fulfilment of the goals set in its strategic projection. In the last two years, the planned goals have not been achieved, with deficiencies in the performance of the management team, being identified as one of the causes. The objective of the investigation is to diagnose the performance of the Segurmática management team, identifying the causes that affect it. Among the theoretical research methods used are historical-logical, analysis-synthesis and induction-deduction; among the empirical surveys, checklists and scientific observation; the statistics for the validation of the applied instruments and the processing of the collected data. As a result, there is a set of instruments for diagnosing the performance of the management team, as well as the elements that currently affect it. The variables that affect the performance of the Board of Directors were obtained, in order to draw up an action plan for its improvement. Furthermore, the instruments applied become a useful tool to evaluate the effectiveness of the designed improvement plan.

**KEY WORDS:** management team, management team performance.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Cuba, durante los últimos años está teniendo lugar gran número de transformaciones, tanto económicas, como políticas y sociales, en las que se concede a la empresa estatal socialista un papel primordial en el desarrollo económico y social del país, por lo cual, debe tener la capacidad de adaptarse a la aparición de nuevos actores económicos, así como a las necesidades y exigencias crecientes de la sociedad.

En este contexto, la dirección estratégica constituye una condición indispensable para los directivos del sistema empresarial cubano, en su búsqueda por alinear todos los esfuerzos de la organización en torno a los objetivos empresariales, lo que garantiza que las estrategias logren anticiparse y reinventarse ante las condiciones externas e internas y mejorar su desempeño organizacional [1]. De esta forma se eleva la capacidad de respuesta de manera creativa, rápida y flexible, de la empresa como un todo, en la búsqueda de resultados superiores [2].

La Constitución de la República de Cuba, en sus fundamentos económicos, presenta a la empresa estatal socialista como actor principal de la economía nacional, para lo cual se le dota de autonomía en su administración y gestión [3]. Pero, para ejercer la citada autonomía, tal y como se refleja en la Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista, resulta importante contar con una: "Alta preparación y responsabilidad de los directivos" [4]. Entonces, para que las organizaciones alcancen los objetivos estratégicos propuestos, sean sostenibles y competitivas, los directivos deben contar con un conjunto de habilidades y competencias que le permitan cumplir con sus funciones de manera satisfactoria [5-9].

Con la introducción y fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial [10-12] se atribuye al Consejo de dirección, como principal órgano de dirección de la empresa, la responsabilidad de gestionar el cumplimiento de las estrategias y obligaciones que le corresponden.

En estudios realizados, se comprueba que existe un reconocimiento al rol de los equipos de dirección (Consejo de dirección) en los resultados de la organización, así como la necesidad de investigar las vías para perfeccionar su labor, de forma tal que impacten positivamente en estos [13-15].

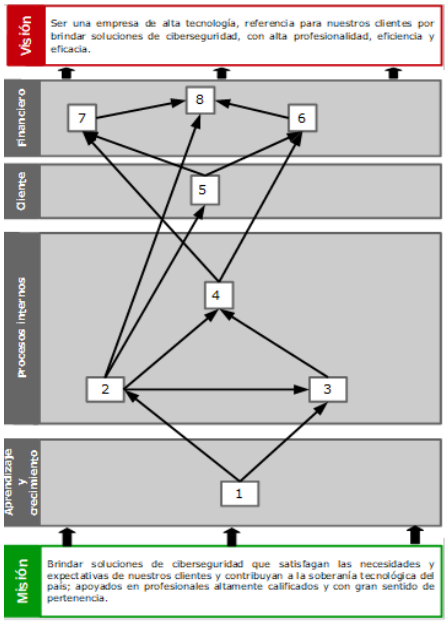
La Empresa de Consultoría y Seguridad Informática, Segurmática, está integrada al Grupo Empresarial de la Informática y las Comunicaciones (GEIC). Es la única empresa en Cuba que se dedica al desarrollo y comercialización del antivirus nacional y, además, brinda un conjunto de servicios de ciberseguridad, siendo reconocida por los clientes como la empresa donde contratar estos servicios.

A finales del 2021, como parte de la necesaria adaptación de la empresa a las transformaciones que estaban teniendo lugar en el país, se llevó a cabo el ejercicio estratégico, con la participación de los miembros del Consejo de dirección. Como resultado, se actualizó la misión, visión, valores y objetivos estratégicos para el período 2022 – 2024. Tanto al cierre del 2022, como del 2023, al realizar el balance de los resultados de la empresa, y de las metas establecidas en su estrategia, se pudo comprobar que, de manera reiterada, hay incumplimientos en los indicadores relacionados con la evolución de los productos y servicios, así como el ritmo de crecimiento de los ingresos por estos conceptos (aunque los indicadores económicos financieros son favorables); por lo que de continuar esta situación se afecta el desempeño de la organización y se compromete la sostenibilidad y competitividad de la empresa a mediano y a largo plazo.

En consecuencia, el objetivo general del presente artículo es identificar cuáles son los elementos que afectan el desempeño del Consejo de dirección de Segurmática y que impactan en los resultados de la organización.

## 2. CONTROL DE GESTIÓN

Con la aprobación de la estrategia empresarial 2022-2024, se establecen los objetivos, indicadores y metas, que permitan a la organización cumplir con su misión y alcanzar la visión. Para esto se definieron 8 objetivos estratégicos, distribuidos en las 4 perspectivas básicas el Cuadro de Mando Integral, del modelo de Norton y Kaplan (Figura 1).




| NO. | OBJETIVOS |
|---|---|
| 1. | Elevar las competencias del 80% del personal de los procesos claves en el 2024. |
| 2. | Elevar los niveles de efectividad de los procesos de Segurmática en el 2024. |
| 3. | Certificar el Sistema Integrado de Gestión en el 2024. |
| 4. | Alcanzar el nivel de representatividad de un 40% de los productos de Segurmática en el mercado nacional en el 2024. |
| 5. | Fidelizar el 90% de los clientes de Segurmática en el 2024. |
| 6. | Incrementar en un 20% la capacidad de liquidez en MLC en el 2024. |
| 7. | Incrementar el nivel de ventas en un 20% en el 2024. |
| 8. | Incrementar la eficiencia económica en el 2024. |

Figura 1: Mapa estratégico 2022-2024 empresa Segurmática

Para evaluar el desempeño de la empresa, tomando como base el cumplimiento de los objetivos anuales, los cuales están encaminados al cumplimiento de los estratégicos, se calcula el Índice de Desempeño Organizacional (IDO).

$$IDO = \sum a * IDPE + b * IDPC + c * IDPI + d * IDCD \qquad (1)$$

Donde:

IDPE: Índice de desempeño de la perspectiva económica financiera
IDPC: Índice de desempeño de la perspectiva de clientes
IDPI: Índice de desempeño de la perspectiva de procesos internos
IDCD: Índice de desempeño de la perspectiva de formación, crecimiento y desarrollo
Siendo: a, b, c y d = 0.25 los pesos específicos que se le otorgue a cada perspectiva en la medición del desempeño organizacional (a + b + c + d = 1).

Con el cálculo de dicho indicador, al cierre del 2023, se obtiene que IDO = 0,568; por lo que conforme a la escala de la Tabla 1

Tabla 1: Rango de valores para el cálculo del indicador Índice de Desempeño organizacional

| Evaluación de la empresa | Índice de Desempeño Organizacional (IDO) |
|---|---|
| Empresa de alto desempeño organizacional | $0.70 \leq IDO \leq 1$ |
| Empresa de desempeño organizacional medio | $0.40 \leq IDO < 0.70$ |
| Empresa de bajo desempeño organizacional | $IDO < 0.40$ |

Se observa que la empresa Segurmática, al cierre del 2023, tiene un desempeño organizacional medio; lo que evidencia la necesidad de que su Consejo de dirección, lleve a cabo un conjunto de acciones para que se alcancen los objetivos trazados en la estrategia.

## 3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Se toma como referencia el modelo de Gestión de Recursos Humanos de Diagnóstico, Proyección y Control de gestión estratégica (GRH DPC) (Figura 2).

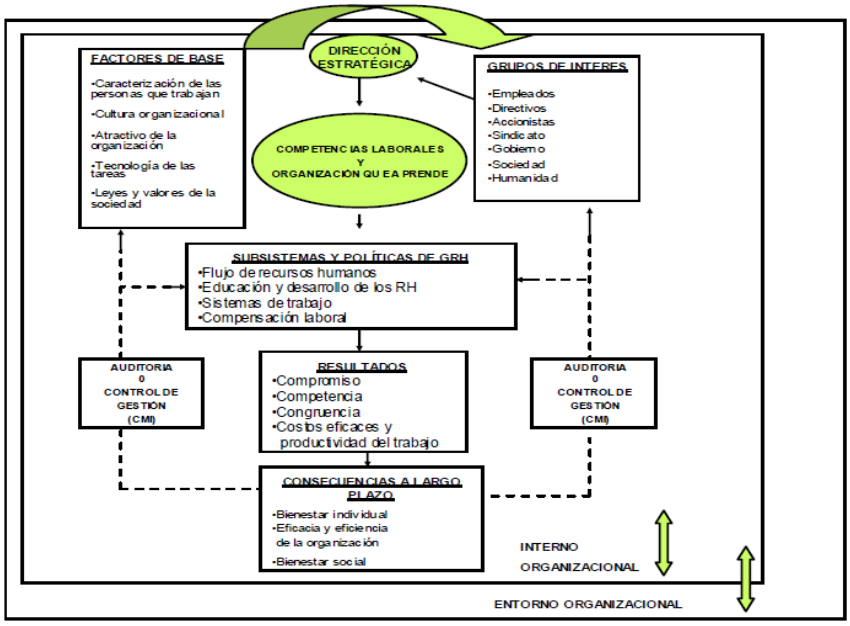



Figura 2: Modelo de GRH DPC

### Factores de base

Se aplicó la "Encuesta sobre la Naturaleza de las Personas" al Consejo de dirección, los resultados son los siguientes:

- El 78.6% de sus miembros tienen experiencia laboral de más de 10 años, lo que los dota de conocimiento sobre la actividad que se realizan.
- En relación con las motivaciones se identifican, como aspectos positivos, que, al 100 % les gusta el trabajo que realizan, ya que les obliga a ser creativos para encontrar la solución y es importante para la ciberseguridad; el 85 % considera que desempeña correctamente su trabajo, aunque opina que puede ser mejorable eliminando el exceso de burocracia que entorpece el desarrollo del trabajo.
- En contraposición, el 50 % no se sienten suficientemente estimulados por parte de la empresa, fundamentalmente por la correspondencia que existe entre el esfuerzo que realizan en su trabajo y el salario que perciben. Además, el 43 % considera que tiene sobrecarga de trabajo, al realizar más funciones de las que corresponden al cargo que ocupan.

La valoración de los encuestados sobre el clima organizacional, se muestra en la Figura 3:




Figura 3: Resultados del clima organizacional

De donde se concluye que:

- En la situación actual, los elementos niveles de exigencia y desafíos (5.92), responsabilidad a los miembros (5.5) y crítica y estimulación a los miembros (5.17), obtuvieron mayor valoración.
- La motivación por el trabajo en la organización (4.00), cordialidad y apoyo entre los miembros de la organización (4.42) y la satisfacción como característica de la organización (4.50), son los de menor valoración.
- Las mayores brechas entre la situación actual y la deseada, se observan en la motivación por el trabajo (2.92), la cordialidad y apoyo entre los miembros (2.50), la satisfacción como característica de la organización (2.42) y el grado de organización en el centro (2.42).
- Los elementos valorados con la máxima puntuación en el estado deseado, o sea, lo que se consideran de mayor impacto son: grado de organización (7.00), crítica y estimulación a los miembros de la organización (7.00) y el desarrollo del potencial creativo y habilidades en la organización (7.00).

Otro análisis respecto a la administración por objetivos se muestra en la Figura 4,

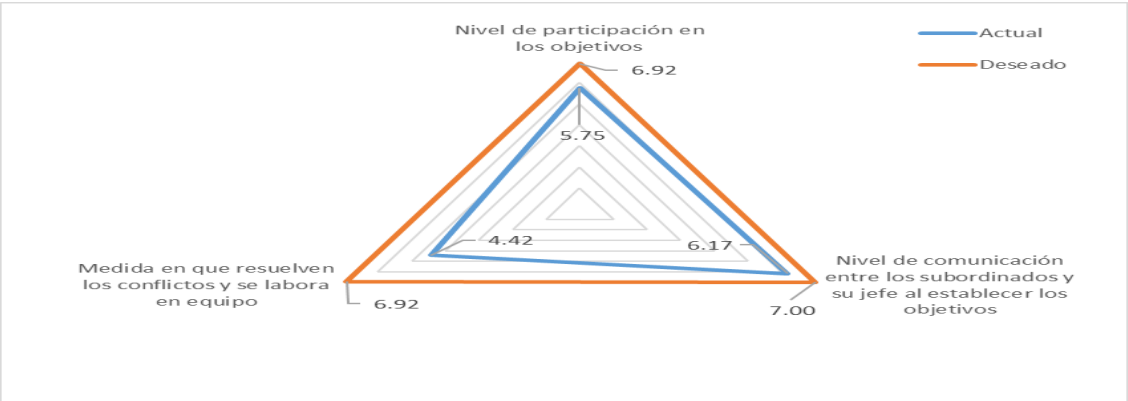



Figura 4: Resultados de la evaluación de la administración por objetivos

También se deduce que:

- La resolución de conflictos, constituye el elemento que presenta la situación actual más desfavorable (4.42).
- El nivel de comunicación (6.17) y el nivel de participación en los objetivos fueron los mejor valorados; lo que refleja que se sienten involucrados en los objetivos definidos en la organización, con una buena comunicación entre los jefes y los subordinados. A este último se le concede el máximo valor deseado, por constituir la base para que se cumplan los objetivos.
- La mayor brecha, entre el estado actual y el deseado se presenta en la resolución de conflictos (2.50).

Otro de los elementos evaluados fue la satisfacción laboral de los miembros del Consejo de dirección. Una vez más se aprecia que existe consenso en cuanto a estar motivados por el trabajo que se realiza:

- Al 92 % les gusta el trabajo que realiza actualmente y el 85 % lo encuentra interesante.
- El 78 % considera que, las condiciones del puesto de trabajo son buenas, así como que han tenido la oportunidad de mejorar su calificación profesional.
- El 50 % coincide que el salario que perciben no se corresponde con el aporte y el esfuerzo que realizan.
- El 42 % afirma que el salario es más bajo que en otros centros.

**Análisis de los subsistemas**

Para el análisis de los subsistemas se utiliza el cumplimiento de los requisitos de la norma a través de los subsistemas de la lista de chequeo de la NC 3001:2007 [16] (Figura 5).

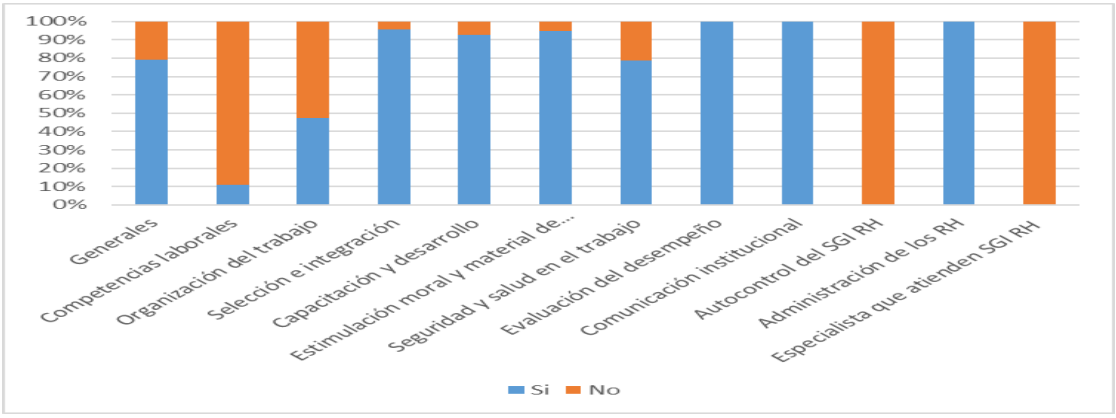



Figura 5: Cumplimiento de los requisitos por subsistema, según la NC 3001:2007

Los resultados de la aplicación de la lista de chequeo de la NC 3001:2007, muestran que:

- Los subsistemas competencias laborales (10 %) y los relacionados con el Sistema de Gestión Integrado (0 %), son los que presentan el nivel más bajo de cumplimiento de los requisitos correspondientes.
- No está implementado el Sistema de Gestión Integrada de los Recursos Humanos (SGI RH).
- Aunque está creado el Comité de Competencias, están desactualizadas, por lo que no se utilizan para la gestión de recursos humanos y, por ende, de los miembros del Consejo de dirección. Lo anterior afecta el cumplimiento de las funciones, tanto individual, como parte integrante del órgano colegiado de dirección.
- El 55% del total de los requisitos del subsistema de Organización del Trabajo se incumplen, siendo muy desfavorable que la empresa no cuente con programa alguno para llevar a cabo los estudios de organización del trabajo, que soporten la plantilla de cargos, funciones, a partir de la carga y capacidad de los puestos de trabajo.

El diagnóstico de la gestión de recursos humanos mostró que, se debe priorizar el subsistema de gestión por competencias laborales, las cuales se encuentran desactualizadas y no incluyen aquellas que aseguren el desempeño adecuado del Consejo de dirección. Al mismo tiempo, resulta necesario trabajar en la solución de conflictos, los mecanismos que permitan elevar la motivación y satisfacción laboral de los miembros. Como elementos de apoyo, y por constituir fortalezas, deben aprovecharse que los miembros se sienten motivados con el trabajo que realizan, consideran que existen posibilidades de superación profesional, así como se sienten partícipes en la identificación y cumplimiento de los objetivos.

## 4. DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL CONSEJO DE DIRECCIÓN DE SEGURMÁTICA

**Funcionamiento del consejo de dirección**

Como punto de partida para el diagnóstico del funcionamiento del consejo de dirección, se toma de referencia el Modelo propuesto por Zenea [17] (Figura 6).

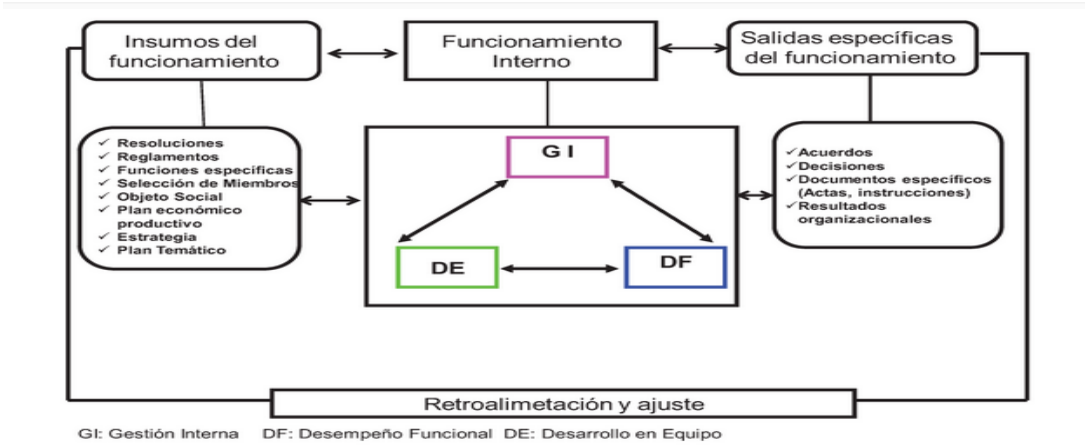



Figura 6: Modelo del proceso de funcionamiento del Consejo de dirección

Para profundizar en el diagnóstico, se revisaron los siguientes documentos: Protocolo Único de Resoluciones, Plan temático y actas de las sesiones del Consejo de dirección, Informes de balance de los años 2022 y 2023.

El Consejo de dirección de Segurmática está compuesto por 16 miembros: el director general, los directores funcionales, los especialistas principales y los representantes de la organización política y de masas. Su funcionamiento se regula mediante la resolución 25/2022 de la Directora general de la empresa. En la primera sesión de cada año, se aprueba el plan temático el cual abarca todas las áreas y se priorizan aquellos temas donde se debe prestar mayor atención.

Mediante la observación del desarrollo de las sesiones de trabajo del Consejo y la revisión de las actas del 2023, se pudo comprobar que:

- La participación de sus miembros, se enmarca prácticamente, en un carácter informativo. El nivel de participación en los debates, se centra en un grupo, lo que en ocasiones limita las propuestas de solución, así como el nivel de involucramiento con el tema o tarea que se discute.
- Al cierre de cada trimestre se incluye el cumplimiento de los objetivos anuales, lo que permite actuar para minimizar los riesgos que lo afectan.
- En la preparación de sus reuniones, se presentan problemas con la calidad y tiempo de entrega de los informes, a partir de los cuales, se realizan los análisis; esto impacta negativamente en el nivel de preparación de los miembros, así como el aprovechamiento del tiempo para proponer soluciones que den respuesta a los temas abordados.

Se revisaron un total de 12 actas correspondientes al 2023, donde se tomaron un total de 76 acuerdos. Al inicio del 2024, quedaban pendientes de ejecutar un total de 9 acuerdos (11,8 %), de los cuales 3 (33,3 %) están relacionados con los procesos claves y 1 (11,1 %) corresponde al 2022.

En cuanto a la preparación de los miembros, cada uno tiene identificada sus necesidades de capacitación, donde la modalidad fundamental es entrenamiento en el puesto de trabajo. Sin embargo, al no estar identificadas claramente las competencias de cada uno, además de las relacionadas con sus funciones, deben incluirse las que garanticen un desempeño adecuado como miembro del Consejo, esta no tiene el impacto que se necesita. Además, el análisis del cumplimiento del plan de capacitación, así como su impacto, se hace de manera formal, motivo por el cual no se gestiona de manera adecuada la capacitación de los miembros y, por tanto, su desarrollo.

**Análisis de las disfunciones de los equipos**

Para conocer en qué medida se manifiestan las cinco disfunciones de un equipo, se aplica el cuestionario propuesto por Lencioni [18], representado en la Figura 7, para cuyo análisis se emplea la escala siguiente:

- Una puntuación de 8 o 9 indica probablemente que la disfunción no es un problema en su equipo.
- Una puntuación de 6 o 7 indica que la disfunción puede ser un problema.
- Una puntuación de 3 a 5 indica probablemente que hay que afrontar la disfunción.

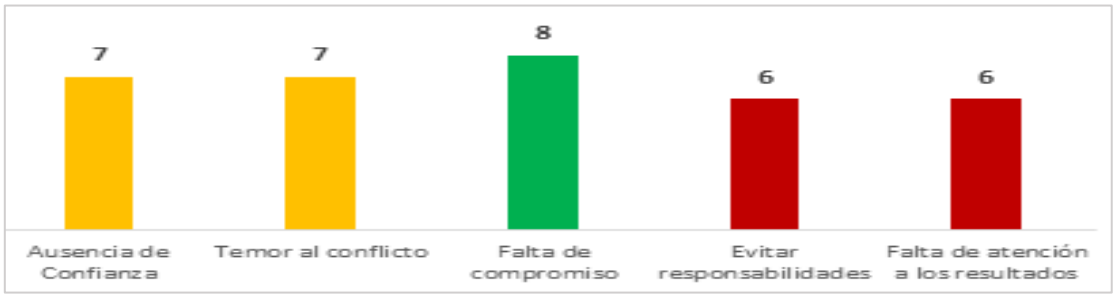



Figura 7: Resultados de la aplicación del test de Patrick Lencioni

Las evaluaciones muestran que las disfunciones:

- Evitar responsabilidades y Falta de atención a los resultados, pueden estar afectando al desempeño del equipo.
- Se debe atender la Ausencia de confianza y el Temor al conflicto.
- En contraposición, la Falta de compromiso no se manifiesta como disfunción.

Este comportamiento debe ser aprovechado para disminuir el impacto de las disfunciones que están afectando los resultados.

**Roles de equipos**

Los tipos de comportamiento que adoptan las personas son infinitos; sin embargo, la gama de comportamientos útiles que contribuyen eficazmente al rendimiento del equipo, es limitada. A estos se les ha denominado roles de equipo, y su ausencia o presencia, puede incidir en el resultado del trabajo [19, 20]. Los miembros de un equipo negocian entre sí el reparto de roles y desempeñan de manera más eficaz aquellos que les son más naturales o preferidos [21]. Un equipo es más efectivo, si sus miembros tienen varios roles y existe un balance entre estos [22].

Con el objetivo de identificar los roles presentes en el Consejo de dirección, a cada miembro se aplicó el Test de Autopercepción de Belbin [23] (Figura 8).

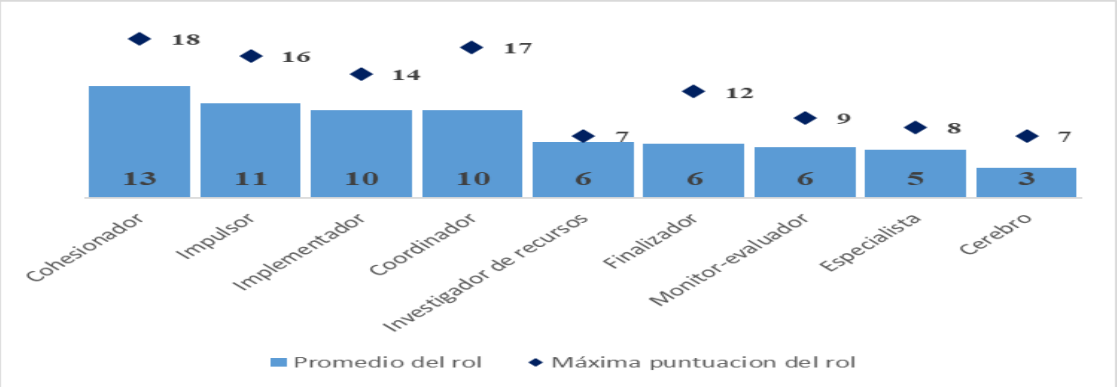



Figura 8: Resultados de la aplicación del Test de Autopercepción de Belbin al Consejo de dirección

Los resultados evidencian que:

- Los roles que se manifiestan, en mayor medida, de manera natural son: Cohesionador (CH, 13), Impulsor (IM, 11), Implementador (ID, 10) y Coordinador (CO, 10); es decir, predominan los de manejo de personas y de acción.
- Los miembros del Consejo de dirección muestran poca disposición a jugar los roles: Cerebro (CE, 3), relacionado con la creatividad y Especialista (ES, 5), aporta los detalles de una actividad determinada).
- La característica más destacada consiste en un ambiente de cooperación, entendimiento y diplomacia, lo que facilita la escucha (CH). Si bien esta característica fomenta un ambiente de confianza, se pueden generar estados de indecisión en situaciones cruciales, para evitar la confrontación.
- Otros miembros equilibran esta situación al aceptar los desafíos de imprimir dinamismo, tener iniciativa, coraje para superar los obstáculos y tener la capacidad de crecerse ante la presión (IM).
- No deben descuidarse los roles de Investigador de Recursos (IR), Finalizador (FI) y Monitor-evaluador (ME). Estos le aportan al Consejo de dirección, establecer conexiones internas y externas (IR), llevar las tareas hasta su cumplimiento, con la calidad requerida (FI), así como valorar diferentes opciones, de manera imparcial, basándose en la información con que se cuenta.
- Si bien los elementos reflejados anteriormente son favorables para un buen ambiente de trabajo, donde se generen iniciativas, haya comunicación y respeto, y que exista la voluntad de sortear los obstáculos, pueden afectar el desempeño cuando no se aprovechan correctamente.
- La debilidad del Consejo de dirección consiste en que puede presentar limitaciones cuando sea necesario generar nuevas ideas, que requieran de creatividad, imaginación, libertad de pensamiento, y conlleve a la resolución de problemas difíciles (CE, 3). En el peor de los casos, no estará en capacidad de afrontar los cambios y retos a los que se enfrenta la organización y que requieren de esas habilidades, por lo que se podría necesitar incorporar personas que asuman este rol.
- Los roles con mayor dependencia del miembro de mayor puntuación (a partir de la diferencia entre el promedio y la mayor puntuación del rol) son: Coordinador (17-10=7) y Finalizador (12-6=6). Esto constituye un riesgo para el buen desempeño del Consejo, ya que, si no se cuenta con ese miembro, no se cuente con las características y habilidades que aporta al equipo, comprometiendo la actividad, tarea o debate.

Con la información obtenida, se identificaron aquellos roles de equipo que están presentes, de manera natural, por los miembros del Consejo de dirección y aquellos que se evitan. De igual forma, fue posible determinar los que tienen mayor dependencia de un miembro específico, y que, de no desarrollarse en otros, puede afectar el funcionamiento de este órgano.

## 5. CONCLUSIONES

1. El Índice de Desempeño Organizacional, que muestra el grado de cumplimiento de los objetivos empresariales, se evalúa de medio (0,568). Por lo tanto, en el Consejo de dirección debe mantenerse un seguimiento permanente de las tareas y actividades que eleven dicho indicador.

2. La gestión de los recursos humanos debe priorizar la definición y/o actualización de las competencias necesarias para asegurar el adecuado desempeño del Consejo de dirección. Además, deben atenderse los temas relacionados con la motivación, la satisfacción laboral y la gestión de conflictos.

3. A partir del análisis de las cinco disfunciones de los equipos, en el Consejo de dirección de Segurmática se manifiestan las relacionadas con evitar responsabilidades y orientación a los resultados, lo cual afecta el desempeño del mismo.

4. En el Consejo de Dirección los roles de equipo que están presentes de manera natural son: Cohesionador, Impulsor, Implementador y Coordinador. Sin embargo, los roles de Cerebro y

Especialista son evitados, los cuales son necesarios desarrollar en aquellos miembros, que presenten una mayor disposición a desempeñarlos.

5. Con el diagnóstico del desempeño del Consejo de dirección, a partir de la evaluación del índice de desempeño organizacional, la gestión de los recursos humanos, las capacidades de dirección y prevención estratégica y del funcionamiento de ese órgano colegiado, se identificaron como las principales dificultades que afectan su desempeño: no están identificadas las competencias de los miembros; el cumplimiento de los objetivos estratégicos es medio, en correspondencia con el índice de desempeño organizacional; no se gestionan los riesgos de manera integral; disfunciones en su funcionamiento relacionadas con la responsabilidad compartida de los miembros y la orientación a los resultados, así como no existe equilibrio entre los Roles de Equipo.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer el aporte realizado a la presente investigación al Ingeniero Leonardo Chun-Lai Borrás Lee, por aportar como parte de su Trabajo de diploma en opción al título académico de Ingeniero Industrial datos e información acerca de la situación actual de la gestión de los recursos humanos del Consejo de dirección de Segurmática.

## REFERENCIAS

1. ALEMAN ACOSTA, Leydis, MALLEUVE MARTÍNEZ, Annete, y ALFONSO ROBAINA, Daniel *Mejora en el desempeño de la empresa ZEDAL SA a través del modelo de integración DEISDE.* Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial, 2022, vol. 6, num. 3. https://doi.org/10.5281/zenodo.7493876
2. LEÓN REYES, Yenisey, MIRANDA LORENZO, Yadney, MANTILLA HEREIRA, Marilyn de la Caridad, GONZÁLEZ PARIS, Evelyn, y ROJO CHAVIANO, Massiel Lais, *Procedimiento de dirección estratégica integrada para el sector hotelero.* Revista Cubana de Finanzas y Precios, 2023, vol. 7, num. 4: pp. 44-58. http://www.mfp.gob.cu/revista/index.php/RCFP/article/view/05_V7N42023_YLRyOtros
3. ANPP, *Constitución de la República de Cuba*. 2019. https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-5-extraordinaria-de-2019
4. PCC, *Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista*. 2021. https://www.pcc.cu/sites/default/files/documentos/2023-06/conceptualizacion-del-modelo-economico-y-social-cubano-de-desarrollo-socialista-y-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-del-partido-y-la-revolucion-para-el-periodo-2021.pdf
5. FLORES MARÍN, Mónica y VANONI, Giuseppe, *Competencias directivas requeridas por los CEO ante la complejidad de las organizaciones del siglo XXI.* Suma de Negocios, 2016, vol. 7, num. 16: pp. 113-124. https://ssrn.com/abstract=3013109
6. RODRIGO RICARDO, José Enrique, RODRIGO MASTRAPA, José Enrique, y GONZÁLEZ VELÁZQUEZ, Mirna Lázara, *Contribución a la mejora de las competencias directivas en empresas cubanas.* RECUS. Revista Electrónica Cooperación Universidad Sociedad., 2019, vol. 4, num. 1: pp. 49-55. https://doi.org/10.33936/recus.v4i1.1753
7. GARCÍA GÓMEZ, Andrés Mauricio , GUZMÁN DUQUE, Alba Patricia , y BIANCHÁ HERNÁNDEZ, Alejandro *Las competencias gerenciales en modelos de Gestión del Talento Humano: caso sector turismo en Santander.* 2020, http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1163
8. PARDO NEGRET, Nerolisa Plan de Acciones para la mejora de la calidad directiva, el compromiso organizacional y los resultados económicos en la Unidad Empresarial de Base Construcciones. Tesis de Maestría, Universidad de La Habana, Cuba, 2020.
9. HERNÁNDEZ MAGAÑA, Jacqueline , PADILLA AGUILAR, Daimeé , y PIÑERO RODRÍGUEZ, Narciso Abel *Una mirada a la identificación de las competencias directivas.* Ingeniería Industrial, 2023, vol. 44, num. 44: pp. 159-174. https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n44.6136

10. *Decreto-Ley 252/2007. Sobre la Continuidad y el Fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano (anotado y concordado) (GOC-2018-1058-O56) Gaceta Oficial No. 56 Ordinaria de 19 de diciembre de 2018*
11. GACETA OFICIAL. *Decreto 281/2007. Reglamento para la Implantación y Consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal. Gaceta Oficial No. 56 Ordinaria. 2018* https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2018-o56.pdf
12. GACETA OFICIAL. *Decreto Ley 34/2021. Del Sistema Empresarial Estatal Cubano. Gaceta Oficial No. 51 Ordinaria. 2021* https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2021-o51.pdf
13. ARIAS RIVERA, Magda, *Repensar la dirección desde la calidad directiva.* Ponencia presentada en el Evento Provincial Gerencia Empresarial y Administración Pública GEAP 2013, vol., num., https://www.researchgate.net/publication/334544701
14. AGUIRREGABIRIA BARTUREN, Francisco Javier Un modelo de intervención con equipos directivos. Tesis Doctoral, Universidad de Deusto, España, 2016. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=133043
15. ZENEA MONTEJO, Mercedes y ARIAS RIVERA, Magda, *Equipos directivos y desempeño organizacional*, in *XV Seminario Iberoamericano para el Intercambio y la Actualización en la Gerencia de la Ciencia y la Tecnología, Ibergecyt 2018*. 2018: La Habana, Cuba. https://www.researchgate.net/publication/329543109_Titulo_Equipos_directivos_y_desempeno_organizacional
16. ONN, *Sistema de Gestión Integrada de Capital Humano* in *NC 3000:3002*. 2007, Oficina Nacional de Normalización. https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/
17. ZENEA MONTEJO, Mercedes, *Metodología para el análisis del funcionamiento del consejo de dirección en el sistema gerencial del MINAG*, ed. M.L. Arias Rivera and T. Cruz Cordero. 2011, Cuba: Editorial Universitaria. https://ebiblioteca.ufg.edu.sv/vufind/Record/catedra_ELB85562/Details
18. LENCIONI, Patrick, *Las cinco disfunciones de un equipo*. 11na Ed. ed, ed. I. Jossey-Bass, a John Wiley & Sons, Inc. Company. 2002.
19. MUÑOZ PEÑA, Marcos, Nuevas tendencias en organización del trabajo. Tesis de pregrado, Universidad de Jaén, España, 2019. https://crea.ujaen.es/handle/10953.1/10151
20. AGUILAR VERA, Raúl Antonio , DÍAZ MENDOZA, Julio César , y UCÁN PECH, Juan Pablo *Influencia de la Teoría de Roles de Belbin en la Medición de Software: Un estudio exploratorio*. RISTI (Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao), 2019, vol., num. 31: pp. 50-66. https://www.researchgate.net/profile/Raul-Aguilar-Vera/publication/333568605_Influencia_de_la_Teoria_de_Roles_de_Belbin_en_la_Medicion_de_Software_Un_estudio_exploratorio/links/5dca23f5a6fdcc575040da69/Influencia-de-la-Teoria-de-Roles-de-Belbin-en-la-Medicion-de-Software-Un-estudio-exploratorio.pdf
21. BACA SÁNCHEZ, Abel Rlvis, Programa de habilidades sociales para mejorar el trabajo en equipo de los docentes del nivel de educación secundaria de la Institución Educativa Víctor Raúl Haya de la Torre De La Provincia de Jaén. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Pedro Luis Gallo, Perú, 2019. https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/6691
22. ADAMIS, Dimitrios, KROMPA, Georgia María, RAUL, Abdul, MULLIGAN, Owen, y O'MAHONY, Edmond, *Belbin's Team Role Balance and Team Effectiveness in Community Mental Health Teams in an Area of Northwest Ireland: Implications for Leadership.* Merits, 2023, vol. 3, num. 3: pp. 604-614. https://www.mdpi.com/2673-8104/3/3/36
23. RODRÍGUEZ PÉREZ, Lizdania, Metodología para el diagnóstico de la Calidad directiva en la sede del Comité Provincial del Partido Comunista de Cuba de Matanzas. Tesis de Pregrado, Universidad de Matanzas, Cuba, 2021. https://rein.umcc.cu/bitstream/handle/123456789/976/TD%282021%29%20Lizdania.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**Sobre los autores**

Niurka Edith Milanés Sarduy: Graduada de Ingeniería en Máquinas Computadoras, Sistema y Redes, en el Instituto Politécnico de Vinitza, Ucrania en 1993. Actualmente, se desempeña como Directora General de la Empresa de Consultoría y Seguridad Informática, Segurmática e investiga sobre el desempeño de su equipo de dirección como parte de su formación como Máster en Dirección en el Centro de Estudios de Técnicas de Dirección (Cetdir) de la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".

Roberto López Boudet: Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular en las asignaturas de Dirección Empresarial y Gestión Económica y Comercial, afín a la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Coordina el proyecto de investigación Desarrollo de capacidades organizacionales para mejorar el posicionamiento competitivo del sector turístico cubano.

# Metodología para la gestión y el análisis de la estructura financiera, que garantice el cambio de la matriz energética en la empresa ACINOX Comercial

Dr. C. Salvador Muñoz Gutiérrez[1]
Msc. Manuel Quintana Sánchez[2]

[1] Profesor Titular del Centro de Estudios de Técnicas de Dirección
salvadorcmg1955@gmail.com
[2] Ingeniero en Electrónica, Empresa ACINOX Comercial
manuel@steels-net.cu

**RESUMEN**

En la presente investigación se realiza un análisis de la gestión de la estructura financiera y el del consumo de los portadores energéticos de la empresa ACINOX Comercial, con el objetivo de crear un fondo de desarrollo, que permita cambiar la matriz energética de la empresa, introduciendo nuevas tecnologías basadas en las fuentes renovables de energía y gestión. La empresa ACINOX Comercial es una empresa estatal cubana que su objeto social es importar, exportar, comercializar y brindar servicios de transportación de cargas marítimas y terrestres.

En ella se identificó como asunto crítico: las dificultades que genera la insuficiente disponibilidad de portadores energéticos, la obsolescencia tecnológica y el déficit de capacidad financiera para gestionar cambios en su matriz energética e introducción de nuevas tecnologías, que permitan una gestión más eficiente, en un escenario de mayor autonomía en el manejo de los recursos, que le permiten cumplir su objetivo más importante, que es crecer y desarrollarse, para el cual es indispensable ser eficiente y eficaz.

Se diagnostica e implementan mejoras en la gestión de los portadores energéticos, en el análisis de su estructura financiera, introduciendo el concepto del bono verde o ecológico, como fuente del fondo de desarrollo que permita implementar cambios en su matriz energética e introducir nuevas tecnologías en su gestión.

**PALABRAS CLAVES:** estructura financiera, matriz energética, bono verde.

**ABSTRACT**

In the present investigation, an analysis of the management of the financial structure and the consumption of the energy carriers of the company ACINOX Comercial is carried out, with the aim of creating a development fund, which allows changing the energy matrix of the company, introducing new technologies based on renewable energy sources and management. The ACINOX Comercial company is a Cuban state company whose corporate purpose is to import, export, market and provide maritime and land cargo transportation services.

In it, the following were identified as critical issues: the difficulties generated by the insufficient availability of energy carriers, technological obsolescence and the lack of financial capacity to manage changes in its energy matrix and the introduction of new technologies, which allow more efficient management, in a scenario of greater autonomy in the management of resources, which allow it to fulfill its most important objective, which is to grow and develop, for which it is essential to be efficient and effective.

Improvements in the management of energy carriers are diagnosed and implemented, in the analysis of their financial structure, introducing the concept of the green or ecological bond, as a source of the development fund that allows implementing changes in their energy matrix and introducing new technologies in their management.

**KEY WORDS:** financial structure, energy matrix, green bond.

**Propuesta de una Metodología de gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos de la empresa ACINOX Comercial**

La metodología de gestión y análisis de la estructura financiera y los portadores energéticos de la empresa elaborada debe garantizar los procesos de inversiones [1], mediante la creación de un fondo de desarrollo, para el cambio de la matriz energética en ACINOX Comercial.

La propuesta metodológica se estructura en 8 fases:

1. Antecedentes
2. Análisis interno de la organización
3. Situación problemática
4. Análisis del entorno
5. Planeamiento estratégico
6. Propuesta de adopción de nuevas tecnologías
7. Planificación de producción, presupuesto y su estructura económica- financiera sometida a riesgo y escenario
8. Ejecución y evaluación de resultados.

Para el desarrollo de la metodología de análisis integral se tuvieron en cuenta las funciones básicas del ciclo de dirección, dividiendo el trabajo en cuatro etapas fundamentales:

**ETAPA I:** Planificación**.** Los propósitos en esta etapa son los de pensar, proyectar, objetivos, anticipación, estrategia, recursos, progreso y ajuste, plazos, presupuesto, desarrollar planes a corto mediano y largo plazo.

Las actividades para realizar en esta etapa serian la creación y evaluación de una lista de chequeo, para diagnosticar la situación de la empresa, elaboración del cronograma de tareas a ejecutar, la recopilación y verificación de la información a ser analizada.

**ETAPA II:** Organización. Los propósitos en esta etapa son los de diseñar, disponer y distribuir el trabajo, integrar, autoridad, recursos para alcanzar los objetivos de forma eficiente y eficaz, estructura, normas y procedimientos, recursos humanos.

La selección de los integrantes del grupo de mejora, la definición del plan temático a ser desarrollado, así como la preparación y presentación de la información a ser analizada.

**ETAPA III:** Gestión- mando- liderazgo- conducción. Los propósitos en esta etapa son los de dirigir, influir, motivar, liderar, conducir, coordinar, trabajar con las personas, comunicar [2].

Las actividades para realizar en esta etapa serian la aplicación de las técnicas de diagnóstico financiero [3].

1. Análisis vertical, análisis horizontal
2. Estado de fuentes y usos de fondos
3. Análisis de ratios financiero
4. Análisis de ratios económicos.

El análisis integral e interpretación de los resultados, la redacción del informe final y sus recomendaciones, para ser puesta a la consideración del consejo de dirección de la empresa por parte del grupo de mejora como órgano asesor.

Los objetivos en esta etapa son:

1. Descubrir los puntos débiles en el ámbito económico - financiero y buscar la forma de disminuirlos.
2. Evaluar la vulnerabilidad de la estructura financiera
3. Determinar la capacidad de endeudamiento potencial
4. Evaluar la capacidad de remunerar capital invertido
5. Analizar la capacidad de autofinanciación
6. Evaluar la calidad de la gestión para financiación.

**ETAPA IV:** Control**.** Los propósitos en esta etapa son los de realizar las acciones para saber si se cumplen los objetivos trazados, las normas, disposiciones de control interno, medir el desempeño y comparar con la planeación estratégica de la empresa, detectar si hay diferencia, tomar acciones de corrección y evitar desviaciones.

Las actividades para realizar en esta etapa serian la toma y revisión del cumplimiento de los acuerdos, elaboración y cumplimiento del plan de medidas para la mejora y la elaboración y aplicación de una lista de chequeo, que nos permita revaluar la aplicación y resultados de esta metodología.

**Implementación del programa de acciones de mejora**

Como resultado del análisis de las causas incidentes en el bajo desempeño del análisis y gestión de la estructura financiera y portadores energéticos en ACINOX Comercial, se diseñó un conjunto de acciones de mejora.

**Acción 1:** Reestructuración y actualización de las funciones del equipo estratégico de mejora: La empresa ACINOX Comercial cuenta con un comité técnico asesor que funge como equipo estratégico de mejora, que deberá sesionar mensualmente y previo al consejo de dirección, en el que informará los resultados del análisis financiero integral.

Dentro de la actualización de sus funciones están: la revisión de los procesos claves de acuerdo con la proyección estratégica de la organización y su actualización de ser necesario. El aseguramiento de todos los recursos necesarios por parte de los procesos funcionales, para realizar los análisis de la estructura financiera y portadores energéticos.

**Acción 2:** Creación y gestión de un fondo de desarrollo empresarial que canalice los fondos financieros necesarios, que permitan el cambio de la matriz energética y otras inversiones no nominales, en la cartera de desarrollo de la empresa [4].

La creación de este fondo de capital corriente, es una solución ante los mecanismos engorrosos de aprobación del Ministerio de Economía y Planificación (MEP) y la OSDE en la ejecución de inversiones, la falta de financiamiento de la banca nacional y accesos a otras fuentes de financiación.

El fondo de desarrollo empresarial, permitirá contar con recursos financieros propios para implementar el cambio de la matriz energética de la empresa, la gestión de este fondo debe ser evaluada trimestralmente en la sesión del comité técnico asesor.

Las fuentes que respaldan este fondo de desarrollo estarían asociadas a las siguientes cuentas y cuantías:

1. 100 % de la depreciación de los activos fijos tangibles
2. 10 % de las ganancias obtenidas por las ventas
3. 10% de los ingresos por los servicios de exportación
4. 10 % de los ingresos del aporte de la empresa filial de transporte
5. 10 % importe por ingresos financieros por almacenaje y/o mora en la renegociación de deudas
6. 100 % del ahorro y benéficos del aporte al Sistema Electro-energético Nacional por el cambio de la matriz energética y/o uso de la tarifa ecológica.

Adicionalmente, se propone la creación del **Bono verde o ecológico** que nutre el fondo de desarrollo empresarial y que se formaría de la retoma financiera del 10 % del valor del aporte empresarial por el impuesto por utilidades y del 10 % del aporte por el Rendimiento de la Inversión Estatal, como una bonificación del estado a la empresa estatal, para su uso exclusivo en la adquisición e implementación de tecnologías con fuentes renovables de energías.

**Acción 3:** Crear un grupo de trabajo que gestione el proceso de transición energética y la modernización de la Infraestructura tecnológica empresarial, con planeación de las acciones a corto, mediano y largo plazo.

Adscrito a la Dirección de Desarrollo este grupo tendrá la función principal de gestionar el fondo de desarrollo para inversiones, modernizar la infraestructura tecnológica empresarial, modificar la metodología de medición y control del consumo energético empresarial y crear un sistema de aprovechamiento máximo de las infraestructuras existentes y las nuevas por desarrollar, rindiendo cuentas trimestralmente al comité técnico asesor de la empresa.

**Acción 4**: Implementar la transición energética de la empresa**,** estableciendo un procedimiento de gestión de los portadores energéticos con un rumbo estratégico empresarial, implementación de las nuevas tecnologías de energía, por etapas [5]: Instalación de paneles solares y/o aerogeneradores, cambio del parque automotor,

diseño e implementación del concepto de edificio inteligente, elevando los niveles de gestión, eficiencia, eficacia y efectividad de la empresa.

**Evaluación de la viabilidad e importancia de las acciones de mejora**

Se realizó la evaluación, selección y orden de ejecución de las acciones de mejora propuestas, teniendo en cuenta su importancia y viabilidad.

En la Tabla 1 se identifican las puntuaciones otorgadas a cada una de las acciones.

**Tabla 1: Evaluación de las acciones de mejora de acuerdo a su importancia y viabilidad de ejecución. Fuente: Elaboración propia.**

| No. | Importancia | Viabilidad |
|---|---|---|
| 1 | 4 | 4 |
| 2 | 5 | 2 |
| 3 | 5 | 4 |
| 4 | 4 | 4 |

Para ello es importante tener en cuenta que:

- **Importancia**. Efecto esperado que va a tener la iniciativa en caso de ser implementada. Se otorga una puntuación a la acción de acuerdo con la necesidad que tenga la organización de implementarla (Valores de menor a mayor grado de importancia).

- **Viabilidad**. Mide la complejidad de una iniciativa para ser implementada.
  Se tiene en cuenta para su evaluación la disponibilidad de recursos y el tiempo de ejecución de la acción (Valores de menor a mayor grado de viabilidad).

Orden de selección:

- El **cuadrante I. Alto Impacto / Alta Viabilidad:** son las más ventajosas, hay que implantarlas en caso de tener la oportunidad.

- El **cuadrante IV. Bajo Impacto / Alta Viabilidad**: se deben llevar a cabo rápidamente, no va a generar un gran impacto, su realización es sencilla y a corto plazo se pueden obtener resultados.

- El **cuadrante II. Alto Impacto / Baja Viabilidad**: a un plazo mayor, se realizan si la organización puede adquirir los recursos necesarios: Son las de muy difícil realización, aunque es importante tener siempre una o dos en análisis que sirvan como aspiraciones.

- El **cuadrante III. Bajo Impacto / Baja Viabilidad**: son aquellas que no se deben hacer en este momento dado que el impacto que se espera es bajo y conlleva un alto grado de dificultad su implementación.

En la Figura 1: Matriz Viabilidad vs. Importancia de las acciones de mejora a implementar en el proceso de importaciones, se muestra la representación gráfica que resultó del análisis de la Tabla 1.




**Figura 1: Matriz Viabilidad vs. Importancia de las acciones de mejora a implementar en el proceso de importaciones. Fuente: Elaboración propia.**

Teniendo en cuenta la evaluación realizada, se diseñó el programa de acciones de mejora a implementar en la Dirección de importaciones de la empresa ACINOX Comercial, siguiendo el orden de acuerdo con la viabilidad e importancia otorgada.

**Estado de ejecución de las Acciones de Mejora**

La propuesta de acción No.4 para la transición de la matriz energética empresarial está en fase de implantación, el desarrollo de sus etapas se describe a continuación:

**Acción No. 4:**
**ETAPA I:** transformar la matriz energética de consumo de la empresa, instalando paneles solares y/o equipos eólicos con capacidad generadora que permitan independizarse del Sistema Electro-energético Nacional, a una escala que permita abastecer a la empresa y aportar al Sistema Electro-energético Nacional, ejecución es del 30% proyecto paneles solares implementación a nivel de Ingeniería básica.

**ETAPA II**: Electrificar el parque automotor empresarial. Con la introducción de un grupo de bicicletas y motos eléctricas su ejecución es del 10%

**ETAPA III**: Introducir y aplicar concepto de edificio inteligente. Con la sustitución de luminarias eléctricas tradicionales por lámpara LED, su ejecución es del 5%

**Valoración de los resultados de la implementación de la metodología de gestión y análisis integral de la estructura financiera**

Para evaluar la efectividad en la implementación de la metodología de gestión y análisis integral se midió nuevamente la Gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energético (GAEF) a partir de la aplicación de la lista de chequeo con la incorporación de la propuesta de mejoras, mostrándose como resultado un valor de la gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos de 0.58, lo que significa que es tan verdadero como falso que la dirección de ACINOX Comercial tiene una alta gestión y análisis de la estructura financiera y sus portadores energético.

En la Figura 2: Comparación de los resultados de la gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos se muestra como la implementación de la metodología de análisis integral logró incrementar en 0.2 la GAEF, lo que constituye un elemento importante de comprobación de la efectividad de la propuesta.

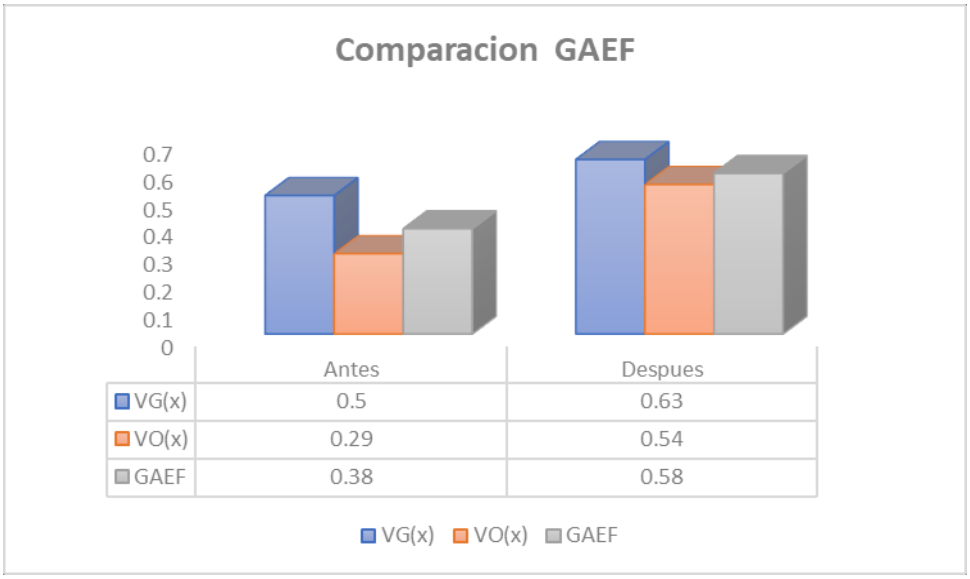



**Figura 2: Comparación de los resultados de la** gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos**, donde VG es variable de gestión y VO variable operativa. Fuente: Elaboración propia**.

A partir del análisis de los resultados de la aplicación de la metodología de análisis financiero integral y el plan de mejora se obtuvieron los siguientes resultados:

1. El desempeño de las variables operativas aumentó en un 86 %. De las 8 variables existentes, 6 tenían bajo desempeño, con el nuevo cálculo, no existen variables críticas.
2. El desempeño de las variables de gestión aumentó en un 26 %. Inicialmente existían sólo 2 con bajo desempeño. Con la implementación de las nuevas medidas fueron eliminadas.
3. La gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos aumentó el valor de verdad en un 53 %

**Valoración de los resultados de la implementación de las Acciones de Mejora**

Las acciones de mejoras propuestas han surgido a partir de las deficiencias detectadas en la gestión y análisis de la estructura financiera y los portadores energéticos en la empresa, con la aplicación de la metodología de análisis financiero integral.

Con la reestructuración y actualización de las funciones del equipo estratégico de mejora, la dirección de la empresa ACINOX Comercial, permite compartir la responsabilidad de la revisión y actualización de la gestión y análisis financiero que rige la actividad; logrando maximizar la capacidad de los especialistas seleccionados, por su visión general de todas las funciones de la empresa y su entorno.

Con la creación de un fondo de desarrollo en la empresa se logra gestionar los fondos que permiten desarrollar las etapas del proceso de inversión para la transición energética de ACINOX Comercial, logrando aprovechar las ventajas de las fuentes renovables de energía para ganar en soberanía energética y obtener otra fuente de ingresos financiero por el aporte al Sistema Electro-energético Nacional.

El Grupo de Gestión para la Infraestructura tecnológica está creado en solo un 15 % de cumplimiento. Esto se debe al cambio estructural que conlleva en la empresa, con todo lo que trae consigo, dígase factores de aprobación, salario, oficina, personal, tecnología, entre otros. La ejecución de esta propuesta en su totalidad está concebida a mediano a largo plazo por la complejidad e inversión necesaria. Además del tiempo que se necesita para la capacitación de los especialistas, que tendrán la función de la sostenibilidad de la propuesta a completarse en un intervalo de un año.

La estrategia del rediseño de la estrategia del negocio y la transición de la matriz energética de la empresa, son temas tan complejos como se pretendan diseñar. La puesta en práctica de estas medidas va más allá de las condiciones internas de la organización. Dependerá de aprovechar las oportunidades que el escenario actual brinda en cuanto a la introducción de nuevas tecnologías y gestionar las amenazas que

impidan contar con los fondos financieros para implementar estos propósitos.

El programa de acción de mejoras muestra resultados positivos al comparar los parámetros evaluados antes y después de aplicadas las acciones. Aún con perspectivas de cumplimiento insatisfechas por factores internos y externos, se logra aumentar el indicador de gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos en un 53 %, crear las bases de un fondo de desarrollo que permita gestionar los recursos financieros para el cambio de la matriz energética en la empresa, resultados son considerados de alto impacto, por su influencia en la eficiencia, efectividad y eficacia de la gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energético de la empresa.

De manera general todo va enfocado a convertir debilidades de la empresa en factores de competencia que constituyan fortalezas futuras, frente a organizaciones de similares funciones.

**CONCLUSIONES**

- La Metodología de gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos permitió determinar las principales dificultades que limitan el desarrollo de la empresa, así como detectó las reservas existentes para mejorar su efectividad, trazar y gestionar las estrategias correspondientes.

- La creación y gestión de un fondo de desarrollo empresarial a partir de los resultados económicos y las fuentes financieras planteadas permitirán de manera autónoma, con fondos corrientes y por etapas implementar la transición de la matriz energética de la empresa.

- Los resultados de la aplicación de la Metodología de gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos y el plan de mejora propuesto a implementar y ejecutado parcialmente en la empresa ACINOX Comercial, demuestran la pertinencia y factibilidad de la propuesta para contribuir al incremento eficiencia y efectividad de la gestión y análisis de la empresa.

- El incremento de los indicadores de la gestión y análisis de la estructura financiera y portadores energéticos, el plan de mejora, la creación de un fondo de desarrollo empresarial y creación de un grupo para gestionar la transición de la matriz energética de la empresa permitió comprobar se puede garantizar un cambio de la matriz energética de la empresa, objeto de estudio, creando un fondo de desarrollo, que permita introducir nuevas tecnologías basadas en la gestión da las fuentes renovables de energía.

**REFERENCIAS**


1. Informe Central al 8vo Congreso del Partido Comunista de Cuba. 17/04/2021.

2. Decreto-Ley No. 34 del Sistema Empresarial Cubano. (2021). Gaceta Oficial de la República de Cuba.

3. Barreto Granda, N. B. (2020). Análisis financiero: factor sustancial para la toma de decisiones en una empresa del sector comercial. Revista Universidad y Sociedad, 12(3), 129-134.

4. Resolución No. 138 de 2017 del MFP.

5. Resolución No.50 del 3 de marzo de 2014, M. (2014). REGLAMENTO GENERAL SOBRE LA ACTIVIDAD DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN". . Gaceta Oficial de la República de Cuba.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TOOL FOR MEASURING THE DEGREE OF IMPLEMENTATION OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE SUPPLY CHAIN
# HERRAMIENTA PARA MEDIR EL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CADENA DE SUMINISTRO

**Amanda García Marichal[1], Beatriz Barrios Brito[2] , Igor Lopes Martínez [3]**

[1] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba; [2] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba; [3] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: *amygarciank@gmail.com*

**RESUMEN**

El avance de la Economía Circular en Cuba está en una etapa inicial, ya que no se reconoce la logística como un sistema funcional dentro de la cadena de valor. Existe una visión limitada de la logística como un simple componente de la cadena, a pesar de la tendencia global hacia el desarrollo de cadenas circulares. Se han desarrollado herramientas internacionales para evaluar y medir la integración de la economía circular en los actores de la cadena de valor. El objetivo que se persigue es proponer una herramienta de medición de la circularidad en las cadenas de suministro, basada en las limitaciones y el insuficiente desarrollo del paradigma circular en Cuba. Se emplean métodos empíricos en el desarrollo de la herramienta, derivados de la revisión documental, los procesos de análisis-síntesis e inducción-deducción. Se obtuvo la herramienta "MECr cuestionario", la cual permite evaluar la circularidad en la cadena de suministro a partir de la adopción de estrategias alineadas a los principios de la economía circular. Su aporte práctico-social es que actúa como una guía metodológica para las empresas cubanas en el proceso de transición hacia el modelo circular, y a su vez, constituye una herramienta de aprendizaje para incorporar en programas de formación.

**PALABRAS CLAVES:** economía circular (EC), circularidad, herramienta de medición, cadena de suministro.

**ABSTRACT**

The progress of the Circular Economy in Cuba is at an initial stage, since logistics is not recognized as a functional system within the value chain. There is a limited view of logistics as a mere component of the chain, despite the global trend towards circular chains. International tools have been developed to assess and measure the integration of the circular economy in the actors of the value chain. The objective is to propose a tool for measuring circularity in supply chains, based on the limitations and insufficient development of the circular paradigm in Cuba. Empirical methods are used in the development of the tool, derived from the document review, the analysis-synthesis and induction-deduction processes. The tool was obtained "MECr questionnaire", which allows to evaluate the circularity in the supply chain from the adoption of strategies aligned with the principles of the circular economy. Its practical and social contribution is that it acts as a methodological guide for Cuban companies in the process of transition to the circular model. The tool being so comprehensive can be incorporated into undergraduate and graduate programs.

**KEY WORDS:** circular economy (EC), circularity, measurement tool, supply chain.

## I. INTRODUCCIÓN

La economía circular está basada en la maximización del valor de los productos, los materiales y los recursos durante el mayor tiempo posible, con una política de cero desperdicios. En este contexto, la transición de las organizaciones hacia una economía más circular puede considerarse como una oportunidad para generar ventajas competitivas sostenibles y eficientes en las mismas. (Martínez-Sánchez & Bovea, 2021)

Para tener éxito, es necesario que las empresas se replanteen el modelo de creación de valor, donde su centro no sea aumentar los volúmenes de producción y dotar de una mayor eficiencia a la cadena de suministro, al contrario, se establezca una cadena de valor enfocado en la aplicación de estrategias de la EC como elemento central en la percepción de unos ingresos que ya no derivarían única y exclusivamente de la venta del producto. (González, 2020)

La creación del nuevo modelo de valor se basa en sistemas productos-servicios, segunda vida de materiales y productos, transformación del producto, reciclaje 2.0, consumo colaborativo y eco-diseños, en aras de conseguir distintas áreas de creación de valor: recursos duraderos, con ciclos de vida más largos, con cadenas de valor interconectadas, siendo capaces de satisfacer a un espectro de consumidores mayor con la comercialización del mismo número de productos. Precisamente (Henzen, 2022) aborda esa transformación en el modelo de creación de valor, puesto que el modelo lineal asocia el ciclo de vida del producto con el momento en que es consumido (modelo cradle to grave), en cambio el modelo circular reinventa las cadenas de producción y los hábitos de los consumidores desde la fase de extracción, producción y diseño del producto o servicio, pues el fin último del modelo es que el deshecho producido por el consumidor pueda servir como recurso a alguien más, estableciendo un modelo de cradle to cradle.

La economía circular es un modelo económico innovador, por lo que debe seguir innovaciones de otros campos, como las tecnologías inteligentes. Aún no existe una metodología universal para determinar la circularidad de una organización empresarial, por ello (Pavlović, Nestic, & Bošković, 2021) proponen apoyar, promover e incentivar el desarrollo de herramientas de software para fomentar la transición hacia el modelo circular.

En este sentido, el objetivo de la investigación es diseñar una herramienta integral que permita a las empresas productoras cubanas evaluar, proyectar y controlar sus procesos y resultados por medio de indicadores que midan el grado de implementación de prácticas circulares dentro de la cadena de suministro.

## II. MÉTODO

Se emplean métodos empíricos en la construcción de la herramienta, derivados de la revisión documental, los procesos de análisis-síntesis e inducción-deducción, con su comprobación y enriquecimiento en la práctica. El procedimiento seguido en la construcción de la herramienta resultó de: revisar el marco teórico referencial y el legal asociado; incorporar las experiencias de los investigadores; determinar las variables a considerar y su análisis por métodos estadísticos con lo que se representan las restricciones y brechas de conocimiento a considerar al encontrar invariantes, diferencias e incluso detectar posibles elementos no tratados y exigidos.

Posteriormente, se realiza su aplicación práctica para su comprobación y enriquecimiento con diversas herramientas. Adicionalmente, se aplican pruebas para medir su usabilidad, aplicabilidad y grado de recomendación.

## III. RESULTADOS

El desarrollo de la economía circular en Cuba es insuficiente principalmente debido a la falta de una cultura de innovación, la ausencia de incentivos, el desconocimiento del concepto y la falta de conexión entre el sector estatal y privado. (Imbernó Díaz, 2023) Necesariamente el logro de la circularidad, depende en gran medida, de la capacidad de las políticas públicas para fomentar, difundir y capacitar respecto al modelo de economía circular, así como de la medida en que se logren generar estrategias realistas para su promoción. Sin embargo, el gran vacío de las empresas inicia desde su planificación, la medición y el control.

La importancia de la medición consiste en lograr que la compañía consiga cumplir con sus metas y objetivos (planificación), dado que la medición permite “comparar una magnitud con un patrón preestablecido, lo que permite observar el grado en que se alcanzan las actividades propuestas dentro de un proceso específico” (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Guía para diseño, construcción e interpretación de indicadores).

Por consiguiente en la exploración bibliográfica se puedo extraer y analizar herramientas evaluadoras de la circularidad internacionales relevantes y más acertadas al entorno en el que operan las empresas cubanas. En función de esto, las principales fuentes de información fueron las herramientas TECNUN, Inedit y CircularTrans, que se enfocan en el seguimiento de todo el proceso, desde el almacenamiento de las materias primas hasta la etapa en la que el producto final se encuentra listo para su distribución (de la puerta a la puerta). (Henzen, 2022)

A partir de estas herramientas seleccionadas, de naturaleza cualitativa, se procedió a un análisis de brechas que pudieran convertirse en criterios de buenas prácticas o aspectos relevantes para el diseño de la herramienta cubana "MECr cuestionario". Como se puede observar en la tabla 1

Tabla 1: Análisis de brechas entre las herramientas digitales seleccionadas.

| CRITERIOS | TECNUN | INEDIT | CIRCULARTRANS |
|---|---|---|---|
| Disponibilidad | - | x | - |
| Carácter oficial | x | - | x |
| Lenguaje técnico | - | x | x |
| Precisión de la escala | - | - | - |
| Integralidad | x | - | x |

Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo con las restricciones del acceso informático en Cuba, se requiere el uso de una red privada virtual (VPN) para acceder a la herramienta TECNUN. Por otro lado, la herramienta CircularTrans está disponible únicamente para empresas registradas, y para su registro se solicita un conjunto de información específica de la empresa, limitando su uso a aquellas radicadas en España. En contraste, la herramienta Inedit puede ser accedida fácilmente a través de un buscador en línea.

Otro punto importante a destacar es, que tanto la primera como la última herramienta han sido desarrolladas mediante la colaboración entre instituciones gubernamentales y universidades especializadas en economía y ciencias empresariales en España. Por otro lado, la herramienta Inedit es producto del trabajo del grupo de eco innovadores Inedit Innova.

En cuanto al tecnicismo de las herramientas, TECNUN presenta un lenguaje sencillo y de fácil comprensión, aunque su traducción automática al español puede resultar desfavorable. Además, las escalas de evaluación utilizadas en los tres casos son diferentes. En el caso de Inedit, no se dispone de una escala, esta proporciona automáticamente una puntuación de 0 a 100 del índice de circularidad a partir de la selección de casillas preestablecidas, mientras que las otras herramientas requieren que el evaluador valore diversos aspectos utilizando escalas con niveles ampliamente espaciados, lo que puede afectar la precisión de las evaluaciones.

Finalmente, el criterio de integralidad se refiere al nivel de profundidad con el cual las herramientas abordan el tema, ya sea a través de la cantidad de preguntas o de bloques de preguntas incluidos en ellas. Definitivamente, estos factores imposibilitan la utilización de alguna de estas herramientas, por lo que fundamenta la creación de una herramienta aterrizada a la realidad empresarial cubana que evalúe los parámetros claves de la economía circular.

Para la creación de la misma se tuvo en cuenta una serie de criterios relevantes de estas herramientas.

1. Tipo de herramienta.

En el análisis documental se hace mención a la existencia de herramientas de naturaleza cuantitativa que se guían por los requisitos establecidos en materia de sostenibilidad por el "European Sustainability Reporting Standards" (ESRS), las cuales no resultaría satisfactorio, debido a que depende de una serie de datos, que un gran volumen de empresas cubanas no tiene concebido, como la medición de:

- Uso de recursos renovables y no renovables, incluyendo la cantidad de materiales y energía utilizados en una actividad económica.

- Valor agregado generado y los recursos utilizados, así como la reducción de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Índices de reciclaje, la reutilización y la valorización de residuos, así como la reducción de la cantidad de residuos generados.
- Nivel de diseño de productos con materiales ecoeficientes, incluyendo la durabilidad y la separabilidad de los mismos, así como su capacidad para ser reciclados y reutilizados.

2. Adaptabilidad y nivel de precisión.

Las preguntas deben adaptarse a cualesquiera de las cadena de suministro que se aborden en la evaluación, además se debe lograr un equilibrio con el nivel de detalle de las preguntas. Al tener un mayor cantidad de pregunta se realiza un análisis exhaustivo, pero al ser tan específico se incurre en la posibilidad de adoptarse en cualquier empresa. En este sentido, se hace una comparación de las herramientas y como resultado lo establecido por el MECr cuestionario.

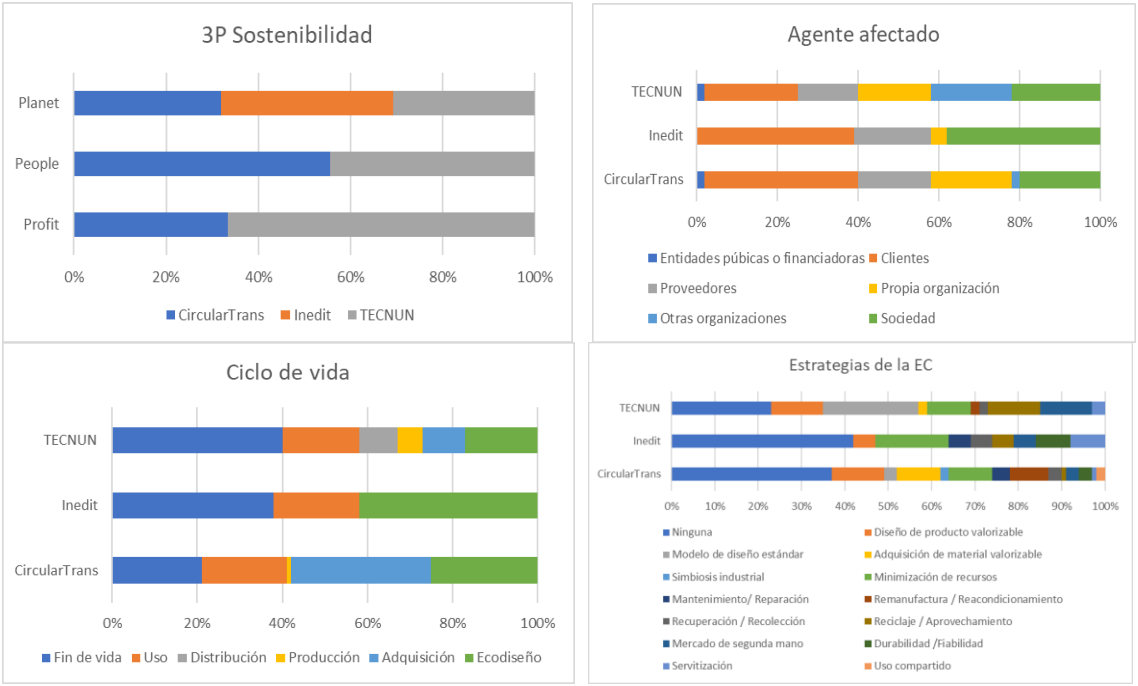
Tabla 2: Comparación entre el MECr cuestionario y las herramientas de medición analizadas.

| | TECNUN | Inedit | CircularTrans | MECr cuestionario |
|---|---|---|---|---|
| **Preguntas** | 29 | 16 | 153 | 41 |
| **Bloques** | 7 | 1 | 8 | 8 |
| **Adaptabilidad** | ✓ | ✓ | - | ✓ |

Fuente: (Elaboración propia)

3. Aspectos de interés.

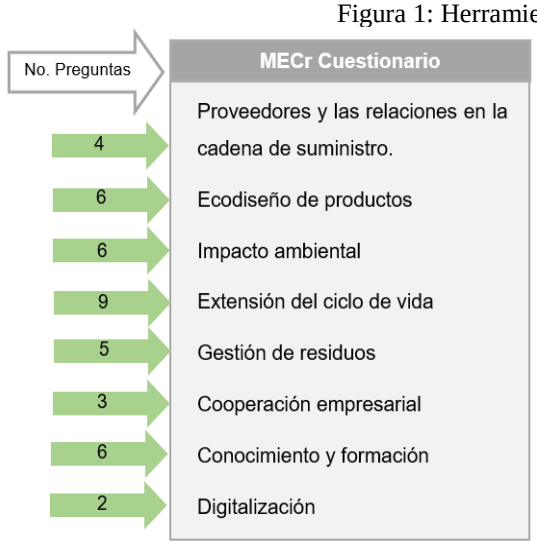
Estas se estructuran por bloques de preguntas que corresponden a las etapas del ciclo de vida del producto y la sostenibilidad a lo largo de la cadena. En los gráficos se hace una comparación de estas herramientas, donde se expone el grado de interés de las mismas en cada aspecto relevante en el desarrollo circular. Inicialmente, se expone el porcentaje en cantidad de preguntas enfocado a las tres áreas de desempeño de la sostenibilidad, etapas del ciclo de vida y las estrategias de la economía circular a partir de su incidencia en proporción de preguntas.



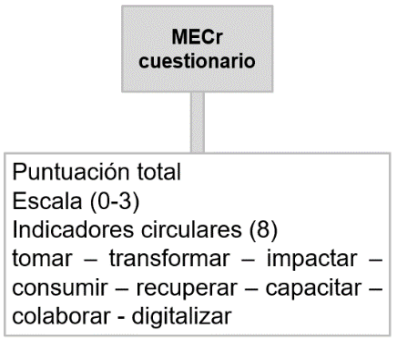

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Valls-Val, Ibáñez-Forés, & Bovea, 2022)

Como resultado se obtiene 41 preguntas distribuidas en 8 bloque de preguntas que corresponden a los ejes de actuación de la economía circular. En las figuras a continuación, se puede observar un resumen del contenido y estructura de la herramienta MECr cuestionario.

Figura 1: Herramienta MECr cuestionario.




a)




b)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Glosario_de_término | **Valoración del estado actual de cada aspecto del MECr** | | | | | | |
| | Puntuación otorgada: Cada pregunta se evalúa con una puntuación entre 0-3, solo números enteros. | | | | | | |
| | Leyenda (0) NO / muy mal / muy bajo / baja aplicación / no existente | | | | | | |
| | (1) Regular / regularmente se aplica | | | | | | |
| | (2) Bien / medianamente alto / aplicación aceptable / existente, pero en desuso | | | | | | |
| | (3) SI / excelente / muy alto /elevada aplicación | | | | | | |
| | **Señale con una (X) si no se tiene concebido en la entidad** | | | | | | |
| **No.** | **Pregunta** | | | | | | **Puntuación otorgada** |
| I | **Proveedores y relaciones con la cadena de suministro** | 0 | 1 | 2 | 3 | | 2.25 |
| 1.1 | ¿Se trabaja con proveedores locales para reducir la huella de carbono asociada al transporte de los materiales? | | 1 | | | | |

c)

Figuras 1. a) Relación entre la cantidad de preguntas por eje de actuación de la economía circular. b) Método de puntuación establecida para proporcionar el índice de circularidad. c) Vista de la leyenda para la puntuación a otorgar por el evaluador. Fuente: (Elaboración propia)

Como se mencionó anteriormente cada herramienta tiene escalas e indicadores circulares diferentes (Figura 3), a continuación se expone brevemente:

La dos primeras proporcionan el índice de circularidad, el cual describe el grado de implementación de la economía circular a nivel cualitativo, entregando una evaluación inicial la cual sirve como punto de partida para medir la circularidad en las empresas.

En el caso de la última, es análisis es más detallado y complejo, pues aborda el grado de madurez de la organización en su transición hacia un modelo circular, a partir de la evaluación de los procesos y actividades comerciales de la empresa, en cuanto a su alienación con los principios de la economía circular.

Figura 3: Comparación de las escalas entre las herramientas.

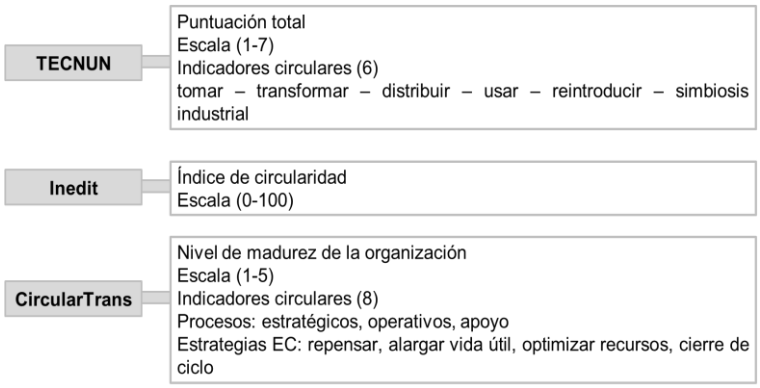



Figura 3. Relación escala, índice de circularidad e indicadores de las herramientas analizadas. Fuente: Elaboración propia basada en (Inedit, 2022; Monsalve Fuentes, 2022; TECNUN, 2017)

Las escalas están basadas en la escala de Likert de 5 y 7 puntos. Las cuales representan un conjunto de inconvenientes a tener en cuenta, como por ejemplo la subjetividad en las calificaciones otorgadas y el sesgo de evaluación producto de a una visión general amplia del desempeño sin capturar los detalles de las contribuciones individuales.

En este sentido, se utiliza como sistema de buenas prácticas escala tipo Likert de 0 a 3 puntos de acuerdo a que proporciona un menor margen de error al reducir el rango de selección. Además, al no poseer un punto medio, obliga al evaluador a emitir un criterio parcial acerca del tema tratado.

En relación al cuestionario MECr (Figura 4), es importante destacar que su adaptabilidad radica en su estructura basada en preguntas estándar. Esto implica que su aplicación se centra en la evaluación de la cadena de suministro de empresas productoras.

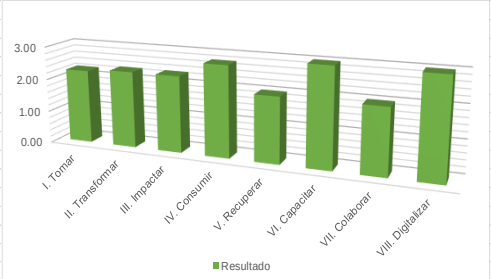
Figura 4: Ejemplo de aplicación de la herramienta MECr.

| No. | Ejes de actuación | Resultado | Indicadores | Definición |
|---|---|---|---|---|
| I | Proveedores y relaciones con la cadena de suministro | 2.25 | Tomar | Aceptable |
| II | Ecodiseño | 2.33 | Transformar | Aceptable |
| III | Impacto ambiental | 2.33 | Impactar | Aceptable |
| IV | Ciclo de vida | 2.78 | Consumir | Fortaleza |
| V | Gestión de residuos | 2.00 | Recuperar | Aceptable |
| VI | Conocimiento y formación | 3.00 | Capacitar | Fortaleza |
| VII | Cooperación empresarial | 2.00 | Colaborar | Aceptable |
| VIII | Digitalización | 3.00 | Digitalizar | Fortaleza |
| | | 2.46 | | |

Índice de circularidad: 2.46 Operativo

| Resultado de un aspecto o eje de actuación | Definición |
|---|---|
| Menor que 1,00 punto | Debilidad Severa |
| Mayor o igual a 1,00 puntos y menor que 2,00 puntos | Debilidad |
| Mayor o igual a 2,00 puntos y menor o igual que 2,50 puntos | Aceptable |
| Mayor que 2,50 puntos | Fortaleza |

| Resultado general | Definición |
|---|---|
| Menor o igual que 0.50 puntos | Incipiente |
| Mayor que 0.50 puntos y menor que 1,00 puntos | Básico |
| Mayor o igual a 1,00 puntos y menor que 2,00 puntos | Moderado |
| Mayor o igual que 2,00 puntos y menor que 2.50 | Operativo |
| Mayor o igual que 2,50 puntos | Estratégico |




| No. | Resultado | Definición |
|---|---|---|
| I. Tomar | 2.25 | Aceptable |
| II. Transformar | 2.33 | Aceptable |
| III. Impactar | 2.33 | Aceptable |
| IV. Consumir | 2.78 | Fortaleza |
| V. Recuperar | 2.00 | Aceptable |
| VI. Capacitar | 3.00 | Fortaleza |
| VII. Colaborar | 2.00 | Aceptable |
| VIII. Digitalizar | 3.00 | Fortaleza |

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Asua Berasaluce, Junio, 2021 ; Circulytics, 2020; González, 2020; Henzen, 2022; Ibáñez Forés, July,2020; Imbernó Díaz, 2023; Inedit, 2022; Lopes Martínez, 2013 ; Monsalve Fuentes, 2022; TECNUN, 2017; Valls-Val et al., 2022)

Como se puede observar en la figura anterior, la lógica utilizada para calcular el índice de circularidad se basa en la puntuación otorgada por los evaluadores a las 41 preguntas del cuestionario MECr, que corresponden a 8 indicadores, los cuales se desglosan en dos categorías: facilitadores (indicadores que se centran en la transformación global de la organización hacia un entorno circular) y los resultados alcanzados (se centran en las entradas y salidas del proceso).

Luego se ponderan en función de los ejes de actuación y se determina matemáticamente el índice de circularidad, a partir de una escala cualitativa que especifica cinco escenarios o niveles de implementación de la economía circular a nivel cualitativo, entregando una evaluación final, que representa un punto de partida para las empresas, pues al conocer el escenario en cual se encuentran, pueden tomar acciones que impacten de manera circular y económicamente sustentable.

Se propone una adaptación a la escala definida por (Lopes Martínez, 2013), con el objetivo de proporcionar un resultado numérico, esta escala se muestra a continuación:

Tabla 3: Escala de la herramienta MECr cuestionario.

| **Resultado general** | **Nivel** | **Descripción** |
|---|---|---|
| Mayor o igual a 2,50 puntos | Estratégico | El modelo de negocio, la forma organizativa y la creación de valor están totalmente alineadas con las estrategias de la economía circular. |
| Mayor o igual a 2,00 puntos y menor que 2,50 | Operativo | Se muestra un compromiso claro con los principios de la economía circular, la propuesta de valor se encuentra alineada con los mismos. |
| Mayor o igual a 1,00 y menor que 2,00 puntos | Moderado | Se caracteriza por acciones significativas en la implementación de prácticas circulares, pero aún no se han extendido a todos sus procesos. |
| Mayor que 0,50 y menor que 1,00 puntos | Básico | Se realizan algunos esfuerzos preliminares para alinearse con las estrategias de la economía circular. |
| Menor o igual que 0,50 puntos | Incipiente | La organización opera bajo un enfoque lineal y la conciencia sobre los principios de la economía circular es muy limitada. |

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Lopes Martínez, 2013).

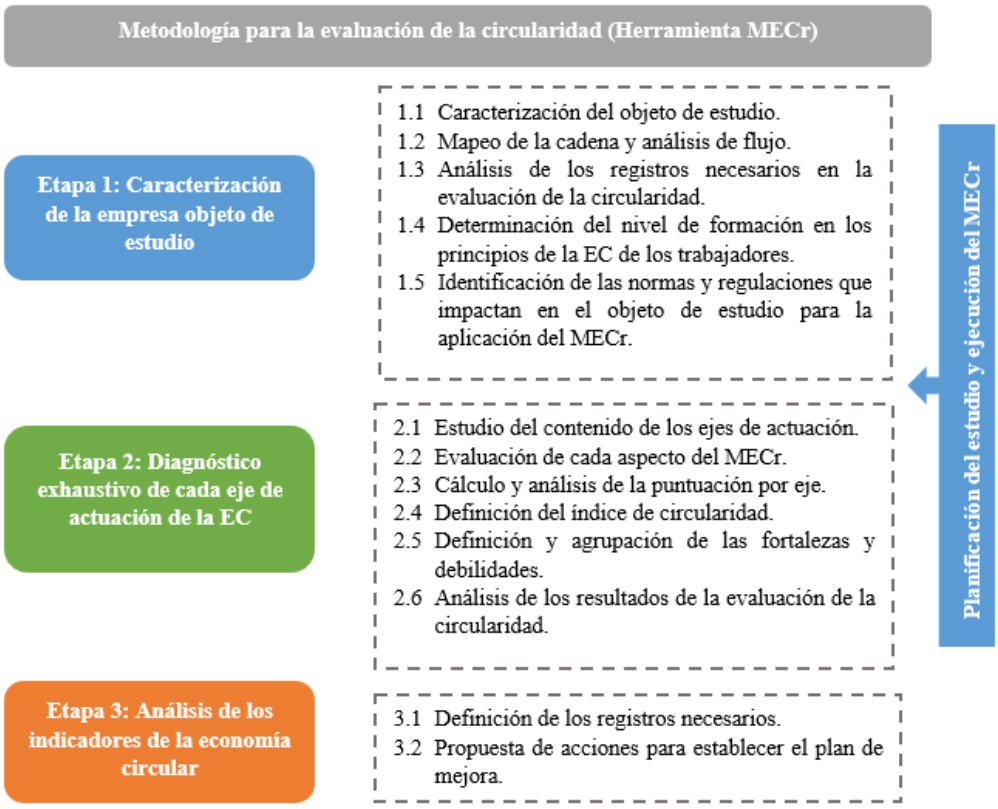
Durante este debate, es importante considerar el contexto y los objetivos específicos de la entidad. Algunas debilidades pueden tener un impacto más significativo en comparación con otras. Este análisis proporciona una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades inherentes a la circularidad, y sienta los cimientos para la formulación de acciones y estrategias de mejora.

## IV. DISCUSIÓN

La herramienta MECr refleja los principales ejes de actuación que impactan en las empresas durante su transición hacia la circularidad, particularmente, los principios fundamentales de la economía circular que puedan ser aplicados de acuerdo a las condiciones de las empresas cubanas con el fin de reducir la brecha existente entre el desarrollo interno y el alcanzado a nivel internacional. Sin embargo, para lograr esta transformación productiva se hace necesario una guía metodológica para adoptar e impulsar el modelo empresarial circular en las empresas manufactureras cubanas.

Cabe destacar que el proceso de evaluación de la circularidad puede llegar a ser iterativo e incremental pues existe una fuerte relación entre las 3 etapas que propician una vez finalizada la última etapa, con sus respectivos resultados conclusivos, volver a la primera etapa a mejorar en cuyos aspectos fueron desfavorables, y por consiguiente tener resultados superiores.

Figura 4 : Metodología de aplicación de MECr cuestionario.




Fuente: Elaboración propia adaptado de (Lopes Martínez, 2013 ).

Como aporte del estudio se proporciona una guía sistemática para la evaluación de la circularidad de en empresas manufactureras, procedimiento que consta de 3 etapas y 13 pasos, incluyendo una herramienta denominada MECr cuestionario, que permite evaluar el grado de implementación de la economía circular de forma cualitativa en la organización.

## V. CONCLUSIONES

El MECr refleja los principales ejes de actuación que influyen en la circularidad, incluyendo los aspectos claves asociados a cada uno de ellos desarrollados a partir del análisis documental y la práctica empresarial.

La aplicación del MECr rigiéndose por su procedimiento, permite la evaluación integral de la circularidad en la cadena de suministro, aportando como resultado una valoración del grado de implementación de la economía circular en que se desarrolla la empresa y sirviendo de base para la definición de un plan de acción de mejora.

Basado en la integralidad del MECr, constituye una herramienta de aprendizaje para incorporar en programas de formación, con el objetivo de capacitar a docentes, empresarios, técnicos y estudiantes sobre los distintos aspectos de la economía circular y su impacto en la cadena de suministro.

## REFERENCIAS

1. Asua Berasaluce, J. (Junio, 2021 ). Economía Circular - Diseño de una metodología y herramienta de evaluación de proyectos académicos (Máster en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad ), Universitat Politècnica de Catalunya
2. Circulytics. (2020). Measuring circularity. ellen MacArthur foundation Retrieved from disponible en: https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/overview
3. González, G. I. (2020). De la economía lineal a la circular: la logística inversa y la sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio: Ápeiron Ediciones.

4. Henzen, R. W., Ed. (2022). Economía circular. Un enfoque práctico para transformar los modelos empresariales: Marge Books.
5. Ibáñez Forés, V. B., M Dolores; Hernández-Górriz, Luisa (July,2020). MEASUREMENT OF CIRCULARITY IN ORGANIZATIONS: PROPOSAL OF INDICATORS AND CASE STUDY 24th International Congress on Project Management and Engineering Alcoi.
6. Imbernó Díaz, A. L., Souto Anido, L. (2023). ¨Una mirada al binomio de Innovación y Economía Circular en Cuba¨. Asociación Nacional de Economistas de Cuba.
7. Inedit. (2022). Autoevalúate. Herramienta de autodiagnóstico en economía circular. Retrieved from Disponible en: https://circular.ineditinnova.com/index/es
8. Lopes Martínez, I. (2013). Modelo de Referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos. Technische Hochschule Wildau.
9. Lopes Martínez, I. (2013 ). Modelo de Referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos (Doctorado en Ciencias Técnicas), Universidad Tecnológica José Antonio Echeverría
10. Martínez-Sánchez, V., & Bovea, M. D. (2021). ¿ Comunican las organizaciones aspectos relativos a su circularidad en sus Memorias de Sostenibilidad?
11. Monsalve Fuentes, M. N. (2022). Análisis del grado de implementación de la economía circular para las empresas del Programa Estratégico Regional Maule Alimenta. Universidad de Talca (Chile). Facultad de Economía y Negocios.
12. Pavlović, A., Nestic, S., & Bošković, G. (2021). Circular economy management in business organizations using digital technologies. Serbian Journal of Engineering Management.
13. TECNUN. (2017). Circular economy diagnostic questionnaire. Retrieved from https://economiacircular.wixsite.com/economiacircular/cuestionario
14. Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., & Bovea, M. D. (2022). How can organisations measure their level of circularity? A review of available tools. Journal of cleaner production, 354, 131679.

# METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN TURÍSTICA SOSTENIBLE EN HOTELES CUBANOS

# METHODOLOGY TO IMPROVE SUSTAINABLE TOURISTIC MANAGEMENT IN THE CUBAN HOTELS

**Jorge Ricardo Alfonso Muruais[1], Roberto López Boudet[2], Rafael Modesto Espinosa Almeida[3], Lourdes Sánchez Oramas[4]**

[1] Facultad Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, [2] Facultad Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, [3] Facultad Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, [4] Facultad Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría,
[1]Correo: jorgitoalfonsomuruais@gmail.com.

**RESUMEN**

El sector turístico mundial, cada vez más competitivo, apunta hacia la sostenibilidad. En ello, Cuba se inserta con la aprobación de estrategias de desarrollo medioambientales, y la incorporación de todas sus instalaciones hoteleras al cumplimiento de las siete características de la gestión turística sostenible: estancias verdes, conexión local y filosofía regenerativa, destino y época sin masificación, transporte, capacidad de acogida, transporte, eficiencia comunicativa de las TIC y eficiencia de las fuentes renovables de energía. Uno de los hoteles cubanos no ajeno a este empeño, aún con premios en el cuidado medioambiental, no cumple con cinco de ellas. Por eso, el objetivo de este trabajo es diseñar una metodología para la mejora de su gestión turística sostenible en la hotelería cubana. El empleo de varios métodos de investigación permitió elaborar esta metodología para cualquier instalación hotelera y su aplicación en un hotel de ciudad contribuyó a determinar seis soluciones para su categorización según la política internacional *Wave of Change*.

**PALABRAS CLAVES:** sostenibilidad, gestión turística sostenible, turismo sostenible, turismo cubano, hoteles sostenibles.

**ABSTRACT**

The increasingly competitive global tourism sector is moving towards sustainability. In this, Cuba is inserted with the approval of environmental development strategies, and the incorporation of all its hotel facilities to comply with the seven characteristics of sustainable tourism management: green stays, local connection and regenerative philosophy, destination and era without overcrowding, transportation, reception capacity, transportation, communication efficiency of ICT and efficiency of renewable energy sources. One of the Cuban hotels, no stranger to this effort, still with enviromental prize, has not yet complied with five of them. Therefore, the objective of this work is to design a methodology to improve sustainable tourism management in the cuban hotels. The use of several research methods made it possible to develop this methodology for any hotel facility and its application in a city hotel contributed to determining six solutions for its categorization according to the international Wave of Change policy.

**KEYWORDS:** sustainability, sustainable tourism management, sustainable tourism, cuban tourism, sustainables hotels.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el volumen del turismo iguala, e incluso, supera a las exportaciones de petróleo, productos alimenticios y automóviles. Se ha convertido en uno de los principales actores del comercio internacional y representa una de las principales fuentes de ingresos de numerosos países en desarrollo [1].

Este crecimiento va de la mano de la diversificación y de la competencia entre los destinos turísticos, en el que la contribución del turismo al bienestar económico depende de la calidad. La Organización Mundial del Turismo (OMT) en el ámbito latinoamericano posicionaba, hasta el año 2014, a la región con un crecimiento del 8 %; con destaque en países de Chile, Brasil, Colombia y México. Según sus datos, los

países de este continente: Bahamas, Colombia, Guatemala, Panamá y Uruguay generan el mayor ingreso de divisas; finalmente, para Bolivia, Brasil y México representan la quinta fuerza y para Ecuador y Paraguay, la sexta. En el entorno caribeño, se destacan tres países como referencia para los visitantes extranjeros: Cuba, Puerto Rico y la República Dominicana con grandes ingresos anualmente [1, 2].

Sobre este tema se plantea el cumplimiento de diecisiete objetivos que persiguen su desarrollo a nivel mundial. Lo antes expuesto es un balance integrado e indivisible de tres dimensiones de desarrollo sostenible: la economía, la sociedad y el medioambiente  Estos objetivos son extensibles al desarrollo de un turismo, que incluye: el agua y el saneamiento de costas; los bosques, su desertificación y su diversidad biológica; las ciudades y su desarrollo; el consumo y la producción; la preservación de la vida submarina y la preservación de la vida en ecosistemas terrestres [3].

En la actualidad, una de las formas que más se desarrolla es el turismo sostenible, el cual parte de un balance entre los visitantes, la entidad y su respeto al medioambiente. Para ello, existen modelos que permiten una excelente gestión de la calidad turística en materia de sostenibilidad.

Cuba está inmersa en el desarrollo de los diferentes sectores relacionados con la actividad turística y, con ello, la introducción y desarrollo de nuevas formas de gestión, en la búsqueda constante de mejoras para proveer un servicio de calidad con una forma adecuada a las tendencias modernas. En ello, las políticas estatales acentúan modalidades de consumo y producción sostenibles, la eficiencia en el uso de los recursos y la protección de la vulnerabilidad de la zona costera y los ecosistemas marinos [4].

Una de las corporaciones turísticas del país tiene, como valor para los aspectos de la sostenibilidad, la contribución a la calidad de vida y bienestar social, servir a los consumidores, tratar a los proveedores justamente, preocuparse por la conservación y protección del medioambiente, invertir en investigación, desarrollo e innovación y llevar la dimensión ambiental al desempeño de sus hoteles.

Para el desarrollo de los aspectos esenciales de la Corporación, junto al cumplimento de su objeto social, se hizo necesaria la implementación de la Estrategia económica social para el período 2022/2026; la que está enfocada en lograr altos niveles de eficacia y eficiencia económica y asegurar la renovación u obtención del aval por la gestión ambiental en sus instalaciones [5].

Sobre la gestión turística sostenible se han realizado, en los últimos cinco años, varias investigaciones que aportan las principales siete características que debe tener este tipo de gestión: las estancias verdes, la conexión local y filosofía regenerativa, el destino y época sin masificación, el transporte, la capacidad de acogida, la eficiencia comunicativa de las tecnologías de las informática y las comunicaciones y la eficiencia de las fuentes renovables de energía.

Un hotel cubano de ciudad, perteneciente a una de las prestigiosas cadenas hoteleras extranjeras, es muestra, en toda su extensión, de expresiones de las más diversas culturas y se destaca en la gestión turística sostenible. Sin embargo, subsisten características que afectan su cumplimiento en su integralidad, a saber:

- No aprovechan la conexión y bondades que existe entre hotel y comunidad local.
- No hay una considerable abundancia de estancias verdes y espacios litorales circundantes en las cercanías.
- No aprovechan el potencial de las diferentes fuentes de energía renovables para tener un hotel mucho más adecuado a las características medioambientales.
- No emplean buenas prácticas de comunicación para sus servicios y productos turísticos en temporada baja.

Por lo que el objetivo general de este informe es diseñar una metodología para la mejora de la gestión turística sostenible en la hotelería cubana. En ello, se emplearon diferentes métodos de investigación: teóricos (análisis-síntesis, inducción-deducción, histórico-lógico y enfoque de sistema), empíricos (encuestas, entrevistas, observación directa) y estadísticos (prueba de hipótesis, coeficientes de Kendall y Alfa de Cronbach y diagrama de Pareto).

## 2. MARCO TEÓRICO

La gestión turística se define como el conjunto de procedimientos que se llevan a cabo para el logro de los fines trazados en el destino turístico con la debida planificación y la coordinación de los distintos organismos [5]. Por lo que, el análisis de la gestión turística está relacionado con su vertiente de la sostenibilidad, pues en la mayor parte de la bibliografía consultada, también se le puede atribuir el término responsable, ya que sostenibilidad y responsabilidad están estrechamente ligadas con el medioambiente, su cuidado y el estricto cumplimiento de las normas de calidad [6].

Aunque uno se basa en el desarrollo sostenible para dar respuesta a esos retos; el otro enfatiza la idea de asumir y exigir responsabilidades tanto medioambientales como de salud y bienestar propio. En otras palabras, el turismo responsable es el camino y el turismo sostenible es la meta [7].

Sin embargo, para esta perspectiva, es necesario que posea una naturaleza económica que justifique la necesidad de establecer un plan de gestión turística y cultural que permita establecer los límites para preservar el bien o la dinámica cultural que lo genera. Existe, además, una tendencia respecto a la gestión turística para la búsqueda de la integralidad de sus destinos, con un factor esencial en lo que define este manejo de recursos [5].

De esta manera, el impulso de este tipo de turismo garantiza la necesidad de fortalecer la identidad cultural para que los ciudadanos del presente puedan enriquecerse del pasado y así transmitir los valores a las generaciones venideras. Es vital para involucrarse con la actividad empresarial, la integración con el uso y aprovechamiento de capacidades organizacionales, en aras de desarrollar procesos más eficientes en torno a la actividad turística.

Una gestión turística sostenible debe generar riqueza, sin desmedro de los recursos naturales y culturales y, por el contrario, en la promoción de su conservación y protección, con la mayor participación social en los beneficios, la libre determinación de los pueblos a adoptarlo como instrumento de sus economías, el respeto a la identidad cultural, la reafirmación de las culturas y el derecho a la autogestión de su desarrollo [8].

La estrategia de gestión turística sostenible consta de tres etapas [9]:

- Primera, denominada etapa preliminar, realiza una verificación por parte de la cadena de los hoteles que han mantenido un desarrollo estable en materia de sostenibilidad dentro del mercado nacional e internacional donde se encuentran localizados. Al verificar certificaciones medioambientales, cumplimiento de normas establecidas a nivel de cadena como a nivel de entidad hotelera, entre otras características.
- Segunda, denominada inserción en la *Wave of Change*, realiza las adecuaciones necesarias para que cumpla con sus preceptos fundamentales y, de manera paulatina, incorporar la economía circular, con la aplicación de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar) tiene la responsabilidad de separar y pesar los productos de las operaciones para encontrarles utilidad una vez acabado su ciclo vital, así como de formar a otros compañeros al respecto.
- Tercera, denominada certificación ambiental, es la conformación de un expediente ambiental, donde se exponga los requisitos cumplimentados tanto de la propia estrategia de *Wave of Change* como de las normas de gestión medioambiental [5] y la Estrategia Ambiental Nacional [4] junto a los requisitos que solicita la empresa verificadora [10].

Le empresa a EarthCheck brinda asistencia a negocios, comunidades y gobiernos para la entrega de destinos sostenibles, limpios, seguros y prósperos a viajeros que llegan para visitar, vivir, trabajar y recrearse. Además, tienen como conceptos el valor de las grandes ideas y la importancia de una comunicación clara, al apreciar lo mejor para el negocio como para el planeta [11].

En la actualidad, y con lo ocurrido en los últimos dos años por la pandemia de la COVID-19, el mundo se ha enfocado en potenciar, aplicar y promover nuevas formas de gestión turística, entre las que se destacan: salud, responsabilidad y sostenibilidad. Los viajeros prefieren visitar los diferentes destinos con la condición de que se respete al medioambiente, a través de las estancias verdes, las épocas de mayor turismo con poca masificación, la conexión local y filosofía regenerativa y el transporte “limpio”, entre otros aspectos.

Así, el 71 % asegura que quiere viajar de manera más responsable y sostenible durante los próximos 12 meses. Además, revela que hay cuatro tendencias que forman a los viajes sostenibles en 2022 [12]:

1. Ganar protagonismo en los alojamientos “verdes”.
2. Planificar viajes fuera de temporada y a destinos poco masificados.
3. Obtener una mayor conexión local, en ayuda al desarrollo de la comunidad.
4. Analizar mejor qué tipo de transporte se puede reservar.

El estudio realizado para el cual fueron consultados 30 000 viajeros de 32 países, muestra que la mitad de los encuestados (el 55 % en el caso de España) reconoce que las noticias recientes sobre el cambio climático han influido para tomar decisiones de viajes más sostenibles. Más de un tercio, el 39 %, afirma que los esfuerzos de sostenibilidad de los proveedores de alojamiento y transporte juegan un papel importante al momento de concretar una reserva determinada.

Los términos característicos principales que se tienen en cuenta para la realización del turismo sostenible son [8, 12, 13, 14]:

1. Estancias verdes: aquellos lugares de relajación y de ocio, en territorios extensos, que buscan el contacto con el campo, el mar o la montaña y provocan un impacto significativo sobre el paisaje y sobre las variables ambientales, sin que ello tenga compensaciones suficientes sobre los territorios de acogida; también se expanden hacia las costas.
2. Destinos y épocas sin masificación: en el estudio, casi un tercio (31 %) de los turistas españoles afirman que eligieron viajar en temporadas más bajas y, en los últimos 12 meses, el 28 % optó por un destino de viaje menos popular para evitar la masificación. Expone que hay un dato que llama la atención: el 44 % reconoce que es difícil encontrar destinos atractivos en los que haya menos turistas y un 39 % siente que no se pueden encontrar opciones de viaje sostenibles en las ciudades o en otros destinos turísticos populares.
3. Conexión local y filosofía regenerativa: se ha planteado al “turismo regenerativo”, el que busca despertar tanto en los visitantes como en las comunidades anfitrionas, una conciencia más responsable a nivel social y ambiental en pro de los destinos. Surge, entonces, como un planteamiento orientado hacia la regeneración en áreas rurales, naturales y remotas, pues busca beneficiar a la comunidad local (turismo de base comunitaria), al tiempo que despierta en el visitante un sentido de compromiso en favor de los recursos visitados.
4. Transporte: se refiere a que es uno de los puntos de inflexión más importantes dentro de la gestión turística sostenible, pues el compromiso por la sostenibilidad también ha hecho que algunos viajeros, para reducir su huella de carbono, elijan ciudades más cercanas y que analicen en detalle qué medio de transporte elegir para llegar y cómo desplazarse dentro del destino.
5. Capacidad de acogida: los usos urbanos evaluados obtendrán su localización óptima cuando sean asignados en un lugar que los pueda recibir sin que se degraden gravemente sus características ambientales, de tal manera que su integración en el medio y en el paisaje cuente con la mayor aptitud y el menor impacto posibles.
6. Eficiencia comunicativa de las Tecnología de las Informáticas y las Comunicaciones (TIC): desde el punto de vista del sector turístico, las TIC suponen la visibilidad a nivel internacional de una atracción de gran interés para visitantes deseosos de conocer este patrimonio universal, y, por ende, representa también una generación de riqueza asociada. No obstante, la tradición y vocación turística o no del destino hace que los impactos que pueda provocar este reconocimiento sean diferentes
7. Eficiencia de fuentes de energía renovables: se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales.

Los autores de este artículo han analizado nueve modelos de gestión turística sostenible, a saber:

1. de Raymundo Cuervo (1987),
2. de gestión turístico con enfoque sistémico o modelo de Edward Inskeep (1991),
3. teórico del enfoque estructural de Hall (2001),
4. de evaluación de la capacidad de acogida del territorio (2008),
5. de análisis de la comunicación estratégica de los sitios patrimoniales y espacios protegidos a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones (2015),
6. de gestión para el turismo cultural sostenible de Díaz, (2018),
7. metodológico para evaluar el turismo sostenible en un programa territorial rural de Pérez (2018),
8. para la evaluación de la sostenibilidad de los destinos turísticos con un enfoque a procesos de Robert, Echarri, Acevedo, Kostanje y Cabrera (2020), y
9. de matriz lógica para el turismo ecológico de Lara, Hidalgo, y Cedeño, (2021),

En todos se evidencia que la característica más distintiva de la sostenibilidad, recae en la preservación, cuidado y aprovechamiento de las estancias verdes (89 %), seguida por la conexión local y filosofía regenerativa (78 %) y, en menor cuantía tres características: destino y época sin masificación, capacidad de acogida y eficiencia de fuentes renovables de energía.

No obstante, en opinión de los autores de este artículo, el modelo que mejor se adapta a las circunstancias actuales de sostenibilidad y que abarca todos los elementos es el procedimiento para la evaluación de la sostenibilidad de los destinos turísticos con un enfoque a procesos de Robert, et. al., (2020), pues contempla las siete características que define la literatura como principales en una gestión de turismo sostenible y es el más adecuado para el análisis de esta gestión en la hotelería cubana.

## 3. METODOLOGÍA

Por lo explicado anteriormente los autores de este artículo consideran necesario el diseño de una metodología propia para el entorno cubano que tenga en cuenta estas características. Se conforma, entones, en las 4 fases que se muestra en la figura 1 (cada una con sus respectivas actividades) y tiene como objetivo implementar la gestión turística sostenible en una entidad hotelera cubana, y a la que se le incorpora tres fases (con sus indicadores) y la certificación con la entidad internacional *EarthCheck*.

Los principios para su aplicación son:

1. Selección: debe ser un personal interno o externo al sector, pero que sean conocedores del tema.
2. Dinámica: los integrantes del grupo deben ser proactivos, motivar e implicar a los demás en las características propias de la sostenibilidad turística.
3. Estratégico: la planificación de la estrategia sostenible debe estar enfocada en las necesidades y visiones futuras de la entidad para su adecuación y validación empresarial.
4. Sostenibilidad: debe estar presente en todo momento y la toma de decisiones dentro de las acciones que se deben realizar en la gestión turística.
5. Social: integrar la comunidad con el hotel.

Para su aplicación se debe cumplir con las siguientes premisas:

1. Proyección estratégica: esté concebida dentro de sus objetivos el cumplimiento de la gestión del turismo sostenible.
2. Enfoque hacia el turismo sostenible: conocimiento de los directivos y trabajadores hacia este tipo de gestión.
3. Coordinación con el Consejo de Dirección sobre las características del turismo sostenible: explicación de la metodología con sus beneficios y la necesidad de mantener la estabilidad de sus miembros.

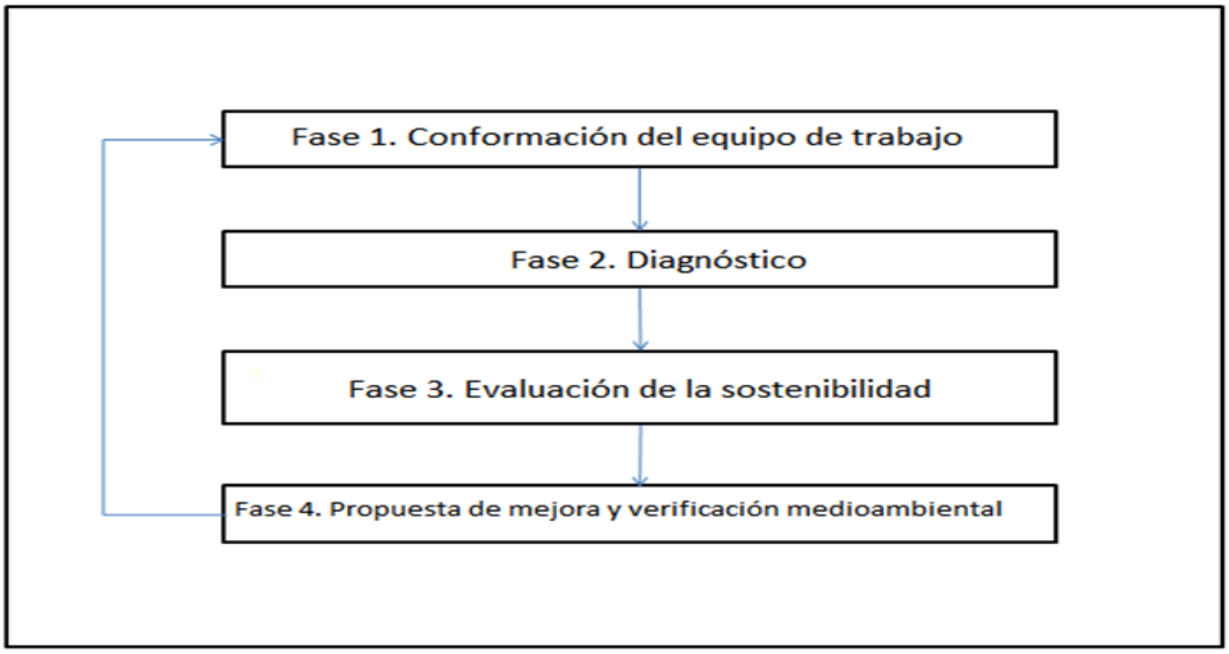


Figura 1. Fases de la metodología para la gestión turística sostenible

**Fase 1. Conformación del equipo de trabajo**

**Actividad 1.1. Verificación del cumplimiento de las premisas**

Se comprueba a través de:

1. La existencia de una planificación estratégica, que contemplen objetivos alineados hacia el cumplimiento de indicadores del turismo sostenible.
2. El empleo de una encuesta, para comprobar que los directivos tienen una alta percepción de la importancia de esta gestión para la instalación.
3. La capacitación en estos temas. Si es necesario, se contrate un especialista en esta materia. Se debe garantizar que al menos haya un 85 % de estabilidad en sus miembros.

**Actividad 1.2. Conformación del equipo de trabajo**

Si se cumplen las premisas se debe conformar un equipo de 5 a 10 miembros, en dependencia de las características del hotel. Se recomienda que sean miembros avezados en materia de sostenibilidad.

**Fase 2. Diagnóstico**

**Actividad 2.1. Verificación de las certificaciones obtenidas**

Se conoce cuántas certificaciones ha obtenido el hotel en materia de sostenibilidad y respeto al medioambiente. De no poseer, no se continúa con el procedimiento hasta tanto no existan certificaciones.

**Actividad 2.2. Caracterización del entorno interno y externo de sostenibilidad**

Se realiza una caracterización del entorno del hotel donde se tengan en cuenta como internas: las estancias verdes, el destino y época sin masificación, la capacidad de acogida, la eficiencia comunicativa de las TIC y la eficiencia de las fuentes renovables de energía; y como externas: las estancias verdes, la conexión local y el transporte.

**Actividad 2.3. Levantamiento de los recursos tangibles e intangibles actuales de sostenibilidad**
Se refiere a las actividades históricas y culturales que se realizan en la comunidad circundante. Para ello, se propone tener en cuenta las características de la sostenibilidad turística y sus elementos tangibles e intangibles.

**Fase 3. Evaluación de la sostenibilidad**

**Actividad 3.1. Análisis de los indicadores de sostenibilidad**

Para el análisis de los indicadores, los que tienen como base los planteados por [15] cada uno debe responderse con una característica determinada de sostenibilidad (ver tabla 1).

Tabla 1. Relación entre características de sostenibilidad y sus indicadores

| Característica | Indicador |
|---|---|
| Conexión local | Planificación turística participativa. |
| | Participación del sector privado turístico en el desarrollo de la actividad turística. |
| | Integración del hotel con la localidad. |

| | |
|---|---|
| | Relación turistas y población residente. |
| | Percepción de la comunidad de la actividad turística. |
| Estancias verdes | Disponibilidad de estancias verdes para nuevos proyectos turísticos. |
| Destino y época sin masificación | Conteo de meses donde los turistas prefieren la temporada alta sobre la temporada baja. |
| Transporte | Conteo de empresas de renta de vehículos eléctricos y ecológicos |
| Capacidad de acogida | Nivel de ocupación de alojamientos del hotel. |
| | Grado de satisfacción. |
| Eficiencia comunicativa de las TIC | Conteo de redes sociales para promocionar la actividad turística. |
| | Grado de actualización de los sitios web. |
| | Campañas de ofertas para turistas repitentes. |
| Eficiencia de las fuentes renovables de energía | Conteo de mecanismos para las fuentes renovables de energía. |
| | Percepción del personal de las fuentes renovables de energía. |
| | Porcentaje de empleo de las fuentes renovables de energía. |

Como se aprecia, estos indicadores tienen nombres homónimos a las siete características principales de sostenibilidad, por lo que se debe analizar la percepción que tiene la instalación respecto a cada uno de ellos y trazar objetivos dentro de cada fase de la planificación estratégica en el cumplimiento de la política de *Wave Of Change.*

**Fase 4. Propuesta de mejora y verificación de sostenibilidad**

**Actividad 4.1. Soluciones sostenibles**

Deben estar en correspondencia con los resultados de la fase anterior de evaluación donde se declaran áreas de mejora alrededor de los entornos de actuación. Esta fase puede exigir la aplicación de otros métodos y técnicas que faciliten determinar acciones concretas en función de la implementación de dichas áreas.

**Actividad 4.2. Seguimiento y control**

Consiste en mejorar las características de sostenibilidad, la frecuencia de evaluación de cada actividad y su comportamiento en cada momento. Junto a esto, se debe evaluar sistemáticamente los indicadores de sostenibilidad para lograr una mayor estabilidad en las indagaciones y evaluaciones.

Para Cuba toda decisión que se tome para beneficio hotelero, dentro de la comunidad, debe responder a lo planteado en [4], en especial para el cumplimiento de la "Tarea Vida" que da respuesta a problemas medioambientales que se han intensificado a causa del cambio climático [16].

**Actividad 4.3. Verificación en las normas aprobadas por la EarthCheck**

Los programas de certificación de la empresa EarthCheck han sido creados para apoyar a inversionistas, propietarios y administradores a lo largo de todas las etapas de una construcción, desde su diseño hasta su operación. Estas certificaciones se orientan en iniciativas de responsabilidad social, mejoras de prácticas corporativas y optimización de desempeño ambiental. La empresa verificadora otorga una categoría [17]:

- Bronce: la empresa debe llenar un registro en línea, desarrollar políticas culturales, sociales y económicas con enfoque sustentable y proporcionar información a un software en línea con al menos 3 meses de datos operacionales. Estos datos servirán para crear un benchmarking de la compañía que permite realizar comparaciones de desempeño a nivel local y específico a su sector.
- Plata: después de haber alcanzado la categoría Bronce, la empresa puede optar por la siguiente categoría. Esta se logra a través de una auditoría realizada por un auditor autorizado por *EarthCheck*, quien visita las instalaciones en proceso de categorización, revisa la documentación mostrada, realiza un recorrido y entrevista al personal involucrado. Dicho proceso debe repetirse anual o bianualmente para renovar su certificación.
- Oro: se alcanza al haber demostrado durante 5 años consecutivos el compromiso sustentable de acuerdo con el Estándar de la Compañía. Al igual que la categoría Plata, debe renovarse cada año para mantenerse.
- Platino: se obtiene bajo la misma estructura que la categoría Oro. No obstante, el plazo de exigencia dentro de la certificación aumenta a 10 años.
- Máster: la máxima categoría de certificación dentro de esta escala. Se logra cuando se ha demostrado un compromiso de sustentabilidad durante 15 años.

Concluida esta actividad y para que este proceso sea de mejora continua se retoma desde la actividad 2.3.

## 4. RESULTADOS

Como aplicación, a modo de ejemplo, se toma un hotel cubano, el cual es uno de los más frecuentados en La Habana. Exhibe por varios años consecutivos el Certificado de Excelencia de la mayor red de viajes del mundo (TripAdvisor) y es sinónimo de clientes con expectativas satisfechas.

Una vez verificado el cumplimiento de todas las premisas y la conformación del equipo de la primera fase, se pasa a la segunda. De ella se observa que el hotel ha obtenido diversos reconocimientos relacionados con el turismo sostenible: Premio a la Gestión Ambiental (2001), Travel Award Choice (2011), Reconocimiento de Sustentabilidad Turística por la Asociación de Hoteles de la Riviera Maya y Premio a la Calidad. Todos se relacionan con los 17 objetivos para el desarrollo sostenible a nivel mundial [18]; los que serán cumplidos paulatinamente a través de la política denominada *Wave of Change* entre todos los hoteles que comprenden la cadena hotelera extranjera que lo administra.

En la caracterización del entorno interno y externo de sostenibilidad se aplicó una encuesta a los integrantes del equipo para conocer el comportamiento de la entidad en las siete características de la sostenibilidad. Se empleó el software estadístico SPSS versión 20 para la concordancia entre sus criterios y se comprueba por el nivel de significancia (0,038), de la prueba de hipótesis, inferior al margen de error (Pvalor de 0,05), con un nivel de confiabilidad del 95 % y un margen de error del 5 %. Para la validación de datos se empleó el coeficiente Alfa de Cronbach y se obtuvo como resultado un 69 % de validez, lo que demuestra que la encuesta y los resultados obtenidos son confiables [19].

Los resultados demuestran que de las siete características, las que determinan el 80 % de las deficiencias son las cinco primeras (ver figura 2):

1. Conexión local y filosofía regenerativa.
2. Estancias verdes.

3. Eficiencia de las fuentes renovables de energía.
4. Destino y época sin masificación.
5. Transporte.

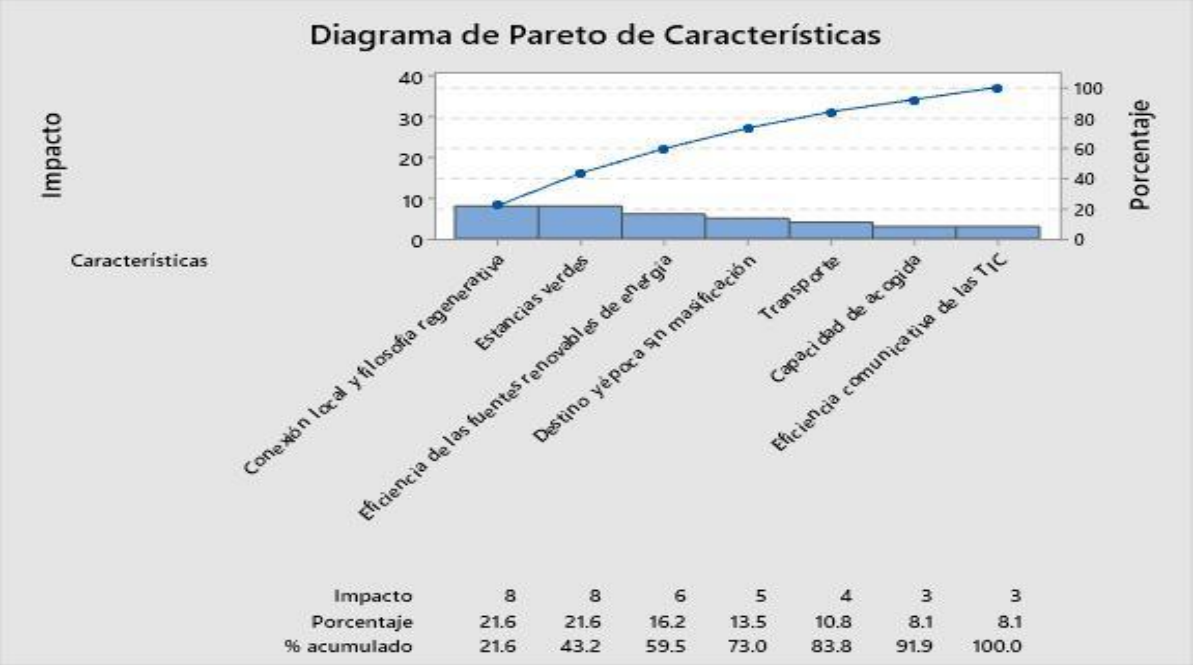



Figura 2. Diagrama Pareto para las características más relevantes

Lo que significa que el hotel tiene una buena imagen en cuanto a gestión turística sostenible, aunque existen deficiencias en las cinco características mencionadas.

El levantamiento de los recursos tangibles e intangibles actuales de sostenibilidad fue realizado por el equipo conformado en la primera fase, a través de la técnica de tormenta de ideas, de donde se concluye que:

1. En las estancias verdes: existen algunos recursos tangibles cerca del hotel: paseos, parques, zona costera, jardines internos y centros históricos.
2. En la conexión local y filosofía regenerativa: existen empresas privadas y estatales en sus alrededores (lo que incentiva la competitividad) y colabora con la comunidad circundante en acontecimientos especiales.
3. En el destino y época sin masificación: los turistas se hospedan fundamentalmente por los paquetes que venden los turoperadores establecidos.
4. En el transporte: no se cuenta con contratos con medios de transportes ecológicos.
5. En la eficiencia comunicativa de las TIC: no tiene sitio web para visitas virtuales al hotel y sus alrededores, incluye eventos histórico-culturales que se celebren en la localidad.
6. En la eficiencia de las fuentes renovables de energía: no cuentan con paneles solares para generar electricidad y calentar agua.

En la tercera fase el análisis de los indicadores mostrados en la tabla 1 correspondientes a las características de sostenibilidad muestra que:
De la conexión local y filosofía regenerativa:

- Planificación turística participativa: por medio de entrevistas, según los especialistas del equipo, los habitantes de la localidad no participan en las prestaciones culturales, patrimoniales y gastronómicas que se realizan en el hotel.
- Relación turista-población residente: se aprecia que hay una relación de cuatro turistas o visitantes por cada habitante. Este indicador tiene una tendencia favorable, pues permite una generación de empleo más acelerada para aprovechar todo el potencial de la comunidad.

- Percepción de la comunidad sobre la actividad turística: por entrevistas aleatorias realizadas por los autores de esta investigación a un grupo de personas de la comunidad, existe una aceptación elevada respecto al arribo de turistas a la localidad y a la instalación.

De las estancias verdes:

- Disponibilidad de estancias verdes para nuevos proyectos turísticos: la disponibilidad para la realización de proyectos turísticos es del 83 %. Esto significa que hay poca explotación de lugares verdes como los costeros en las zonas circundantes al hotel.

Del destino y época sin masificación:

- Conteo de meses donde los turistas prefieren la temporada alta sobre la temporada baja: los meses donde hay un bajo flujo de turistas son los meses desde mayo a agosto; sin embargo, en los últimos años, los meses de más baja fluctuación son junio y julio.

Del transporte:

- Conteo de empresas de renta de vehículos eléctricos y ecológicos: la entidad hotelera no tiene contratos.

De la eficiencia de las fuentes renovables de energía:

- Conteo de mecanismos para las fuentes renovables de energía: no cuenta con ninguno.
- Percepción del personal de las fuentes renovables de energía: tiene una alta percepción sobre la utilidad de las fuentes; sin embargo no emplean ningún mecanismo ni maquinarias para aprovechar las bondades que ofrece su geografía local.
- Porcentaje de empleo de las fuentes renovables de energía: no cuenta con ningún mecanismo para la obtención de estas fuentes.

En la cuarta fase se proponen soluciones sostenibles de acuerdo con el comportamiento de los indicadores de las características de la tercera fase y las cinco características que tienen el 80 % de las deficiencias para una gestión turística sostenible integral en el hotel objeto de estudio (figura 2) se proponen las siguientes soluciones:

Para la conexión local y filosofía regenerativa:

- Incorporar a sus paquetes turísticos los eventos culturales de la ciudad y otras actividades del entorno aledaño al hotel,
- Continuar con la colaboración comunitaria de escuelas, y
- Ampliar la gama de empresas de desarrollo local para fomentar, entre otras actividades: el reciclaje de materias primas, su reutilización y la reducción de todo tipo de desechos.

Para las estancias verdes:

- Aprovechar las bondades de parques, sitios de alto valor histórico-cultural, jardines y áreas verdes interiores del hotel para así poder aprovechar su disponibilidad, y
- Emplear y explotar las zonas costeras cercanas al hotel ya sea mediante buceo (con las regulaciones y normativas que conllevan) o paseos marítimos; pues forman parte de las actividades que desarrolla el hotel en temática de sostenibilidad.

Para la eficiencia de las fuentes renovables de energía: indagar en los procedimientos para la contratación de estas fuentes.

Para el destino y época sin masificación: utilizar, de manera adecuada, la comunicación a través de las plataformas digitales en temporada baja turística.

Para el transporte: contratar las empresas privadas y estatales y agencias de viaje que presten de servicios de transportación ecológica.

En el seguimiento y control debe ser verificado constantemente, por la dirección del hotel, el cumplimiento de estos indicadores de las siete características, pues el entorno es cambiante y debe ajustarse y evaluarse. Estas soluciones permiten, de manera parcial, que el hotel comience a cumplir con los objetivos planteados por la Wave of Change.

En la verificación en las normas aprobadas por la EarthCheck se debe cumplir con una serie de cuestionarios establecidos para otorgarle una categorización. Esta actividad debe ser realizada aún para tener reconocimiento internacional de sostenibilidad turística.

En general, la Corporación, a la que pertenece el hotel, no sólo cuenta con hoteles de ciudad, sino también con una numerosa cuantía de hoteles de otras modalidades: de sol y playa y de naturaleza. En ellas, esta metodología es de alta aplicabilidad, pues todos los indicadores de sostenibilidad permitirán, entre otros beneficios, generar empleos para la comunidad, que representa una opción más de desarrollo económico, incide en la mejora del nivel de vida de sus habitantes, preserva los valores socioculturales de las comunidades y fortalece la cultura ambiental y la sostenibilidad [20].

En los hoteles de ciudad no se tienen en cuenta las áreas verdes, sino que la localidad, el respeto a los valores culturales, patrimoniales y la ecología en la transportación urbana, son rasgos fundamentales que deben tenerse en cuenta. Cada modalidad de turismo tiene su propia metodología de aplicabilidad que la distingue, como por ejemplo: la masificación y temporada, el aprovechamiento de las bondades que ofrece el entorno y la propia opinión de los turistas, entre otras.

Para conocer la posibilidad de aplicación y generalización de la metodología propuesta, los autores de esta investigación la sometieron al criterio de especialistas con alta experiencia en la gestión turística sostenible y elevados conocimientos sobre esta temática en Cuba. Por medio del software estadístico SPSS versión 20, a las respuestas se le aplicó el coeficiente de concordancia Kendall, de donde se obtuvo una coincidencia significativa del 0.80, y el coeficiente Alfa de Cronbach, con un resultado del 0,88, lo que demuestra que los resultados son muy confiables.

Se aprecia que el 100 % afirma que está actualizada, es pertinente, es aplicable y adaptable, según los requisitos y normativas para turístico cubano. Como aspectos positivos consideraron el incremento de los indicadores de sostenibilidad basados en los 17 objetivos de desarrollo sostenible expuestos por [18].

## 5. CONCLUSIONES

1. La gestión del turismo sostenible en las instalaciones hoteleras es vital en pos de su competitividad a través del cumplimiento de sus siete características principales: estancias verdes, destino y época sin masificación, filosofía regenerativa y conexión local, transporte, capacidad de acogida, eficiencia comunicativa de las TIC y eficiencia de las fuentes renovables de energía.
2. La metodología para la mejora de la gestión turística sostenible en instalaciones hoteleras consta de cuatro fases y diez actividades (con sus dieciocho indicadores en concordancia con las siete características principales para este tipo de gestión) a la que se le incorpora la certificación con la entidad internacional *EarthCheck.*
3. La aplicación de esta metodología en un hotel cubano de ciudad, como ejemplo, tiene como resultados ocho soluciones para cumplir con las cinco características más deficientes en el cumplimiento de una integralidad en la gestión turística sostenible.
4. La valoración efectuada por los especialistas, demostró que esta metodología es actualizada, pertinente y aplicable a cualquier modalidad de turismo, y tiene en cuenta las estrategias actuales, los requisitos y las directrices planteadas para el turismo cubano.

## REFERENCIAS


1. ALFONSO, J. R. y INFANTE, M. B. “Propuesta de implementación de un software en una entidad hotelera nacional”, *Revista electrónica Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 2018. https://www.eumed.net/rev/oel/2019/03/software-entidad-hotelera.html.
2. ONU TURISMO (UNWTO). *Transformar el turismo midiendo su sostenibilidad*. [en línea] [ref. de diciembre de 2022]. Disponible en Web: https://www.unwto.org/es/news/transformar-el-turismo-midiendo-su-sostenibilidad.
3. BÁRCENA, A., CIMOLI, M., GARCÍA, R., OCAMPO, R. y PÉREZ, R. *The 2030 Agenda for Sustainable Development in the new global and regional context*. [en línea] [ref. de 2020]. Disponible en Web: https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1c84dc0c-b7a5-4fb3-bebc-b1a59042fd4a/content.
4. RESOLUCIÓN 59. *Estrategia Ambiental del Sector del Turismo 2022/2026.* GOC-2022-745-O76. Disponible en Web: https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-76-ordinaria-de-2022.
5. ISO. *Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso* (Norma 14001: 2015). Disponible en Web: https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf
6. PÉREZ, J. A., GÓMEZ, O. y SANGRONI, N. “Estudio de modelos que abordan la gestión de destinos turísticos”, *Revista Ingeniería Industrial*, 2021, vol 42, num. 3, pp. 1-11. Disponible en Web: https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/1121/1044.

7. RODRÍGUEZ, G. y MARTÍNEZ, C. C. "Turismo responsable: propuesta para gestionar destinos turísticos regionales en la etapa post-COVID-19", *Revista Universidad y Sociedad*, 2021, vol 14, num. 1, pp 128-136. Disponible en Web: https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2542.
8. HTTP://HOSTELTUR.COM. [en línea] [ref. de 2023].
9. DEBRECZENI, E. Gestión del turismo sostenible y patrimonio cultural, *Portal Iberoamericano de Gestión Cultural*. [en línea] [ref. de 2003]. Disponible en Web: https://poliformat.upv.es/access/content/group/OCW_10127_2010/Export3921/Debreczenit%20Gestion%20Turistica.pdf.
10. HTTPS://WAVEOFCHANGE.COM/ES/ [en línea] [ref. de 2023].
11. EARTHCHECK. *Estándar de la compañía*. [en línea] [ref. de 2017]. Disponible en Web: https://earthcheck.blob.core.windows.net/media/49014/final-master-earthcheck-company-standard_version-4_may18_spn.pdf.
12. GONZÁLEZ, T. *Cuatro tendencias que dan forma a los viajes sostenibles en 2022*. [en línea] [ref. de 2022]. Disponible en Web: https://www.hosteltur.com/151149_cuatro-tendencias-que-dan-forma-a-los-viajes-sostenibles-en-2022.html.
13. OCAÑA, W., CARRILLO, R. y GUERRA, P. "Hacia un turismo sostenible, consciente y regenerativo en la reserva de la biosfera del Chocó Andino de Pichincha", *Revista Electrónica de Humanidades do Curso de Ciencias Sociais da UNIFAP*, 2021, vol 14, num. 1, pp. 71-92. Disponible en Web: https://www.researchgate.net/publication/356439782_Hacia_un_Turismo_Sostenible_Consciente_y_Regenerativo_en_la_Reserva_de_la_Biosfera_del_choco_Andino_de_Pichincha_Rumo_ao_turismo_sustentavel_consciente_e_regenerativo_na_Reserva_da_Biosfera_de_Choco_A.
14. NEGRETE, G. *¿Qué es la huella de carbono y cómo contribuye el sector turístico*? [en línea] [ref. de 2021]. Disponible en Web: https://viajerelampago.com/la-huella-de-carbono-y-el-sector-turistico.
15. IGLESIA, J. "Indicadores de sostenibilidad turística para mejorar las relaciones entre actores del alojamiento turístico en Santa Clara". Trabajo de diploma. Universidad Central de Las Villas Marta Abreu. 2018. Disponible en Web:. https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/547afb4d-fb86-4985-aafd-d7e9b9417c72/content.
16. CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional*. [en línea] [ref. de enero de 2023]. Disponible en Web: https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional/.
17. HTTPS://BIOCONSTRUCCION.COM.MX/EARTHCHECK/ *¿Qué es EarthCheck?* [en línea] [ref. de 2023].
18. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). *The 2030 Agenda for Sustainable Development.* [en línea] [ref. de 2022]. Disponible en Web: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/
19. MENDOZA, I. y RODRÍGUEZ, O. "Percepción social del cambio climático en estudiantes de Bachillerato Técnico en Jiutepec, Morelos, México", *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 2021, vol 4, pp. 1-16. Disponible en Web: https://doi.org/10.46380/rias.vol4.e121.
20. MARTÍNEZ, V. y PELEGRÍN, N. "Diversificación de la oferta turística de naturaleza: Canopy en el Paisaje Natural Protegido Hanabanilla-Cuba", *Revista Ciencias Sociales*. 2021, vol 2, num. 3, pp. 185-200. Disponible en Web: https://produccioncientificaluz.org/index.php/rcs/article/view/36764.

Sobre los autores:

Jorge Ricardo Alfonso Muruais: Máster en Dirección, Profesor Instructor en las asignaturas de Economía Empresarial, Dirección Empresarial y Gestión Económica y Comercial, en las facultades de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" e investiga en el área de la sostenibilidad turística conforme al proyecto de investigación Desarrollo de capacidades organizacionales para mejorar el posicionamiento competitivo del sector turístico cubano.
Roberto López Boudet: Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular en las asignaturas de Dirección Empresarial y Gestión Económica y Comercial, en la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Coordina el proyecto de investigación Desarrollo de capacidades organizacionales para mejorar el posicionamiento competitivo del sector turístico cubano.
Rafael Modesto Espinosa Almeida: Doctor en Ciencias Económicas. Profesor Instructor en las asignaturas de Economía Empresarial, Dirección Empresarial y Gestión Económica y Comercial, en las diferentes facultades de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Colabora con la investigación del proyecto de investigación Desarrollo de capacidades organizacionales para mejorar el posicionamiento competitivo del sector turístico cubano.
Lourdes Sánchez Oramas: Máster en Finanzas y en Administración de Negocios. Profesora Asistente en las asignaturas de Economía Empresarial, Dirección Empresarial y Gestión Económica y Comercial, eb

las diferentes facultades de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Colabora con la investigación del proyecto de investigación Desarrollo de capacidades organizacionales para mejorar el posicionamiento competitivo del sector turístico cubano.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE COMPETITIVIDAD DE LOS HOTELES DE LA SUCURSAL ISLAZUL LA HABANA

**Ing. Isabel Izquierdo Betancourt[1], Dr. C. Yuniel Bolaño Rodríguez[1], MsC. Félix Valdés Muñoz[1]**
[1]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Dirección: Calle 114 #11901 entre Ciclo Vía y Rotanda, Marianao, La Habana, Cuba. CP 19330.
Email: ybolanor@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El estudio de la competitividad en el sector turístico es de vital importancia para lograr un mayor desempeño y desarrollo en las cadenas hoteleras, sobre todo en Cuba, donde este sector representa una fuente esencial de ingresos al país. Este trabajo se centra en la implementación del diseño de un procedimiento para la evaluación del nivel de competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana. Se tuvo en cuenta una revisión de los principales conceptos y términos relacionados con la gestión empresarial, el desempeño empresarial, la competitividad y los indicadores para medirla en el sector del turismo. Como resultado fundamental se logró el diseño de un procedimiento para el análisis y la evaluación del nivel de competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana. Dicho procedimiento se estructura en 4 etapas (diseño del instrumento, creación del ambiente, aplicación y plan de acciones) y 9 tareas. Se elaboró una lista de chequeo para evaluar el nivel de competitividad compuesta por 4 componentes, 15 variables y 57 indicadores. El procedimiento se aplica en 6 hoteles: Lido, San Alejandro, Bruzón, Caribbean, Tulipán y el Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul obtuvo el primer lugar y el Hotel Bruzón, el último. Se aplicó un análisis de benchmarking competitivo a partir de la comparación entre estos 6 hoteles lo que permitió encontrar los puntos débiles y fuertes comunes, así como también en que deben enfocarse cada uno de los hoteles para mejorar su posición competitiva dentro de la Sucursal Islazul La Habana.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión empresarial en el turismo, competitividad empresarial, evaluación de la competitividad de los hoteles.

## PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF THE LEVEL OF COMPETITIVENESS OF THE HOTELS OF THE HAVANA ISLAZUL BRANCH

**ABSTRACT**

The study of the competitiveness in the tourist sector is of vital importance to achieve a bigger acting and development in the hotel chains, mainly in Cuba, where this sector represents an essential source of revenues to the country. This work is centered in the implementation of the design of a procedure for the evaluation of the level of competitiveness of the hotels of the Islazul Havana Branch. It was carried out a revision of the concepts and main terms related with the managerial administration, the managerial acting, the competitiveness and the indicators to measure in the sector of the tourism. It was achieved the design of a procedure for the analysis and the evaluation of the level of competitiveness of the hotels of the Islazul Havana Branch. This procedure is structured in 4 stages and 9 tasks. A checkup list was elaborated to evaluate the level of competitiveness composed by 4 components, 15 variables and 57 indicators. The procedure is applied in 6 hotels: Lido, San Alejandro, Bruzon, Caribbean, Tulip, and the Walk Havana - Blue Preserve Complex. The Walks Havana - Preserve Blue Complex obtained the first place and the Hotel Bruzón, the last one. An analysis of competitive benchmarking was applied starting from the comparison among these 6 hotels what allowed to find the common weak and strong points, as well as in that should be focused each one of the hotels to improve its competitive position inside of the Islazul Havana Branch.

**KEY WORDS:** Enterprise Management in the tourism, enterprise competitiveness, evaluation of the competitiveness of the hotels.

## 1- INTRODUCCIÓN

Al realizar una vigilancia tecnológica se puede entender la importancia de estudiar la competitividad empresarial en el sector del turismo en Cuba, siendo este una de las mayores fuentes de ingreso para el país y que, luego de la pandemia COVID-19, se ha visto afectado considerablemente. Para contribuir a su desarrollo económico y social, varios países han mejorado sus sectores turísticos, aumentando así el número de destinos en todo el mundo. Al mismo tiempo, la cantidad de mercados de origen también ha aumentado, aunque en menor medida. Esta asimetría ha provocado una feroz competencia en el mercado turístico internacional, que está en constante aumento (Pérez León, León Sánchez, & Guerrero, 2021).

Algunos autores plantean que las empresas están obligadas a renovar sus ofertas, para así conservar su permanencia en el mercado, elevando su eficacia, eficiencia, rentabilidad y competitividad sobre la base de la satisfacción del cliente y la calidad de los servicios. En este aspecto, el turismo es considerado como uno de los sectores más diversos y relevantes en el ámbito internacional y resulta de gran importancia en el desarrollo de la sociedad debido a su impacto ecológico, económico, político y social (Boudet López, Breto González, & Sardiñas González, 2020; Fernández López, Alfonso Porraspita, Vilalta Alonso, & Labrador Machín, 2022). La competitividad constituye una herramienta estratégica, siendo cada vez más trascendental para las organizaciones adoptar la competitividad como una filosofía de vida (Muñoz Díaz, Lombeida Quintana, & Mosquera Fierro, 2021). Por lo que, ante un mundo globalizado en constante cambio y con fácil acceso a la información y los conocimientos, condicionado por factores negativos relacionados a la crisis económica internacional desarrollada hace ya varios años, por lo tanto, se hace necesario el estudio de los elementos que determinan la capacidad para el desarrollo en los destinos turísticos. Es por ello que el Caribe viendo afectado notablemente la competitividad de sus mercados, se proyecta en nuevas estrategias que le permitan la integración al entorno, y el aprovechamiento de sus ventajas (Betancourt Spengler & Villa Ascón, 2021). Además, el aumento de la competencia ha estado determinado en el área, fundamentalmente en las principales modalidades de Sol y Playa y el Turismo de Ciudad, intensificando la rivalidad entre cadenas hoteleras orientadas a los principales mercados que visitan la región (Betancourt Spengler & Villa Ascón, 2021).

Tras el paso del COVID-19 y las medidas de recrudecimiento del bloqueo económico de Estados Unidos contra Cuba, el turismo fue una de las áreas más afectadas y la Sucursal Islazul La Habana, perteneciente a la Grupo Hotelero ISLAZUL, que a su vez se subordina al Ministerio del Turismo, no ha quedado exenta de esta situación reflejando un deficiente desempeño organizacional provocado por:

- Los bajos ingresos provocados por una disminución considerable del turismo, tanto nacional como internacional.
- El aumento considerable de los costos de los productos.
- La irregularidad en los abastecimientos, así como el incumplimiento por parte de la inmobiliaria de la entrega de habitaciones.
- El bajo nivel de ocupación de los hoteles.
- La deficiente calidad en los servicios brindados.
- La gestión hotelera en Islazul se centra en la venta de una habitación y la tendencia actual en el mundo es vender un destino.
- No se estudia el nivel de satisfacción de los clientes con vista a trazar estrategias de mejoras.
- La gestión comercial es deficiente, no existen estrategias de marketing y las redes sociales que poseen no son explotadas con el fin de llegar a un mayor número de usuarios.
- La Sucursal cerró el año 2023 con pérdida económica.

En la búsqueda de soluciones para estos problemas que impactan de forma negativa en el desempeño organizacional de la Sucursal Islazul Habana, este trabajo tiene como objetivo general: implementar el diseño de un procedimiento para la evaluación del nivel de competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana.

## 2- LA GESTIÓN EMPRESARIAL EN EL TURISMO BASADO EN LA COMPETITIVIDAD

En la actualidad la gestión empresarial en el sector del turismo está encaminada a ofertar un destino y no solo una habitación, logrando además la inclusión de todo tipo de personas, la sostenibilidad y la

economía circular. El desarrollo humano y social ha generado transformaciones en la sociedad actual, donde sectores como el turismo cobran auge y se posiciona como fuente inagotable de desarrollo. Con el paso de los años se ha transformado su alcance, y no solo se concibe el tradicional sol y playa, sino que se aprecia un marcado interés por un turismo más sostenible y sustentable. Brinda la oportunidad de compartir experiencias, realizar intercambios culturales, admirar la naturaleza, interactuar con la comunidad receptora y compartir su esencia (Guerra Noa & González González, 2023). El turismo se considera como uno de los sectores más diversos, y resulta de gran importancia debido a su impacto ecológico, económico, político y social (Santana Román, Del Carmen López, & Acosta Román, 2023). También implica una experiencia única que permite y debe poner en acción los valores éticos de respeto, responsabilidad, solidaridad y compromiso (Zuazola Besga, 2023).

La gestión empresarial efectiva para el sector turístico hotelero es: la combinación holística de la eficiencia, la eficacia y la fidelización de los clientes, sobre la base de la profesionalidad de su personal, que contribuya al equilibrio entre el logro de los objetivos, el funcionamiento óptimo de la actividad hotelera, la obtención de los recursos suficientes y la satisfacción de los turistas. (Ferreiro Martínez, Fernández Andrés, & Gil Basulto, 2023).

Por otra parte, uno de los enfoques del desempeño empresarial es la competitividad, término que ha sido abordado desde la aparición del mercantilismo en el siglo XV y XVI; sin embargo, tomando en consideración el origen de lo que hoy se conoce como economía, concebido hasta el siglo XVIII, la competitividad nace en los métodos económicos clásicos pensados por los padres del liberalismo económico, entre los que se puede mencionar a Adam Smith y David Ricardo, para resolver planteamientos vinculados a la competencia, y se constituye como el concepto más básico de la teoría económica clásica (Del Río Cortina, Calao Paternina, & Vidal Durango, 2019). Posteriormente, la competitividad se presenta por el economista Michael Porter en su libro “Ventajas competitivas”, como la capacidad de una organización de crear ventajas competitivas sostenidas frente a sus rivales en un entorno de elevada competencia, obteniendo mayor rentabilidad y creciendo más que estos al conquistar más consumidores e incluso arrebatarles su propia clientela ofreciéndole un mayor valor.

La competitividad surge de la productividad con la que las empresas emplean en una ubicación esos factores (mano de obra, capital y recursos naturales, entre otros) para producir bienes y servicios valiosos (Porter, 2010). Esta también se declara como el grado en que una nación puede, bajo condiciones de libertad e igualdad de mercado, producir bienes y servicios que satisfagan las exigencias de los mercados internacionales al tiempo que mantiene o incrementa los ingresos reales de sus ciudadanos” (Fuentes, Osorio, & Mungaray, 2016). Se puede considerar que entre más competitiva sea una compañía, más atractiva resultará para sus clientes dicha empresa, no solo por el tipo de servicios que le ofrece, sino por la manera tan estratégica, inteligente e innovadora en que puede desarrollar el manejo de toda su actividad económica incluyendo el recurso humano, el recurso económico y el recurso intelectual (Lalangui, Espinoza Carrión, & Pérez Espinoza, 2017). La competitividad tiene que ver con los siguientes indicadores: costos, precios, cantidad, calidad, presencia en el mercado, con la innovación, la flexibilidad y adaptación a los cambios, fortalecer y desarrollar la reflexión, el análisis, romper con los paradigmas, ser proactivo, estructurar, organizar y rediseñar las empresas, así como también con la evaluación periódica de las estrategias (Quero, 2008).

Como la competitividad es aplicable a todas las actividades económicas, el turismo también es susceptible de ser competitivo. En ese sentido, se considera que la competitividad turística es la capacidad de los agentes que intervienen en la actividad turística de un país, de una región o de una zona para alcanzar sus objetivos por encima de la media del sector, de una manera sostenible y sostenida. Cuando se habla de competitividad de un destino turístico dependerá de la combinación y sinergias de un conjunto de factores como son la capacidad competitiva de las empresas, la dotación de infraestructura, la disponibilidad de capital humano, y el entorno macroeconómico e institucional (Bañuls Lillo, Rodríguez Ramón, & Jiménez Sevilla, 2007). Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de sostenibilidad parece una vía de éxito para mantener la competitividad empresarial en el turismo (Lloret, 2016). Los elementos intangibles son un elemento clave a la hora de definir un destino turístico sostenible. Hoy en día, los turistas buscan involucrarse e interactuar con la gente local y la oportunidad de descubrir características que hagan único al destino turístico que se está visitando, adquiriendo un nuevo conocimiento y consiguiendo unas

vivencias únicas. (Buffa, 2015). De esta manera, el modelo turístico requiere de un cambio profundo en su planteamiento, siendo imprescindible la participación de todos los agentes implicados para reinventar el sector con tal de seguir atrayendo e incrementando los turistas y ser competitivos y, a la vez, ser más sostenibles desde el punto de vista económico, social y medioambiental.

En la evaluación del nivel de competitividad es muy importante la definición de los componentes, variables y elemento o indicadores. Los indicadores están relacionados con los precios, la infraestructura, la tecnología, la sociedad, el medio ambiente, la organización industrial y los condicionamientos externos, los cuales son puntos en común entre estos autores. También deben ser consideradas las variables que intervienen directamente en la competencia por los mercados, tales como los costos, la calidad del producto, el nivel de satisfacción de la demanda, los servicios de posventa y, en general, todas las prácticas de diferenciación técnica y comercialización del producto, pero además las innovaciones que son tan importante en cualquier parte de la cadena de valor, así como el impacto de los fenómenos ajenos al ámbito interno de la empresa, relacionados con el conjunto de la economía nacional y global (Ramírez Sarmiento, 2010). Existen una serie de indicadores claves que de manera general se emplean en los hoteles, para ayudar a mejorar el funcionamiento de los mismos. Algunos fundamentales para analizar la operatividad del proceso de alojamiento, impactando así directamente en la recepción hotelera, permitiendo evaluar su desempeño y tomar decisiones informadas sobre su gestión (Lima Santos, Malheiros, & Gomes, 2018; Widz et al., 2022): tasa de ocupación, ingresos por habitación disponible, ingresos totales por habitación disponible, tarifa diaria promedio, disponibilidad de habitación, estancia promedio de los clientes, número de entradas, número de no presentados.

## 3- PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL DE COMPETITIVIDAD DE LOS HOTELES DE LA SUCURSAL ISLAZUL LA HABANA.

Para la realización del diagnóstico de la competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana, se diseñó un procedimiento. Este procedimiento consta de 4 etapas que comprenden 9 actividades; que van desde la elaboración del procedimiento hasta el análisis estadístico de los resultados, la elaboración de un ranking y la creación de un plan de acciones de mejoras. Ver figura 1(donde se reflejan las etapas y las actividades)

La etapa 1 del procedimiento consiste en el diseño del instrumento de evaluación de la competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana. En la tarea 1.1 se deben identificar los indicadores, las variables y los componentes que son necesarios para evaluar la competitividad. Para ello se recomienda, realizar encuentros y reuniones con el consejo de dirección de cada hotel para el aprovechamiento de sus conocimientos empíricos, además es necesario que el director general de la sucursal incluya esta tarea como prioridad en el plan de trabajo de los directores de cada hotel evaluado.

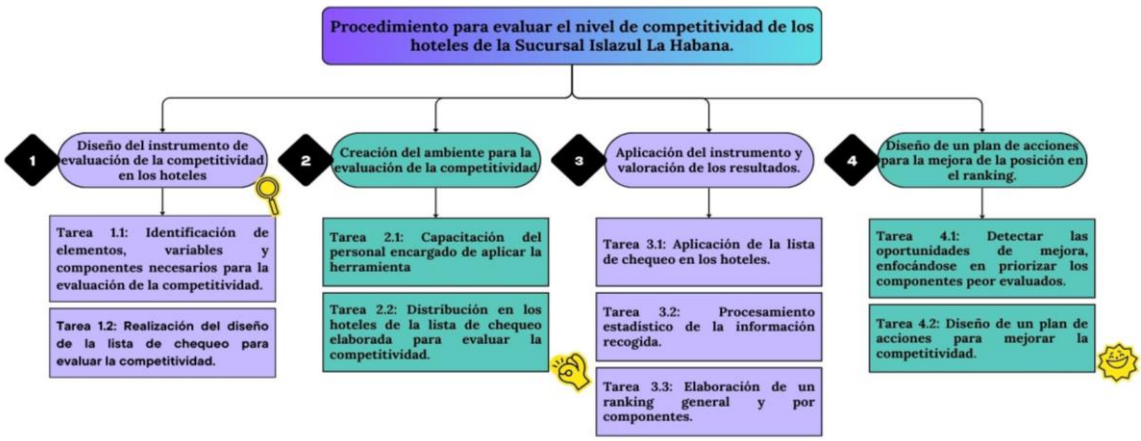



Figura 1: Procedimiento para evaluar el nivel de competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana.

En la tarea 1.2 se realizará el diseño de la herramienta para medir la competitividad. Este debe constar de una lista de chequeo para determinar los puntos fuertes y débiles, respecto a los componentes, variables e

indicadores identificados en el paso anterior. Con cada indicador se describirán 5 comportamientos o resultados del hotel. A cada una se le asociará una puntuación del 1 al 5. La puntuación 5 representará la mejor puntuación para el hotel o Excelente, la puntuación 4 se identificará con Bien, la puntuación 3 con Regular, la puntuación 2 con Mal y la puntuación 1 con Muy Mal, siendo esta, la más baja que puede alcanzar el hotel. También se debe programar una herramienta en Microsoft Excel donde se recogerán todas las evaluaciones, la cual calculará de forma automática el resultado final con los datos insertados. Esta herramienta está compuesta por diferentes columnas, donde son solicitados diferentes datos: elementos, evaluación de los elementos, variables de la competitividad, componentes, peso específico, valor de los componentes, nivel general de la competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul. A medida que se complete, los cálculos se realizarán y se llegará a un resultado final.

Para evaluar los componentes y llegar al resultado final, se necesitará otorgarle un peso específico a cada componente. La evaluación de los indicadores se estableció como una puntuación del 1 al 5, siendo la 1 la puntuación más baja y la 5 la más alta, la cual es otorgada por los directivos del propio hotel a cada uno de los indicadores que se estime conveniente evaluar. La lista de chequeo a elaborar, deberá contener una descripción de las condiciones que se deben cumplir para puntuar cada elemento. La columna medición de las variables de la competitividad se calculará hallando el promedio de las puntuaciones ofrecidas a cada uno de los elementos que componen una variable, sin límite de elementos. El valor de los componentes será el resultado de calcular el promedio de los valores de las variables que componen el mismo. Por último, el nivel general de la competitividad de los hoteles es el resultado final, y el valor que encierra a todos los elementos, las variables y los componentes. Se calcula como la sumatoria del valor de cada componente por su peso específico.

La etapa 2, creación del ambiente para la evaluación de la competitividad, comienza con la tarea 2.1. Se llevarán a cabo capacitaciones a los directivos de los distintos hoteles donde será aplicada la herramienta, para instruirlos y familiarizarlos con los nuevos conceptos de competitividad y los puntos que se deben llenar en la lista de chequeo, para el cumplimiento de esta tarea fueron contratados con el CETDIR una serie de cursos de dirección, dentro de los que se encuentra uno relacionado a la competitividad empresarial. Es necesario que los directivos posean un dominio de la herramienta para que el proceso se lleve a cabo correctamente y para que luego ese conocimiento sea transmitido a los demás trabajadores de los hoteles. Con ello se deberá informar a los trabajadores vinculados a la aplicación de la lista de chequeo sobre de que se tratará el procedimiento, el objetivo del mismo y los resultados que se esperan lograr. La tarea 2.2 consistirá en la distribución en los hoteles de las herramientas elaboradas anteriormente. Estas se deben entregar a los directores de cada instalación, los que serán los encargados de liderar la tarea.

Se continuará con la etapa 3, que comprende la aplicación del instrumento y valoración de los resultados. La tarea 3.1 constituirá de la aplicación de la lista de chequeo en los hoteles. Para ello se utilizará el documento elaborado en la etapa 1, con los indicadores, a los que se les debe dar puntuación según la situación de cada hotel en particular. Este paso se realizará a través de una autoevaluación. Se deberá, además, entregar la herramienta de Excel elaborada previamente donde deberán llenar la evaluación correspondiente a cada elemento. Con los números insertados el documento ya programado calculará el resultado de las variables y los componentes. Se deberán planificar los consejos de dirección que sean necesarios para discutir y puntuar todos los elementos que integrarán la lista de chequeo. En la tarea 3.2 se deberá realizar un procesamiento estadístico de la información recibida. Para ello se organizará en otro documento Excel los valores finales de las variables y los componentes de cada hotel y serán elaborados los gráficos necesarios para su análisis. La tarea 3.3 consistirá en elaborar un grupo de rankings, la cantidad que sea necesaria, para diagnosticar la situación respecto a la de cada uno de los hoteles a evaluar. Uno indispensable será el del nivel general de la competitividad. También se realizó el ranking por variables y por componentes.

Luego de realizada esta tarea, se procederá a la etapa 4, que comprende el diseño de un plan de acciones. En la tarea 4.1, ya con el resultado de la elaboración de los rankings, se deberán establecer dónde se encuentran las oportunidades de mejora competitiva de los hoteles que se encuentren en la última posición del ranking. En qué variables o componentes poseen una puntuación más baja, dónde están más concentradas las variables de menor desempeño y las limitantes de la competitividad. En la tarea 4.2 se

elaborará un plan de acciones general para mejorar la competitividad, el que contará con acciones y actividades; cada con un responsable, participantes y una fecha de cumplimiento.

## 4- PRINCIPALES RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN LOS HOTELES DE LA SUCURSAL ISLAZUL LA HABANA.

A partir de aplicar la etapa 1 del procedimiento se obtuvieron 4 componentes, 15 variables y 57 indicadores para la evaluación de la competitividad en los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana. En la figura 2, se muestran las 4 componentes y las 15 variables. Se realizó el diseño de la herramienta con los componentes, variables y elementos determinados en la actividad anterior. La lista de chequeo (Izquierdo Betancourt I., 2024) se elaboró con las indicaciones brindadas por el procedimiento. Se programó, además, la herramienta en Microsoft Excel para recoger todas las evaluaciones y calcular los valores de las variables, los componentes y el nivel general de la competitividad. Se hizo con las fórmulas de cálculo descritas en el procedimiento. Se decidió otorgar un peso de 0.3 a los componentes I y II, porque es donde mayormente se expresan los resultados: desempeño económico, comercial y de la satisfacción de los clientes; capacidad tecnológica y eficiencia de los factores productivos y 0.2 al componente III: desarrollo del conocimiento, la innovación y el extensionismo de buenas prácticas y el componente IV: capacidad gerencial del hotel.

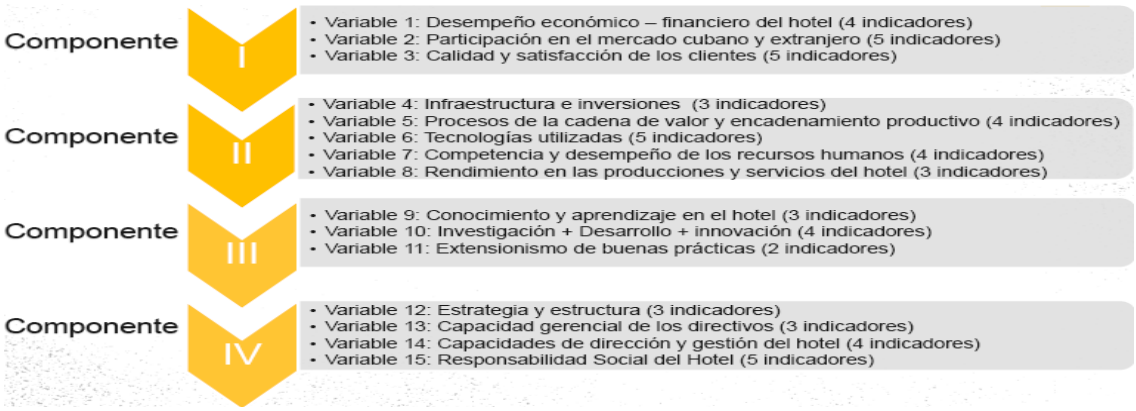


Figura 2: Componentes y variables para la evaluación de la competitividad en los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana.

Para la aplicación de las etapas 2 y 3 se seleccionaron 6 hoteles: complejo Paseo Habana – Vedado Azul, hotel Tulipán, hotel Lido, hotel Caribbean, hotel Bruzón y hotel San Alejandro. En cada uno de estos hoteles se logró la aplicación de la lista de chequeo para la evaluación de la competitividad. Los resultados se exponen a continuación:

***<u>Análisis de la Variable 1: Desempeño económico – financiero del hotel.</u>***

Se comenzó por el análisis de la variable 1 relacionada al desempeño económico y financiero del hotel, compuesta por 4 indicadores. Como puede observarse en la figura 3, el hotel que mejor evaluación obtuvo en esta variable es el Hotel Tulipán, aunque en general, es bastante bajo el nivel de esta variable en los hoteles, oscilando entre 1,5 y 2,75 puntos. Estos resultados son consecuentes con el deficiente desempeño económico que obtuvo la Sucursal en el año 2023. Se elaboró un ranking de posiciones para esta variable donde se evidencia que liderando el mismo se encuentra el Hotel Tulipán con una evaluación de 2,75 puntos y la posición más rezagada la ocupa el Hotel San Alejandro con 1,50 puntos.

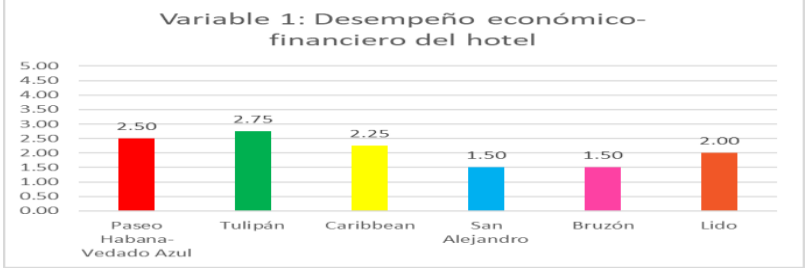


Figura 3: Resultados de la evaluación de la Variable 1: Desempeño económico-financiero del hotel.

***Análisis de la Variable 2: Participación en el mercado cubano y extranjero.***

La variable 2 está vinculada a la participación del hotel en el mercado cubano y extranjero y cuenta con un total de 5 indicadores, dentro de los cuales se encuentran las ventas realizadas por TT.OO y el por ciento de cumplimiento del plan de TDE, ambos vinculados a la entrada de divisa al hotel. En la figura 4 puede observarse que los valores de esta variable oscilan entre 1,20 y 2,60 puntos, siendo estos extremadamente bajos en relación a la media. Se encuentra liderando el Complejo Paseo Habana – Vedado Azul con una puntuación de 2,60 y, aunque esta se considera baja, fue el que más cerca estuvo del cumplimiento de estos indicadores y el que más aportó al total de TDE. En la última posición del ranking se encuentran el Hotel San Alejandro, el Hotel Bruzón y el Hotel Lido, todos con 1,20 puntos de evaluación, entre las principales deficiencias se pueden señalar que estos hoteles casi en su totalidad, operan con turismo nacional, por los que se ven afectados los indicadores relacionados al turismo internacional.

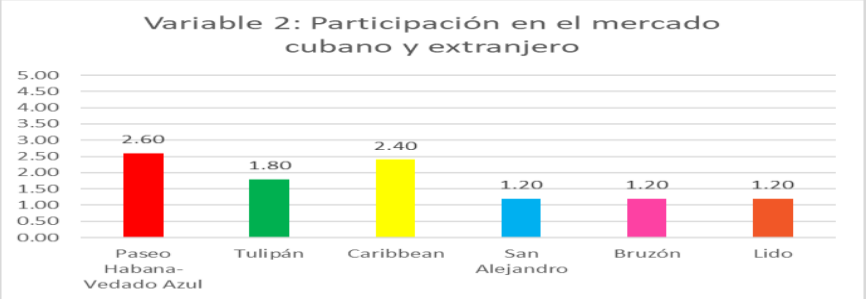



Figura 4: Resultados de la evaluación de la Variable 2: Participación en el mercado cubano y extranjero.

***Análisis de la Variable 3: Calidad y satisfacción de los clientes***

La variable 3 está relacionada a la gestión de la calidad y la satisfacción de los clientes y está compuesta por un total de 5 indicadores, dentro de los más significativos está el nivel de satisfacción de los clientes, obtenido mediante encuestas realizadas todos los meses y realizando un resumen anual. En la figura 5 se puede evidenciar el resultado de las evaluaciones de esta variable para cada hotel, encontrándose en el rango de 1,44 a 3,32 puntos.




Figura 5: Resultados de la evaluación de la variable 3: Calidad y satisfacción de los clientes.

El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul se encuentra nuevamente de líder con una puntuación de 3,32, la cual se considera de nivel medio, este complejo se distingue por clientes reincidentes, lo que demuestra su compromiso con la satisfacción del cliente y con la calidad tanto de los productos como de los servicios brindados. En la última posición se encuentra el Hotel Bruzón con tan solo 1,44 puntos, afectado principalmente en los indicadores referidos a la Gestión de la Calidad.

***Análisis de la Variable 4: Infraestructura e Inversiones***

La variable 4 está referida al mantenimiento de la infraestructura de los hoteles y el cumplimiento de las inversiones planificadas, cuenta con un total de 3 indicadores, destacándose el nivel de disponibilidad de la planta hotelera, mediante el cumplimiento del plan de recuperación de HFO. En la figura 6 se puede evidenciar el resultado de las evaluaciones de esta variable para cada hotel, encontrándose entre 2,67 a

4,00 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul vuelve a encontrarse en lo más alto del ranking, con una puntuación de 4,00, la cual se considera de nivel alto, lugar que, en parte lo debe a que es el que menos HFO posee, operando a un 98% de la planta hotelera. En la última posición se encuentra el Hotel San Alejandro con 2,67 puntos, afectado principalmente por los daños que sufren la infraestructura y el alto número de HFO que posee.

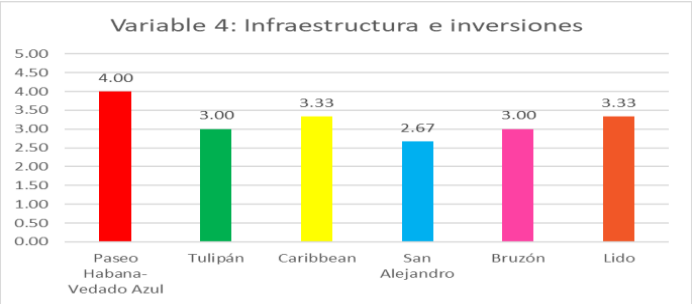



Figura 6: Resultados de la evaluación de la variable 4: Infraestructura e inversiones.

***Análisis de la Variable 5: Procesos de la cadena de valor y encadenamiento productivo***

La variable 5 se refiere a los procesos de la cadena de valor y el encadenamiento productivo, compuesta por 4 indicadores, evaluando aspectos como el nivel de integración entre los diferentes procesos que componen la misma. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,25 y 3,5 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul se encuentra una vez más en la primera posición del ranking, con una puntuación de 3,50 puntos, la cual se considera de nivel medio, debido a que sus procesos claves se encuentran, en gran parte, encadenados entre sí. En la última posición se encuentra el Hotel Bruzón y el Hotel Lido, ambos con 2,25 puntos.

***Análisis de la Variable 6: Tecnologías utilizadas***

La variable 6 se refiere a las tecnologías utilizadas en los hoteles, compuesta por 5 indicadores referidos a la informatización de los procesos y al empleo de tecnologías para aumentar el uso de fuentes de energía renovable. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 1,80 y 3,00 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul y el Hotel Tulipán ocupan la primera posición del ranking con una puntuación de 3,00 la cual se considera de nivel medio, lograda en gran parte por ser los únicos hoteles que poseen la instalación de calentadores solares y son los que mejor conectividad poseen. En la última posición se encuentra el Hotel Lido con 1,80 puntos, se ve afectado por la conectividad y el acceso, incluso, a la red celular; además de que tiene aplicada ninguna tecnología para el uso de las fuentes de energía renovable.

***Análisis de la Variable 7: Competencia y desempeño de los recursos humanos***

La variable 7 Reseña a la competencia y el desempeño de los recursos humanos del hotel, la componen 4 indicadores incluyendo el cumplimiento del plan de capacitación y el completamiento de la plantilla de cargos. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,50 y 4,75 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 4,75 la cual se considera bastante alta por contar con un personal altamente calificado y estable. En la última posición se encuentran el Hotel Tulipán, el Hotel San Alejandro y el Hotel Lido con 2,50 puntos, estos hoteles se caracterizan por tener una elevada fluctuación laboral, por lo que se dificulta más la capacitación del personal.

***Análisis de la Variable 8: Rendimiento en las producciones y servicios del hotel***

La variable 8 se describe al rendimiento en las producciones y servicios del hotel, la componen 3 indicadores dentro de los que se encuentra el rendimiento de los trabajadores del hotel. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,17 y 3,58 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 3,58 puntos, la cual se considera de nivel medio, alcanzan un rendimiento adecuado de su fuerza de trabajo y de sus equipos en correspondencia con los volúmenes de ventas que realiza. En la última posición se encuentra el Hotel San Alejandro con 2,17 puntos, provocado por un bajo rendimiento de sus factores productivos ante bajos volúmenes de ventas.

***Análisis de la Variable 9: Conocimiento y aprendizaje en el hotel***

La variable 9 se detalla al conocimiento y aprendizaje de los directivos del hotel, la componen 3 indicadores refiriéndose a la divulgación de los nuevos conocimientos y a la sostenibilidad de una cultura organizacional. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,33 y 4,00 puntos. El Hotel Caribbean se posiciona como primero en el ranking con una puntuación de 4,00 puntos, la cual se considera de nivel alto, esto se debe a la correcta divulgación de las buenas prácticas y de los altamente se encuentra relacionado a que cuenta con un personal longevo y con un gran sentido de pertenencia a la instalación. En la última posición nuevos conocimientos adquiridos en el hotel, lo que se encuentra los hoteles Bruzón y Lido con una puntuación de 2,33.

***Análisis de la Variable 10: Investigación + Desarrollo + innovación***

La variable 10 se refiere a la investigación, el desarrollo y la innovación de los productos o servicios del hotel, la componen4 indicadores, los cuales se refieren a los nuevos productos u ofertas obtenidas mediante el proceso de I+D+i en el hotel. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 1,50 y 3,75 puntos. El Hotel Caribbean ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 3.75 la cual se considera de nivel medio, han logrado la inserción de varios productos gastronómicos para la participación en concursos y competencias de gastronomía y cocina. En la última posición se encuentra el Hotel Bruzón con una puntuación extremadamente baja de 1,50 puntos, provocado por no tener activo el proceso de I+D+i.

***Análisis de la Variable 11: Extensionismo de buenas prácticas***

La variable 11se describe al extensionismo de las buenas prácticas en el hotel, la componen 2 indicadores. En la figura 13 se puede evidenciar el resultado de las evaluaciones de esta variable para cada hotel, encontrándose entre 2,50 y 4,00 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 4,00 puntos, la cual se considera de nivel alto debido a que logran extender las buenas prácticas dentro del propio hotel y hacia otras instalaciones. En la última posición se encuentra el Hotel Bruzón con 2,17 puntos.

***Análisis de la Variable 12: Estrategia y estructura***

La variable 12 se relaciona con la estructura y la estrategia establecidas en el hotel, la componen3 indicadores dentro que abarcan las estrategias que tiene el hotel para aprovechar al máximo las oportunidades y fortalezas disminuyendo las amenazas y debilidades. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,33 y 4,67 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 4,67 la cual se considera de nivel alto, cuenta con una estructura y estrategia definida y organizada. En la última posición se encuentra el Hotel San Alejandro con 2,33 puntos, provocado por la ausencia de una estrategia de dirección clara y concisa.

***Análisis de la Variable 13: Capacidad gerencial de los directivos***

La variable 14 se refiere a la capacidad gerencial de los directivos del hotel, está compuesta por 3 indicadores relacionados al desenvolvimiento de los directivos del hotel, así como su preparación. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,00 y 4,67 puntos. El Hotel Caribbean ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 4,67 puntos la cual se considera de nivel alto, cuenta con directivos altamente capacitados y preparados para el puesto que ocupan y que poseen una alta capacidad gerencial. En la última posición se encuentra el Hotel San Alejandro con 2,00 puntos, provocado por un bajo nivel de preparación de sus directivos, la gran mayoría no posee el nivel superior.

***Análisis de la Variable 14: Capacidades de dirección y gestión del hotel***

La variable 14 se describe las capacidades de dirección y gestión del hotel, la componen 4 indicadores referidos a las capacidades de los directivos y la administración. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,50 y 3,75 puntos. El Complejo Paseo Habana – Vedado Azul ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 3.75, la cual se considera de nivel medio, aunque aún quedan aspectos que mejorar, el hotel aprovecha en gran medida las capacidades de dirección con las que cuenta. En la última posición se encuentra el Hotel Lido con 2,50 puntos.

***Análisis de la Variable 15: Responsabilidad Social del Hotel***

La variable 15 se reseña la responsabilidad social que tiene el hotel, la componen 5 indicadores referidos a la atención al hombre y a las relaciones que posee el hotel con los distintos sectores sociales. Las evaluaciones de esta variable para cada hotel están entre 2,20 y 3,40 puntos. El Hotel Tulipán ocupa la primera posición del ranking con una puntuación de 3,40 puntos la cual se considera de nivel medio, tiene relaciones con varias entidades del Gobierno, el INDER, ETECSA, etc., sirviendo de sede para el hospedaje de personal de eventos como la Asamblea y la Serie Nacional de Béisbol. En la última posición se encuentra el Hotel Caribbean con 2,20 puntos, provocado por un bajo nivel de relación y cooperación con los distintos sectores sociales.

***Ranking por Componentes y del Nivel de Competitividad General:***

Luego de analizado el comportamiento de cada variable en los hoteles incluyendo el análisis comparativo, se determinó la posición de cada uno de ellos en cada uno de los 4 componentes. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Ranking de los hoteles para el Componente I.

| **Componente I: Desempeño económico, comercial y de la satisfacción de los clientes** | | |
|---|---|---|
| **Posición** | **Hotel** | **Evaluación del Componente I** |
| 1 | Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. | 2,80 puntos |
| 2 | Hotel Caribbean. | 2,44 puntos |
| 3 | Hotel Tulipán. | 2,37 puntos |
| 4 | Hotel Lido. | 1,61 puntos |
| 5 | Hotel San Alejandro. | 1,51 puntos |
| 6 | Hotel Bruzón | 1,38 puntos |
| **Componente II: Capacidad tecnológica y eficiencia de los factores productivos.** | | |
| **Posición** | **Hotel** | **Evaluación del Componente II** |
| 1 | Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. | 3,77 puntos |
| 2 | Hotel Caribbean. | 3,14 puntos |
| 3 | Hotel Tulipán. | 2,82 puntos |
| 4 | Hotel Bruzón | 2,65 puntos |
| 5 | Hotel Lido. | 2,54 puntos |
| 6 | Hotel San Alejandro. | 2,46 puntos |
| **Componente III: Desarrollo del conocimiento, la innovación y el extensionismo de buenas prácticas.** | | |
| **Posición** | **Hotel** | **Evaluación del Componente III** |
| 1 | Hotel Caribbean. | 3,75 puntos |
| 2 | Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. | 3,64 puntos |
| 3 | Hotel San Alejandro. | 2,86 puntos |
| 4 | Hotel Tulipán. | 2,81 puntos |
| 5 | Hotel Lido. | 2,44 puntos |
| 6 | Hotel Bruzón | 2,11 puntos |
| **Componente I: Desarrollo del conocimiento, la innovación y el extensionismo de buenas prácticas.** | | |
| **Posición** | **Hotel** | **Evaluación del Componente IV** |
| 1 | Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. | 3,99 puntos |
| 2 | Hotel Caribbean. | 3,61 puntos |
| 3 | Hotel Bruzón | 2,88 puntos |
| 4 | Hotel Tulipán. | 2,87 puntos |
| 5 | Hotel San Alejandro. | 2,57 puntos |
| 6 | Hotel Lido. | 2,56 puntos |

Por último el ranking del nivel general de competitividad quedó como se muestra en la tabla 2. En primer lugar el Complejo Paseo Habana – Vedado Azul con 3,50 puntos, seguido por el Hotel Caribbean con 3,14 puntos, el Hotel Tulipán con 2,69 puntos, el Hotel San Alejandro con 2,28 puntos, el Hotel Lido con 2,25 puntos y, en el último lugar de la lista, por consiguiente, el que posee el nivel de competitividad más bajo es el Hotel Bruzón con 2,21 puntos.

Tabla 2: Ranking del nivel general de competitividad para los hoteles.

| **Posición** | **Hotel** | **Nivel general de competitividad** |
|---|---|---|
| 1 | Complejo Paseo Habana – Vedado Azul. | 3,50 puntos |
| 2 | Hotel Caribbean. | 3,14 puntos |
| 3 | Hotel Tulipán. | 2,69 puntos |
| 4 | Hotel San Alejandro. | 2,28 puntos |
| 5 | Hotel Lido. | 2,25 puntos |
| 6 | Hotel Bruzón | 2,25 puntos |

***Benchmarking competitivo de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana***

A continuación, se procedió a realizar el diseño de un Benchmarking Competitivo para los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana, para la cual fue creada una escala definiendo un nivel bajo cuando el hotel

tiene una puntuación de 1,00 a 2,49; un nivel medio cuando está entre 2,50 y 3,99 puntos y un nivel alto si obtiene una puntuación entre 4,00 y 5,00. Como se puede observar en el perfil estratégico de la figura 7 se muestra el análisis del benchmarking competitivo.

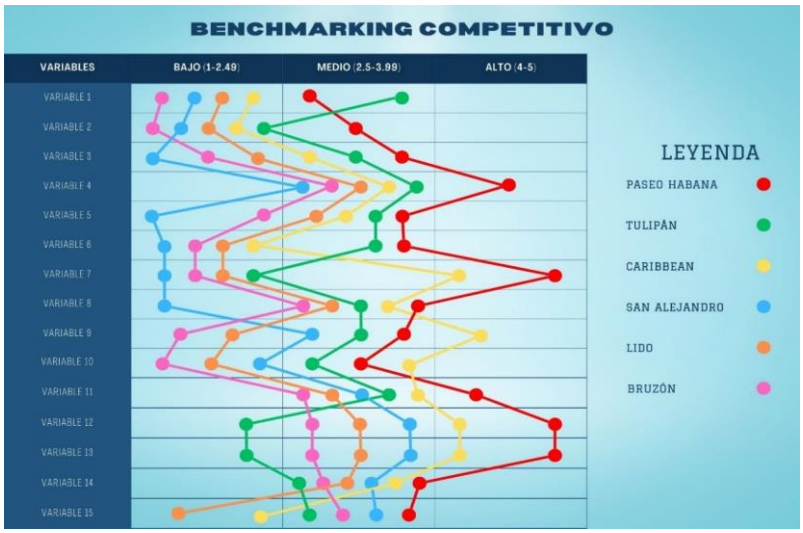


Figura 7: Perfil estratégico para el benchmarking competitivo de los hoteles.

Los resultados muestran que existen tres hoteles que se mantienen mayormente con un nivel bajo de competitividad. Estos son San Alejandro, Lido y Bruzón; los que coinciden en los tres últimos lugares del Ranking del Nivel General de la Competitividad. Los hoteles con mayor presencia en la zona Fuerte, son el Complejo Paseo Habana – Vedado Azul y el Hotel Caribbean, los que obtuvieron los dos primeros lugares en el Nivel General de la Competitividad, respectivamente. También se puede observar que la variable 1: Desempeño económico – financiero del hotel, la Variable 2: Participación en el mercado cubano y extranjero, la Variable 6: Tecnologías utilizadas y la Variable 7: Competencia y desempeño de los recursos humanos son las que poseen un mayor número de hoteles en la zona débil. La Variable 4: Infraestructura e inversiones, la Variable 5: Procesos de la cadena de valor y encadenamiento productivo, la Variable 8: Rendimiento en las producciones y servicios del hotel, la Variable 11: Extensionismo de buenas prácticas, la Variable 14: Capacidades de dirección y gestión del hotel y la Variable 15: Responsabilidad Social del Hotel son las que poseen un mayor número de hoteles en la zona media. Por último, ninguna variable presenta mayoría de hoteles en la zona fuerte.

## 5- CONCLUSIONES

- Se diseñó y aplicó un procedimiento para medir el nivel general de la competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana contó con 4 etapas y 9 tareas. En una de estas se elaboró una lista de chequeo que contiene 57 indicadores, 15 variables y 4 componentes. El uso de la lista de chequeo permitió calcular, con una autoevaluación de cada uno de las instalaciones, un valor final que ofreció el nivel general de competitividad de los hoteles de la Sucursal Islazul La Habana. Fueron seleccionados 6 de los 9 hoteles que componen la sucursal: complejo Paseo Habana – Vedado Azul, hotel Tulipán, hotel Lido, hotel Caribbean, hotel Bruzón y hotel San Alejandro.
- Se elaboraron diversos rankings (por variables, por componentes y el general) para detectar en qué posición se encontraban los 6 hoteles seleccionados en la muestra. El complejo Paseo Habana – Vedado Azul obtuvo el primer lugar en el ranking de las variables 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12 y 14, el hotel Caribbean en lideró las variables 9, 10 y 13 y el hotel tulipán las variables 1, 6 y 15. En cuanto al ranking por componentes, el complejo Paseo Habana – Vedado Azul lideró los componentes I, II y IV, mientras que el hotel Caribbean ocupó el primer puesto en el componente III. El nivel general de competitividad más alto lo obtuvo el complejo Paseo Habana – Vedado Azul y el último puesto fue para el hotel Bruzón.
- Se analizó la situación global de las empresas mediante la realización de un benchmarking competitivo, lo que sirvió de basamento para la elaboración del plan de acciones con el fin de incidir

en brechas competitivas en las variables 1, 2, 6 y 7, por ser las que mayor cantidad de hoteles se encuentran en la zona débil y, de esta forma, contribuir al mejoramiento de los hoteles de la sucursal.

**REFERENCIAS**

1. Pérez León, V. E., León Sánchez, M. A., & Guerrero, F. M. (2021). Central American and Caribbean tourism destinations' competitiveness: A temporal approach. *Plos one*, *16*(5), e0252139.
2. Boudet López, R., Breto González, C., & Sardiñas González, L. (2020). Lanzamiento de un nuevo producto turístico para una agencia de viajes cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, *11*(1), 38-46.
3. Fernández López, R., Alfonso Porraspita, D., Vilalta Alonso, J. A., & Labrador Machín, O. (2022). Cuba en la industria turística: estudios de la demanda. *Cooperativismo y Desarrollo*, *10*(1), 7-23.
4. Muñoz Díaz, G. A., Lombeida Quintana, M. D., & Mosquera Fierro, D. G. (2021). La competitividad como factor de crecimiento para las organizaciones. *INNOVA Research Journal*, *6*(1), 145-161.
5. Betancourt Spengler, M. E., & Villa Ascón, J. E. (2021). Estrategia de mejora para el aumento de la competitividad de los productos–servicios hoteleros de ciudad del grupo de turismo Gaviota sa. *Explorador Digital*, *5*(1), 350-364.
6. Guerra Noa, D., & González González, K. (2023). La gestión del turismo rural desde un enfoque empresarial y su impacto al desarrollo local. *Salud, Ciencia Y Tecnología-Serie De Conferencias*, *2*, 434-434.
7. Santana Román, W. M., Del Carmen López, L., & Acosta Román, D. (2023). Potencialidades de América Latina en el sector turístico. *Negonotas Docentes*(21), 57-69.
8. Zuazola Besga, J. I. (2023). La ética del turismo. *Dilemata* (40), 17-30.
9. Ferreiro Martínez, Y., Fernández Andrés, A., & Gil Basulto, M. (2023). La efectividad en el sector hotelero. Una aproximación conceptual. *Retos de la Dirección*, *17*(1).
10. Del Río Cortina, J., Calao Paternina, O., & Vidal Durango, J. V. (2019). Evolución y desarrollo del concepto de competitividad y prospectiva. *Libro Construyendo escenarios prospectivos para los desafíos del desarrollo competitivo del departamento de Sucre, Colombia*, 59-72.
11. Porter, M. E. (2010). Ventaja Competitiva: Creación y Sostenibilidad de un Rendimiento Superior (Ediciones Pirámide, Ed.): España.
12. Fuentes, N., Osorio, G., & Mungaray, A. (2016). Capacidades intangibles para la competitividad microempresarial en México. *Problemas del desarrollo*, *47*(186), 83-106.
13. Lalangui, J., Espinoza Carrión, C. d. R., & Pérez Espinoza, M. J. (2017). Turismo sostenible, un aporte a la responsabilidad social empresarial: Sus inicios, características y desarrollo. *Revista Universidad y sociedad*, *9*(1), 148-153.
14. Quero, L. (2008). Estrategias competitivas: factor clave de desarrollo. *Negotium*, *4*(10), 36-49.
15. Bañuls Lillo, A. L., Rodríguez Ramón, A. B., & Jiménez Sevilla, M. S. (2007). El capital humano como factor estratégico para la competitividad del sector turístico. *Cuadernos de turismo* (19).
16. Lloret, A. (2016). Modeling corporate sustainability strategy. *Journal of business research*, *69*(2), 418-425.
17. Buffa, F. (2015). Young tourists and sustainability. Profiles, attitudes, and implications for destination strategies. *Sustainability*, *7*(10), 14042-14062.
18. Ramírez Sarmiento, Y. (2010). *Metodología para evaluar la competitividad de las empresas exportadoras. Aplicación en la UEB Geomirera Holguín.* Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya.
19. Lima Santos, L., Malheiros, C., & Gomes, C. (2018). *Do stars matter? A comparison of operating ratios and indicators among hotels.* Paper presented at the X International Tourism Congress, Quito, Equador, November.
20. Widz, M., Krukowska, R., Walas, B., & Kruczek, Z. (2022). Course of values of key performance indicators in city hotels during the Covid-19 pandemic: Poland case study. *Sustainability*, *14*(19), 12454.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE COMUNICACIÓN EN EL GRUPO EMPRESARIAL DE AGUA Y SANEAMIENTO

# PROCEDURE FOR IMPLEMENTATION OF THE COMMUNICATION MODEL IN THE WATER AND SANITATION BUSINESS GROUP

Ing. Cosset Torres Tondike[1]
**E-mail:** cosset@ays.cu
**ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-0317-7621
Dr.C. Narciso A Piñero Rodríguez[2]
**E-mail:** abelp@ind.cujae.edu.cu
**ORCID:** https://orcid.org/0009-0009-1545-9838
Dr.C.Daniel Alfonso Robaina[2]
**E-mail**: vrip@tesla.cujae.edu.cu
**ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-2741-5885
Dr.C. Gil Ramón González González[1]
**E-mail:** gilramon@ays.cu
**ORCID:** https://orcid.org/0000-0001-9870-656X

[1]Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento. Cuba
[2]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Cuba.

## RESUMEN

**La comunicación organizacional impacta directamente en la gestión empresarial, permitiendo el flujo de mensajes entre los miembros de una organización, lo que a su vez contribuye al desarrollo de estrategias que fomentan el crecimiento en diversas áreas como la administración y la producción. Las organizaciones que son más flexibles y abiertas al cambio tienden a adaptarse mejor a su entorno, mientras que aquellas que son rígidas pueden enfrentar dificultades para sobrevivir. La investigación en el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento revela que existe una necesidad apremiante de mejorar la comunicación interna, ya que actualmente se percibe un enfoque mecánico que genera brechas en el sistema comunicativo. Se propone el procedimiento para implementar un modelo de comunicación organizacional que se ha venido generando, que optimice la capacidad comunicativa de las empresas del sector, lo que es crucial para alcanzar sus metas y mejorar el desempeño de los colaboradores.**

**PALABRAS CLAVES:** comunicación, comunicación organizacional, procedimiento, modelo de comunicación

## ABSTRACT

Organizational communication directly impacts business management, allowing the flow of messages between members of an organization, which in turn contributes to the development of strategies that foster growth in various areas, such as administration and production. Organizations that are more flexible and open to change tend to adapt better to their environment, while those that are rigid may face difficulties in surviving. Research in the Water and Sanitation Business Group reveals that there is an urgent need to improve internal communication, since a mechanical approach is currently perceived that generates gaps in the communication system. A procedure is proposed to implement an organizational communication model that optimizes the communication capacity of companies in the sector, which is crucial to achieve their goals and improve the performance of employees.
Keywords: communication, organizational communication, procedure, communication model
**KEY WORDS:** About five key words or phrases, separated by commas (,).

**. INTRODUCCIÓN**

La comunicación es un proceso dinámico, cambiante e interminable que ha acompañado al ser humano desde sus orígenes. El sujeto ha evolucionado y se ha integrado en diferentes grupos sociales, y la comunicación en sí misma –como proceso– y como herramienta indispensable de los intercambios humanos ha sufrido también transformaciones en todos sus ámbitos de estudio y desarrollo tecnológico [1].

Según Fernández Balmón (2022), la comunicación entre personas, grupos y organizaciones es, evidentemente, indispensable para la existencia de los sistemas sociales en que aquellos se insertan. Esto significa que las organizaciones, entre ellas la empresa, constituyen sistemas para el intercambio y manejo de información [2].

Refiere Ayón Ponce (2022) que la comunicación organizacional incide en la gestión empresarial, ya que este es necesario para desarrollar actividades orientadas a facilitar y agilizar el flujo de los mensajes presentes entre los miembros de una organización para intercambiar ideas y generar conocimiento, incluso diseñar estrategias para el crecimiento de la empresa en el ámbito administrativo, financiero, productivo y operativos, haciéndolas capaces de asumir los retos de la competitividad actual [3].

Plantean Forero Hurtado & Gutiérrez Tobar (2021) que la comunicación recorre toda la organización, la dinamiza, reconoce el cambio, el movimiento y las transformaciones. El cambio es inherente a toda organización, es una necesidad transformarse para adaptarse al entorno, para proponer otras vidas posibles. Hay organizaciones que tienen mayor permeabilidad y flexibilidad al cambio, otras son más estáticas, al punto que incluso algunas sucumben al no poder proponer nuevas alternativas o caminos frente a los cambios del entorno. Esas flexibilidades o rigideces son sentidas y reconocidas por la comunicación y se convierten en escenario fundamental de su acción, de su estrategar [4].

Se afirma que la comunicación organizacional permite un intercambio de información entre la organización y sus públicos, logra mejorar su desempeño y ofrece productividad, eficiencia y servicio a la sociedad. Además, su gestión está orientada al manejo de la cultura, misión, visión, valores, normas, políticas e información, lo que orienta una estructura funcional dentro de la misma, la cual está orientada en metas y objetivos [5].

El desarrollo de la Comunicación en las Organizaciones tiene hoy como tendencia las estrategias digitales, estas, ayudan a visibilizar el corazón del negocio posicionando la marca con acciones convergentes, además de monetizar la empresa, refuerza su reputación en el escenario donde se encuentre activa [6].

En la actualidad la humanidad ha logrado que a través de diferentes vías como es el internet; la comunicación sea totalmente efectiva y en apenas instantes trasmitir un mensaje claro de un hecho ocurrido al otro lado del planeta. Nuestro país, sumado a la era de la comunicación ha adoptado medidas para incrementar este flujo informativo, tan necesario para nuestra Revolución y en uso de divulgar los logros de esta, ante la sociedad y el mundo. Incluso nuestros líderes realizaron un llamado a incorporarnos a la informatización de nuestra sociedad [7].

Gracias a la comunicación se puede trasmitir la cultura de la empresa, liderar equipos de trabajo, establecer relaciones de dependencia, y lo más importante, que tenga sentido la organización. Si en una empresa falla la comunicación, será imposible que haya una coordinación eficiente, y estará condenada al fracaso. Sin comunicación no habría sistemas empresariales [2].

La necesidad de comunicación en las organizaciones siempre ha existido, pero se puede considerar que en el clima actual está asumiendo un papel aún más importante. La comunicación en las organizaciones implica el intercambio de información entre personas o grupos, a través de símbolos, signos, gestos o comportamientos, con el fin de influir en los individuos o grupos dentro de una organización. La comunicación organizacional eficiente puede contribuir a crear una atmósfera saludable de motivación, confianza, compromiso e intercambio de ideas y valores entre los miembros de la organización [8].

La comunicación en las organizaciones es una herramienta valiosa que ayuda, no solo a mantener las buenas relaciones y la motivación entre sus miembros, sino que contribuye al buen clima laboral y al cumplimiento de los objetivos organizacionales. Garantizar una acertada comunicación organizacional es, por tanto, algo imperioso para cualquier institución que busque el mejoramiento continuo y la calidad de su equipo y sus procesos [9].

Para Nájera Espinosa & Sánchez Estévez (2020) la comunicación organizacional es el complejo sistema en que existe una circulación de mensajes que se generan y emiten voluntaria e involuntariamente hacia dentro y fuera de una organización. El conocimiento de este sistema es primordial para facilitar

estrategias que permitan que los miembros de toda organización estén vinculados entre sí y convenientemente informados sobre los procesos que les afectan como organización e individuos para facilitar la toma de decisiones [10].

Otro criterio es el que plantea Briggette de León Maldonado (2018) en su tesis de licenciatura, "la comunicación es el punto de unión que establece un contacto de una persona con otras, partiendo de esta base la comunicación organizacional, une el concepto de la transmisión de información a una o más personas que se desenvuelven dentro de una institución, las funciones de la misma son regular, controlar, motivar, expresar emociones y cooperar" [11].

Por otra parte, Acosta (2021) en su investigación, toma la comunicación organizacional "como una herramienta que facilita a la organización llevar a cabo sus objetivos, transmitiendo asertivamente en sus públicos su filosofía, cultura, principios, estrategias y planificación, mediados por un proceso integral interactivo sincrónico y/o asincrónico" [12].

La comunicación organizacional en un grupo u organización es parte del fortalecimiento y desarrollo institucional y se concreta principalmente en las acciones comunicativas que parten de los vínculos y articulaciones en y de la organización y se proyectan potenciando la práctica y visibilidad de la institución y su tarea. El comprender a la comunicación como un proceso transversal a la organización hace posible incluirla en una política institucional y no limitarla a algo meramente instrumental [13].

De esta manera la comunicación contribuye a: 1. Configurar los diferentes procesos comunicacionales internos; 2. Optimizar y dirigir los mensajes de las organizaciones con su público con el fin de alcanzar un determinado propósito u objetivo; y, 3. Garantizar eficiencia, calidad en los resultados e incremento en su productividad y rentabilidad [14].

Otro de los componentes clave, a la hora de analizar las nuevas tendencias en la comunicación organizacional es la comunicación interna. Su aporte es significativo para el logro de los objetivos empresariales en conjunto con la alineación de la estrategia de mercado. Los colaboradores son el principal público de la institución pues se convierten en embajadores de la marca [15].

Hay que reconocer que en toda organización existe comunicación, aunque no precisamente tenga un departamento de comunicación o un profesional de la rama que desempeñe profesionalmente sus funciones en el ámbito interno. Entonces, ¿por qué ocuparse de algo que siempre funcionó sin que nadie hiciese esfuerzo?, pues, aunque los directivos ya tienen ocupaciones se debe señalar que el entorno ha cambiado, en la actualidad son las organizaciones las que deben adaptarse al medio y tomar como factor "relevante" a la comunicación interna y a cómo se sienten sus colaboradores, pues el aumento de la productividad, la expansión de mercados y demás factores comerciales se pueden ver afectados por el estado interno de la organización y su capital humano. La comunicación es un proceso dinámico, cambiante e interminable que ha acompañado al ser humano desde sus orígenes. El sujeto ha evolucionado y se ha integrado en diferentes grupos sociales, y la comunicación en sí misma –como proceso– y como herramienta indispensable de los intercambios humanos ha sufrido también transformaciones en todos sus ámbitos de estudio y desarrollo tecnológico [16].

Los empleados, según Córdoba-García (2024), representan ese capital intangible en forma de conocimientos, experiencias, habilidades, destrezas, valores y capacidades que pertenecen a los individuos, quienes, con su potencial, hacen posible que las organizaciones logren sus resultados empresariales, de allí la relevancia de ver a los trabajadores como un capital valioso [17].

Son por estas razones, que el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento, al involucrar a individuos de diferentes entornos, debe adoptar procesos de comunicación que resulten de vital importancia en el desarrollo operacional de sus empresas integradas. En las cuales, el flujo del proceso de comunicación es ineficiente e inadecuado, provocando dificultades dentro de la organización, para el cumplimiento de sus funciones y el alcance de las metas y objetivos trazados.

Por lo anterior, resulta vital para las empresas de Agua y Saneamiento, mantener una comunicación que resulte adecuada y eficaz, lo que permite que se erradiquen problemas que impidan el cumplimiento de las metas y objetivos organizacionales, favoreciendo de manera directa el desempeño de los colaboradores. En este contexto de las empresas integradas al Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento, mejorar la capacidad comunicativa se convierte en un desafío estratégico crucial.

Tomando como referencia todo lo anterior expuesto, esta investigación se realiza en la Organización Superior de Dirección Grupo Empresarial Agua y Saneamiento (AyS), la cual tiene como misión: "Garantizar el crecimiento continuo de los niveles de satisfacción de la sociedad mediante la prestación de servicios de abasto de agua potable, saneamiento, drenaje pluvial y mantenimiento de la infraestructura

hidráulica, con trabajadores comprometidos con la eficiencia y la eficacia de la actividad, el cuidado del medio ambiente y el fomento del ahorro de los recursos hídricos y energéticos.

Estudios precedentes demuestran que en las empresas integradas al AyS, predomina un concepto mecánico de la comunicación, caracterizado por brechas existentes en el sistema comunicativo de la organización, los referidos estudios han revelado la inexistencia de un modelo de comunicación atemperado a las exigencias de esas organizaciones. Consecuentemente se ha delineado un modelo de comunicación organizacional para las referidas empresas que requiere una forma de implementación. Teniendo en cuenta esta situación se propone un procedimiento para la implementación del modelo de comunicación en las empresas, que mejore su capacidad comunicativa en función de mejorar su desempeño. Como resultado se exponen las principales experiencias de aplicaciones en diferentes empresas integradas al Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento.

## II.MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la investigación se combinaron métodos y técnicas en el nivel teórico y empírico, que permiten proponer un procedimiento que responde al objetivo de la investigación, siguiendo la siguiente estructura:

**Actividad 1 Caracterización General del Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento**

Se realiza una caracterización breve del Grupo Empresarial tomando en cuenta los principales elementos que la caracterizan: misión, visión, valores de los trabajadores, estructura organizativa, certificaciones, procesos claves, entre otros.

**Actividad 2 Diagnóstico de la Capacidad Comunicativa en Empresas del Sector Agua y Saneamiento**

El objetivo de esta actividad es diagnosticar la capacidad comunicativa en cinco empresas integradas al Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento, sirviendo éstas como muestras para la determinación y estudio de los principales problemas que afectan el desempeño comunicacional en este grupo. Para ello se aplica un Modelo matemático diseñado para la evaluación de variables de Comunicación Organizacional en el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento. Las empresas seleccionadas son: Aguas de La Habana, Empresa de Saneamiento Básico de La Habana, Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas Mariel, Empresa de Acueducto y Alcantarillado Artemisa y la Empresa de Mantenimiento y Rehabilitación de Obras Hidráulicas de Occidente (EMAROHO).

**Actividad 3 Identificación de las etapas del procedimiento**

Se identificaron cuatro etapas del procedimiento, relacionándose unas con otra logrando así la integración entre áreas y procesos organizacionales. Éstas se estructuran de la siguiente manera:

**Etapa 1 Ambientación**

El objetivo de esta etapa es caracterizar de manera general la organización, e identificar y medir el nivel de integración del sistema de dirección de la empresa.

Se establecen tres fases, en las que se desarrollan elementos relacionados con el rumbo estratégico de la organización y el nivel de integración del sistema de dirección (NISDE). En este marco se analizan los elementos comunicativos que imposibilitan o desarrollan la integración empresarial y su relación con la estrategia que persigue la organización.

**Fase 1 Caracterización de la empresa**

Esta fase consiste en caracterizar la empresa que se está analizando reflejando su misión, visión, objeto social, y describiendo áreas, sistemas y subsistemas de la misma con el fin de tener dominio pleno de las actividades que realiza, a quien se las realiza y con qué fin.

**Fase 2 Determinar premisas**

En esta fase a través de entrevistas con la alta dirección se determina si la organización cumple con las premisas del modelo, para poder afirmar si la aplicación del mismo es adecuada: 1: Existencia de la planificación estratégica y comprometimiento de la alta dirección con ella; 2: Compromiso de la alta dirección con la gestión de la comunicación organizacional.

**Fase 3 Cálculo del Nivel de Integración del Sistema de Dirección (NISDE)**

En esta fase se desea identificar y medir el Nivel de Integración del Sistema de Dirección de la Empresa, para lo cual se utilizará indicador NISDE, el cual responde a la concepción de integración del sistema de dirección de la empresa, propuesto por el Dr. Daniel Alfonso Robaina, el cual enfatiza que la Integración del Sistema de Dirección de la empresa es la coordinación de todos los procesos a través de las relaciones que agregan valor (también llamadas horizontales) o refuerzan el cumplimiento de la misión para satisfacer las necesidades presentes y futuras de la sociedad y los clientes [18], dicho indicador se basa en las relaciones tanto externas como internas de los procesos.

**Etapa 2 Diagnóstico**

Para esta etapa se diseñaron tres fases que toman en consideración las variables propuestas en el modelo. Se miden elementos propios de la comunicación y se establece la relación entre los procesos organizacionales y el proceso comunicativo actual.

**Fase 1 Revisión de documentos legales**

Se utiliza una Guía de revisión de documentación propuesta por investigaciones anteriores como Nodarse Roque (2011). Se decide la utilización de esta guía de revisión, para conocer si existe correspondencia entre lo declarado en el expediente de perfeccionamiento y la realidad del sistema de comunicación de la empresa.

**Fase 2 Diagnóstico comunicacional**

El objetivo fundamental de este diagnóstico se suscribe a reconocer el estado de opinión, percepción y sentimientos de los miembros de la organización, en relación con variables como la comunicación interna, la comunicación externa, las competencias comunicativas de los trabajadores y las competencias comunicativas de los directivos. También permitirá diagnosticar la capacidad comunicativa de la organización y de sus directivos. Para ello se aplica la lista de chequeo, apoyada en el árbol lógico, las cuales conforman el Modelo Matemático diseñado por Corrales (2021) (7) y cuyo procesamiento es mediante la Lógica Difusa Compensatoria, permitiendo evaluar las variables objeto de estudio.

**Fase 3 Competencias comunicativas de directivos**

Para dar cumplimiento a esta fase, se analizan los resultados obtenidos de la aplicación de la Lista de Chequeo, resultados de aplicar lógica difusa a cada uno de los indicadores de las "competencias comunicativas del directivo".

**Etapa 3 Implementación**

En esta etapa de la investigación se planifica e implementa el sistema que se propone. En este sentido se desarrollan estructuras comunicativas adecuadas a la organización, se definen los públicos, responsabilidades, y modos de gestionar dicha comunicación. En esta etapa se establece una relación directa entre el sistema que se propone y los procesos estratégicos, claves y operativos.

**Fase 1 Planificación inicial**

Se establece un grupo multidisciplinario, que debe implementar el modelo de comunicación propuesto.

**Fase 2 Definición de roles y responsabilidades**

Se designan los roles y responsabilidades dentro del equipo de implementación. Sin embargo, se le aclarará al Consejo de Dirección que las políticas y los objetivos deberán hacerse públicos a partir de los canales propuestos y teniendo en cuenta que los directivos son los principales responsables de la gestión de la comunicación dentro de la organización. Ello deberá fortalecer la cultura, los valores y el clima organizacional, permitiendo un mayor sentido de pertenencia por parte de los actores con la organización [19].

**Fase 3 Comunicación interna**

El equipo de trabajo informa y capacita a todos los empleados sobre la implementación del nuevo modelo de comunicación y su importancia.

**Fase 4 Contextualización del modelo a la realidad empresarial**

Según el resultado del diagnóstico, se personaliza el modelo de comunicación seleccionado para que se ajuste a las necesidades y estructura específica de la empresa.

**Fase 5: Desarrollo de materiales y recursos**

Crear material de apoyo, guías y recursos visuales que faciliten la comprensión y aplicación del modelo de comunicación.

**Fase 6: Monitoreo y evaluación continua.**

Se establecen los mecanismos de seguimiento para evaluar el progreso y la eficacia de la implementación del modelo de comunicación. Realizar ajustes según sea necesario.

**Fase 7: Capacitación continua y refuerzo**

Brindar capacitación continua a los empleados para reforzar la aplicación correcta del modelo de comunicación. Incentivar la retroalimentación abierta y constructiva para mantener una cultura de comunicación efectiva en la empresa.

**Fase 8: Evaluación final y mejoras**

En esta fase final de la implementación, se realiza una evaluación final exhaustiva del impacto del modelo de comunicación implementado. Identificando logros, desafíos y áreas de mejora para futuras iniciativas de comunicación. Implementar un plan de acción de mejoras.

**Etapa 4 Control y evaluación**

En esta etapa final se procede a verificar la efectividad de la aplicación del modelo de comunicación mediante el recalculo de la Capacidad Comunicativa y el NISDE, con el objetivo de identificar si después de la implantación del modelo han disminuido las desconexiones registradas al inicio, reflejándose con el aumento del NISDE de la organización objeto de estudio.

## III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta lo obtenido de la aplicación del procedimiento hasta la segunda etapa y sus diferentes fases, en el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento y sus empresas integradas. Esta organización, objeto de estudio tiene como misión: "Garantizar el crecimiento continuo de los niveles de satisfacción de la sociedad mediante la prestación de servicios de abasto de agua potable, saneamiento, drenaje pluvial y mantenimiento de la infraestructura hidráulica, con trabajadores comprometidos con la eficiencia y la eficacia de la actividad, el cuidado del medio ambiente y el fomento del ahorro de los recursos hídricos y energéticos". Está integrada por 29 empresas encargadas de la actividad de abasto de agua a la población, además de la evacuación y tratamiento de aguas residuales domésticas, así como, el mantenimiento, construcción y rehabilitación de obras hidráulicas en Cuba.

### Evaluación del nivel de integración del sistema de dirección

Se tomaron los resultados obtenidos del Proyecto Estratégico del Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento, para el período 2022-2026.

En la construcción de las matrices de relaciones externas, se evaluaron las relaciones entre los procesos de la organización con sus clientes fundamentales, obteniéndose 37 relaciones que cumplen la condición de crítica y 49 relaciones importantes, por lo que el NISDE externo es de 0.245, lo que significa que las relaciones de integración entre el Grupo Empresarial y sus clientes externos es bajo, identificándose como causas fundamentales: déficit financiero de las empresas de acueducto, dificultando el pago de los servicios recibidos, falta de insumos y materiales para el cumplimiento de las inversiones previstas, falta de equipos tecnológicos para la prestación de los servicios, falta de automatización de los procesos entre otros.

En el análisis interno, se evaluaron las relaciones entre los procesos claves de la organización y los procesos estratégicos y de apoyo, realizándose las matrices de relaciones, obteniéndose 23 relaciones críticas y 29 relaciones importantes, lo que arrojó como resultado un NISDE interno de 0.207, demostrando que el nivel de integración entre los diferentes procesos de la organización es bajo. Se identifican, entre las principales causas que inciden en el comportamiento de las relaciones críticas: bajos salarios, falta de capacitación para el cumplimiento de las funciones, déficit tecnológico, falta de insumos y materiales.

### Revisión de la documentación

Para dar cumplimiento a este objetivo se revisaron los documentos, Manuales de Gestión de la Comunicación e Identidad Corporativa, Política de Comunicación y Manual de Gestión de la Calidad, donde se detectaron las siguientes deficiencias: 1. No se encuentra declarado un sistema de comunicación, aunque se encuentran elaborados los manuales de gestión de la comunicación e identidad corporativa. 2. Carencia de diagnóstico actualizado de sistema de comunicación organizacional; 3. No se determinan las fortalezas y debilidades del sistema de comunicación; 4. Carencia de un diagnóstico relativo a la competencia comunicativa en directivos; 5. La política está bien definida, sin embargo, los objetivos de la comunicación en la empresa tienen falta de orientación estratégica y carecen de indicadores medibles; 6. Plan de Comunicación desactualizado; 7 No está implementado un Sistema de Gestión de la Calidad.

### Diagnóstico organizacional

Para dar cumplimiento a este objetivo se realiza el diagnóstico a cinco empresas integradas al Grupo Empresarial, en las que se aplica para la evaluación de las diferentes variables objeto de estudio, el Modelo Matemático basado en la Lógica Difusa Compensatoria.

Según el resultado general obtenido, se evidencia que las empresas que integran la OSDE Agua y Saneamiento en respuesta al predicado que se plantea "una organización es buena comunicadora´´, están en el camino de serlo totalmente, ya que, según la Tabla de la verdad, el valor mínimo alcanzado sobrepasa el rango de 0.6 puntos, lo que significa que dicho predicado es "más verdadero que falso´´ y el valor máximo logrado es de 0.81 puntos, valor que lo sitúa al inicio de ser "bastante verdadero´´. Este resultado representa un valor aceptable, el cual, con la aplicación del procedimiento que se propone para implementar el modelo de comunicación, mejoraría significativamente. Los resultados obtenidos permitieron diagnosticar que la variable con resultados negativos, para la comunicación organizacional de la organización, es la comunicación interna, arrojando puntuaciones de 0.37 en las empresas de Aguas de La Habana y Artemisa, siendo "algo falso" que ambas empresas sean buenas en la comunicación interna;

en la empresa Saneamiento Básico de La Habana, se obtuvo una valor de 0.49, lo que indica que es "más verdadero que falso" que la comunicación interna sea buena; en la EMAROHO el resultado fue de 0.68 puntos, siendo "más verdadero que falso" que la comunicación interna sea buena y en la empresa Aguas Mariel, el resultado fue de 0.47, lo que significa que es "más falso que verdadero", que la comunicación interna sea buena

**Tabla 1** Tabla de la verdad

| | |
|---|---|
| 0 | Totalmente falso |
| 0.1 | Casi falso |
| 0.2 | Bastante falso |
| 0.3 | Algo falso |
| 0.4 | Más falso que verdadero |
| 0.5 | Tan verdadero como falso |
| 0.6 | Más verdadero que falso |
| 0.7 | Algo verdadero |
| 0.8 | Bastante verdadero |
| 0.9 | Casi verdadero |
| 1 | Totalmente cierto |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Diagnóstico de las competencias comunicativas de los directivos**

Para dar cumplimiento a esta fase, se analizan los resultados obtenidos de la aplicación de la Lista de Chequeo, resultados de aplicar la lógica difusa a cada uno de los indicadores de las "competencias comunicativas del directivo". A continuación, se muestran los valores de la variable en la figura 1 y tabla 2

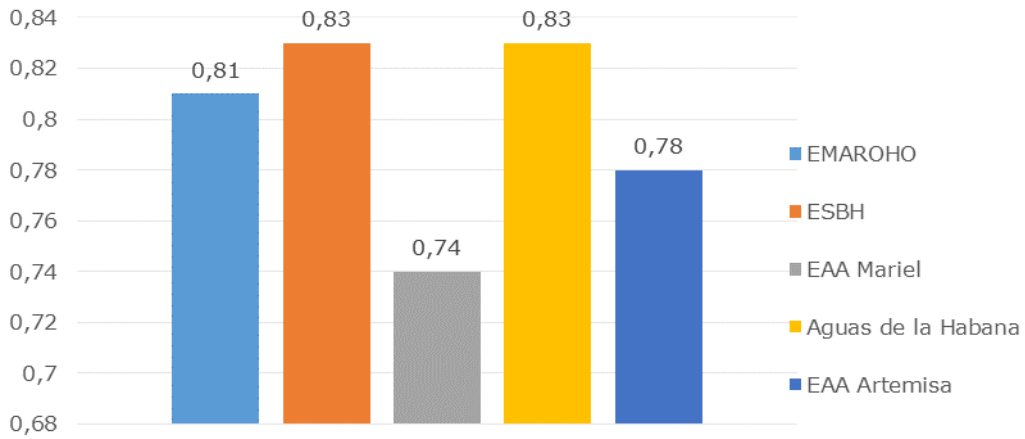



**Fig. 1** Valor de la variable competencias comunicativas de los directivos en empresas integradas al Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento

**Tabla 2** Valores de los indicadores de competencias comunicativas de los directivos en las empresas integradas al Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento.

| Empresa / Indicadores | Resultados | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **EMAROHO** | **SBH** | **EAA Mariel** | **Aguas Habana** | **EAA Artemisa** |
| Trabajo de dirección de otros TD(x) | 0.81 | 0.82 | 0.73 | 0.83 | 0.78 |
| Comunicación escrita CE(x) | 0.81 | 0.85 | 0.74 | 0.82 | 0.77 |
| Intervenciones públicas IP(x) | 0.81 | 0.83 | 0.75 | 0.84 | 0.79 |

En la figura 1, aunque el valor de la variable de análisis, tiene un desempeño general aceptable; destacan las empresas Aguas Mariel y Artemisa con los resultados más bajo de 0.74 y 0.78 respectivamente, siendo "Algo verdadero" que la competencia comunicativa de los directivos es buena. Esto indica que, aunque los valores no son críticos, se debe trabajar en aumentar el vínculo y la proyección de los jefes en los distintos procesos de la organización, en pos de lograr los objetivos estratégicos y las metas trazadas. El indicador "intervenciones públicas", es el de mejor desempeño de manera general, incidiendo en el resultado de la variable de estudio.

## IV.CONCLUSIONES

La investigación destaca la importancia de un modelo de comunicación organizacional en el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento, evidenciando la necesidad de mejorar la integración y la capacidad comunicativa para optimizar su desempeño. A través de un diagnóstico exhaustivo y la implementación de un procedimiento estructurado, se busca fortalecer las relaciones internas y externas, contribuyendo así al cumplimiento de su misión y objetivos estratégicos.

## V.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Contreras Delgado OE, Garibay Rendón NG, Contreras Delgado OE, Garibay Rendón NG. Comunicación organizacional: Historia, desarrollo y perspectivas de un concepto en constante construcción en América Latina. Inmediaciones Comun [Internet]. 2020 [citado 28 de agosto de 2024];15(2):43-70. DOI https://doi.org/10.18861/ic.2020.15.2.3018
2. Fernández Balmón M. Comunicación efectiva y trabajo en equipo [Internet]. 2da edición. España: Ediciones Paraninfo, S.A.; 2022. 228 p. ISBN 978-84-13-66503-0
3. Ayón Ponce GI, Baque Cantos MA, Chimbo Chimbo CS. La comunicación organizacional y su incidencia en la gestión empresarial: caso asociación Asoproakuri, ciudad de Archidona. RECIMUNDO Rev Científica Investig El Conoc [Internet]. 2022 [citado 28 de agosto de 2024];6(1):266-76. DOI https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.266-276
4. Forero Hurtado A, Gutiérrez Tobar O. Organizaciones más Humanas. La Comunicación estratégica en las organizaciones, un diálogo entre la teoría y la práctica. Razón y Palabra [Internet]. 2021 [citado 28 de agosto de 2024];24(110):138-55. ISSN 1605 -4806
5. Necpas Neppas K. Modelo de gestión de comunicación para el Centro Intercultural Comunitario Tránsito Amaguaña. Proy Investig Previo Obtención Tít Comun Soc Con Énfasis En Comun Organ Carrera Comun Soc Quito UCE 97 P [Internet]. 2017; Disponible en: https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec
6. Beltrán Valbuena AI. Estrategias de transformación digital organizacional desde la responsabilidad social. Prim Ed [Internet]. 2022 [citado 28 de agosto de 2024];1-29. Disponible en: https://repository.usergioarboleda.edu.co/handle/11232/1899
7. Rosales Corrales E. Modelo matemático para la evaluación de variables de Comunicación Organizacional en el Grupo Empresarial de Agua y Saneamiento [Tesis de Grado]. [CETDIR]: CUJAE; 2021.
8. Mações MAR. El papel de la comunicación, el liderazgo y el compromiso de los empleados en el cambio organizacional [Internet] [Tesis Doctoral]. [Pontevedra]: Universidade de Vigo; 2020 [citado 28 de agosto de 2024]. p. 1. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=286828
9. Charris Salas AE, Manjarrés Villaba DE. Comunicación organizacional: una estrategia para el fortalecimiento de la gestión directiva en instituciones educativas [Internet] [Trabajo de grado - Maestría]. [Barranquilla (Colombia)]: Corporación Universidad de la Costa; 2022 [citado 31 de agosto de 2024]. Disponible en: https://hdl.handle.net/11323/9158

10. Nájera Espinosa O, Sánchez Estévez G. La comunicación organizacional y los ambientes laborales en la actualidad. Acercamientos y variaciones. Rev Iberoam Comun ISSN 1665-1677 [Internet]. 2020 [citado 30 de agosto de 2024];(39):108-22. ISSN 1665-1677.
11. Briggette de León Maldonado J. Análisis de la comunicación organizacional en el área de tesorería de las empresas de telecomunicaciones de Santa Catarina Pinula, Guatemala. [Internet] [Tesis de licenciatura]. Universidad Panamericana.; 2018 [citado 31 de agosto de 2024]. Disponible en: https://scholar.google.es/schhp?hl=es
12. Acosta MVP, Pérez AC, Molina RIR, Miquilena D de los R. Descripción de los niveles de comunicación organizacional. Consens - Santiago [Internet]. 2021 [citado 31 de agosto de 2024];5(1):76 93. ISSN 2452-5006
13. Salazar NLV, Martínez CPB, Sánchez VLV, Briones CTR. Comunicación organizacional interna y su relación con la satisfacción de los empleados de una empresa concesionaria de automóviles de Piedras Negras Coahuila. Rev GEON Gest Organ Negocios [Internet]. 20 de enero de 2020 [citado 31 de agosto de 2024];7(1):129-41. DOI https://doi.org/10.22579/23463910.206
14. Builes Zapata SE, Aron Zubiria LM, Cujía Berrio S. La comunicación como recurso para optimizar relaciones laborales e incrementar la productividad. Encuentros Rev Cienc Humanas Teoría Soc Pensam Crít [Internet]. 2023 [citado 30 de agosto de 2024];(17):182-93. DOI https://doi.org/10.22579/23463910.206
15. Hidalgo RP, Quichimbo JY, Altamirano V. Nuevas tendencias en la comunicación organizacional. Fonseca J Commun [Internet]. 2020 [citado 30 de agosto de 2024];(20):7-11. DOI https://doi.org/10.14201/fjc202020711
16. Abendaño M, Sánchez L. De la comunicación interna al diálogo organizacional [Internet]. Vol. 47. La Laguna (Tenerife): Sociedad Latina de Comunicación Social – edición no venal; 2020. 147 p. ISBN 13: 978-84-17314-35-4.
17. Córdoba-García N. Incidencia del clima organizacional en la satisfacción laboral. Rev FAECO Sapiens [Internet]. 29 de enero de 2024 [citado 30 de agosto de 2024];7(1):132-44. DOI https://doi.org/10.48204/j.faeco.v7n1.a4737
18. Alfonso D. Modelo de dirección estratégica para la integración del sistema de dirección de la empresa. Habana Inst Super Politécnico José Antonio Echeverría [Internet]. 2007 [citado 4 de septiembre de 2024]; Disponible en: https://scholar.google.com/scholar?cluster=9567970225279718211&hl=en&oi=scholarr
19. Queris Rojas M, Sánchez Hernández JM, Manzano Arocha M. Modelo de gestión de comunicación para la integración del sistema de dirección. Aplicación parcial en la compañía contratista de obras para la aviación (CCOA). Rev Colomb Cienc Soc [Internet]. 2014;5(2):286-307. ISSN 2216-1201.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Procedimiento integral del proceso de contratación de bienes y servicios en una universidad pública con enfoque a sistema

**Hiram La O Hernández[1], Legna Diaz Oliva[2], Ariel Racet Valdes [3], Daniel Alfonso Robaina[4]**

[1,2,3,4]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverria, CUJAE,[1]e-mail: hiramla@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La investigación asumió como propósito diseñar un procedimiento integral del proceso de contratación de bienes y servicios en una universidad pública con un enfoque sistémico e integral. Para lograr el objetivo se utilizó como principal metodología la investigación acción, y un estudio del estado del arte en la temática en la etapa de planificación del trabajo. Se utilizan técnicas típicas de la ingeniería industrial como diagrama Pareto, listas de chequeo, modelación. Como principales resultados se identifican las principales deficiencias de los procesos de contratación según la literatura científica, y la relación del proceso con la ejecución presupuestal, una evaluación de bien del estado actual del proceso y el diseño del procedimiento integral del proceso de contratación teniendo en cuenta mejoras a los aspectos críticos en la evaluación. El procedimiento desarrollado consta de 4 etapas, la retroalimentación y comunicación como pilares fundamentales y 12 recursos para el proceso de contratación, estando implementada de forma parcial en el lugar objeto de estudio.

**PALABRAS CLAVES:** contratación de bienes y servicios, universidad pública, proceso de contratación, investigación-acción, enfoque a sistema.

# Comprehensive procedure for the process of contracting goods and services in a public university with a system approach

**ABSTRACT**

The purpose of the research was to design a comprehensive procedure for the contracting process of goods and services at a public university with a systemic and comprehensive approach. To achieve the objective, action research was used as the main methodology, and a study of the state of the art on the subject in the planning stage of the work. Typical industrial engineering techniques are used such as Pareto diagram, checklists, and modeling. The main results are the identification of the main deficiencies of the contracting processes according to the scientific literature, and the relationship of the process with budget execution, a thorough evaluation of the current state of the process and the design of the comprehensive procedure of the contracting process taking into account improvements to critical aspects in the evaluation. The developed procedure consists of 4 stages, feedback and communication as fundamental pillars and 12 resources for the hiring process, being partially implemented in the place under study.

**KEY WORDS:** contracting of goods and services, public university, contracting process, action research, system approach.

## 1. Introducción

La contratación pública se entiende como los procesos de contratación en entidades que con financiamiento gubernamental adquieren bienes y/o servicios; es un instrumento para la ejecución presupuestal y en las investigaciones de [1-3] relacionan la planificación, la preparación de los participantes en los procesos y el sistema de contratación con la ejecución del presupuesto, demostrando asociación entre estas variables.

La investigación de [4] afirma que existe una tendencia creciente en investigaciones sobre procesos de adquisición de bienes y contratación económica. En 2016 el premio Nobel de Economía es entregado a la teoría económica de los contratos [5]; alineado con la idea de que los contratos son a la economía (y al

derecho), lo que las moléculas a la química, o los átomos a la física; y vale añadir que el mismo carácter nuclear lo ocupan en las empresas y organizaciones.

En el contexto nacional existe un interés en continuar fortaleciendo el papel del contrato como instrumento jurídico esencial de la gestión económica, elevando la exigencia de su cumplimiento, en las relaciones entre los actores económicos como plantean los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026.

Desde 2015 cobra fuerza la llamada "excelencia comercial" según *International Association for Commercial and Contract Management;* esta concepción acerca las funciones de la gestión comercial y contractual al abastecimiento y las compras. La práctica transita de forma orgánica a la integración de todas las etapas del proceso. Las organizaciones que gestionan contratos con éxito han confirmado el hecho de que los contactos efectivos dependen, en gran medida, de los procesos utilizados para crear esos contratos[6]. Las investigación de [4] coincide en la necesidad de tratar la contratación desde el punto de vista organizacional, y no tratar etapas o problemas aislados.

En las universidades estas problemáticas del proceso de contratación se traducen en realización de pagos indebidos, pagos de forma tardía a proveedores dañando la imagen de la universidad. Que las ofertas suban de valor por las demoras en el proceso de contratación, que se establezcan relaciones contractuales desventajosas que afecten los intereses de la universidad, o no estén correctas legalmente; poca capacidad de negociación, limitada cartera de proveedores; inadecuada ejecución del presupuesto del estado, insatisfacciones de la comunidad universitaria y los mismos actores del proceso.

La integración de los actores, elementos y etapas del proceso de contratación económica en universidades públicas teniendo como paradigma la teoría general de sistemas es un desafío para la comunidad científica. Este enfoque en el proceso de contratación teniendo en cuenta las particularidades de la gestión económica-financiera de las universidades públicas puede tributar a elevar el desempeño de la ejecución del presupuesto; y superar enfoques atomistas y de parcelación que con el avance de las teorías de la administración han sido superados.

En la presente investigación se realiza un diagnóstico del estado en que se encuentra el proceso de contratación de una universidad desde una perspectiva sistémica y partiendo de un análisis del estado del arte y el marco legal. El propósito es diseñar un procedimiento integral para el proceso de contratación de bienes y servicios de una universidad pública.

## 2. Desarrollo

La búsqueda bibliográfica realizada en el repositorio científico Dimensions, con el término de búsqueda de ¨contratación pública¨ para títulos y resúmenes se encontraron 1046 publicaciones, con una tendencia creciente en los últimos 8 años. Los autores más destacados son Severiano Fernández Ramos y David Ordoñez Solís. El 17,39% de las publicaciones son en las revistas Estudios de la OCDE sobre la Gobernanza Pública y Revista Andaluza de Administración Pública. Los países donde se concentran la mayor cantidad de publicaciones son España, Brasil y Colombia. La búsqueda realizada con ¨contracting process¨ cómo término de búsqueda se ilustra en la figura 1.

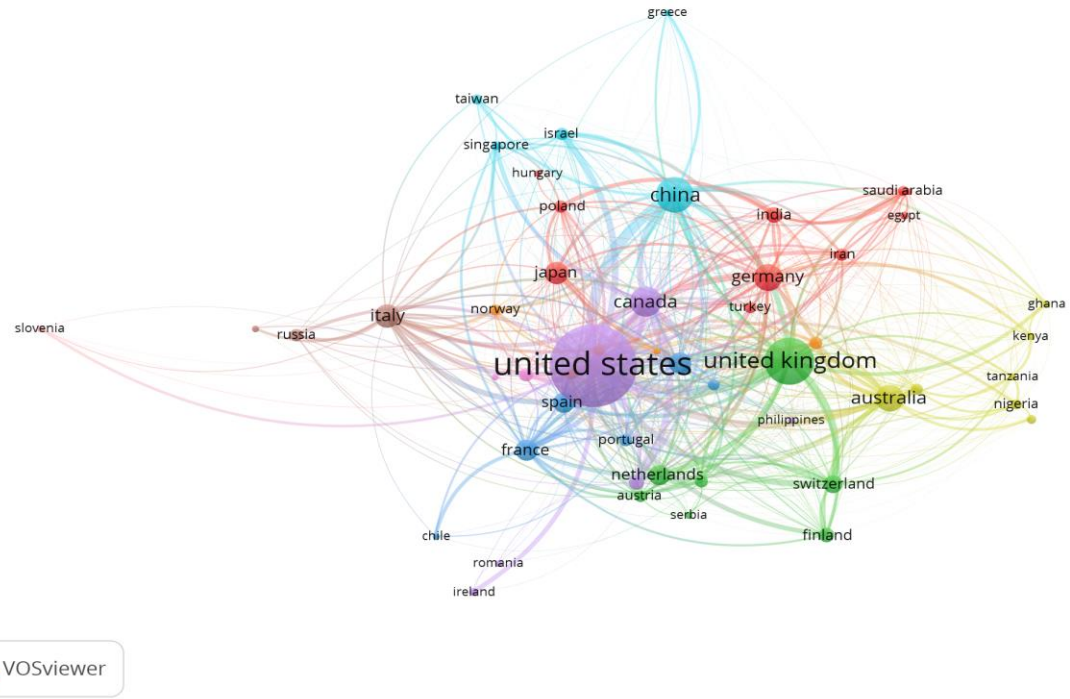



Figura 1. Mapa de acoplamiento bibliográfico por países utilizando ¨contracting process¨ cómo término de búsqueda en Dimensions. Fuente. Elaboración Propia

Destacan como los países donde más se publica del tema Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y China. En el mapa se agrupan según similitudes en la bibliografía en 10 clústeres, donde Estados Unidos y Canadá no forman parte del mismo clúster que Reino Unido ni China. Entre los principales autores destacan Paul Grefen; Islam H. El Hadawy; y Rene G. Rendon. Los mapas de coocurrencia de las palabras clave muestran que universidad y presupuesto no es utilizada como termino clave en las investigaciones que usan proceso de contratación en el término clave o el título.

Varios autores [7-10] señalan como una buena práctica emplear modelos para evaluar el desempeño en los procesos y el gasto presupuestario en instituciones públicas. Debido a las limitaciones de recursos económicos-financieros en el sector educativo y los desperdicios que existen por la falta de control. El desempeño de la ejecución presupuestal lleva a medir la relación de la gestión económica con el logro de los objetivos de la institución, y contribuye a medir que realmente el dinero público se emplea en el logro de resultados que benefician a la comunidad.

Para lograr los objetivos estratégicos de la universidad y mantener los procesos clave con la calidad requerida es necesaria la adquisición de recursos materiales e intangibles que se obtienen mediante la contratación de bienes y servicios, y generan un gasto presupuestario. La contratación pública en las universidades debe responder al cumplimiento de los objetivos de la entidad y elevar la calidad de sus procesos sustantivos. La relación descrita se ilustra en la figura 2.

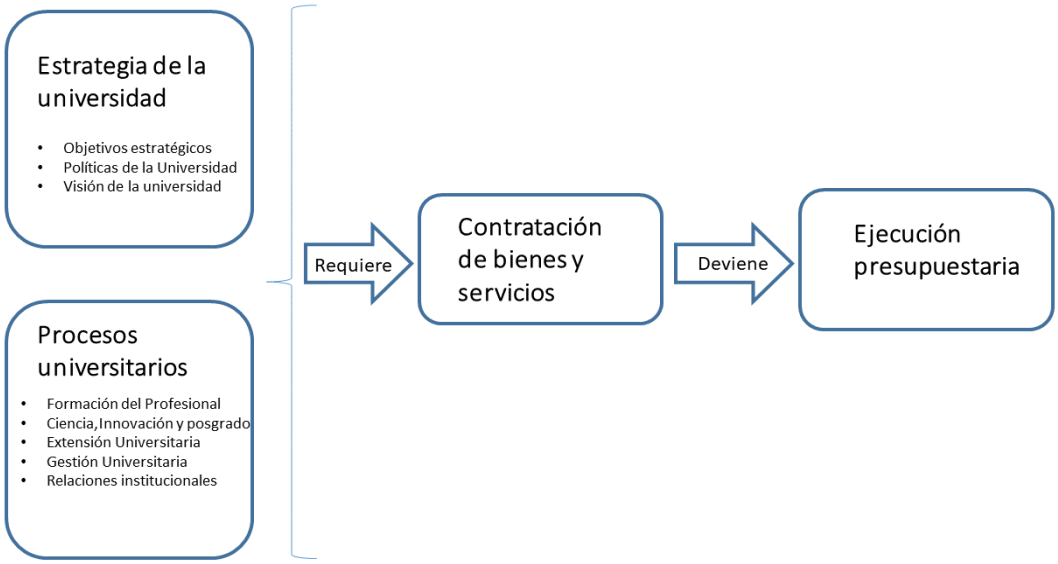



Figura 2. Relación entre Estrategia-Procesos-Contratación de bienes y servicios-Ejecución Presupuestaria en universidades públicas. Fuente. Elaboración propia.

Las consecuencias de las irregularidades de la ejecución presupuestaria en las universidades públicas derivan en afectaciones al presupuesto del estado, la comunidad universitaria y los procesos de la universidad; como se ilustra en la Figura 3.

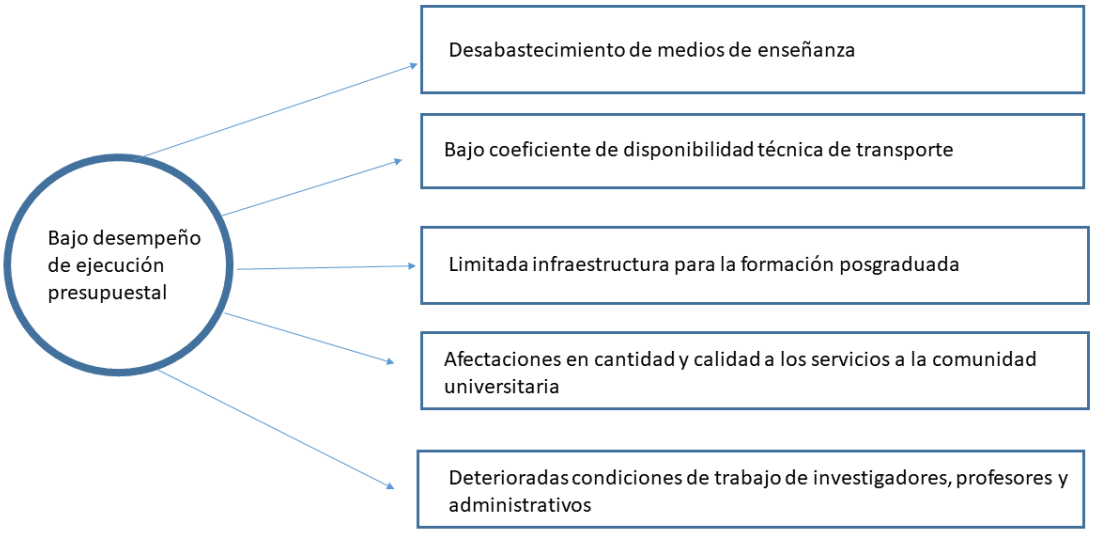



Figura 3. Relación de posibles consecuencias del bajo desempeño de la ejecución del presupuesto en universidades. Fuente. Elaboración propia.

Los investigaciones acerca del proceso de contratación en Cuba [11-15] y las investigaciones de [16-21] en el plano internacional; señalan varias deficiencias comunes en el proceso de contratación, como se muestra en el Gráfico 2.

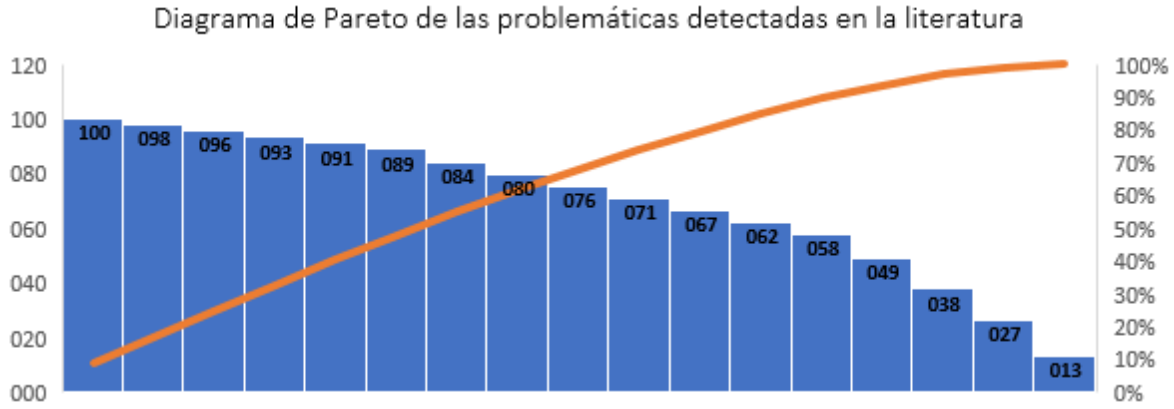



Gráfico 1. Diagrama de Pareto de las problemáticas detectadas en la literatura. Fuente. Elaboración propia.

En la muestra tomada de la literatura para el estudio de las problemáticas frecuentes no se cumple el principio de Pareto; pero se aprecia que el 57,78% se debe al 29,4% de las problemáticas. Siendo las problemáticas más repetidas: poco estudio de los proveedores, bajo conocimiento de los trabajadores implicados en el proceso de contratación, elevados tiempos de ciclo de contratación, ausencia de planes y políticas de contratación, y la poca integración de los especialistas en el proceso.

Las problemáticas asociadas al pago y los controles derivados de la firma del contrato es posible que no hayan sido señaladas con reiteración debido al enfoque cerrado que predomina al tratar el tema de la contratación económica. En la publicación donde se menciona se habla de la necesidad de la gestión por procesos, un enfoque integrador y la relación con el control interno en el proceso de contratación, y la investigación se centra en una universidad.

En las universidades estas problemáticas del proceso de contratación se traducen en realización de pagos indebidos, pagos de forma tardía a proveedores dañando la imagen de la universidad. Que las ofertas suban de valor por las demoras en el proceso de contratación, que se establezcan relaciones contractuales desventajosas que afecten los intereses de la universidad, o no estén correctas legalmente; poca capacidad de negociación, limitada cartera de proveedores; inadecuada ejecución del presupuesto del estado, insatisfacciones de la comunidad universitaria y los mismos actores del proceso.

Estos aspectos se materializan en la práctica en departamentos que operan de forma aislada con una mínima relación para satisfacer una necesidad cualquiera de la comunidad universitaria; con un enfoque reactivo, falta de proyecciones y planificación, dificultades para encontrar proveedores. La figura 4 ilustra la relación entre las dimensiones del contrato como herramienta para la planificación.

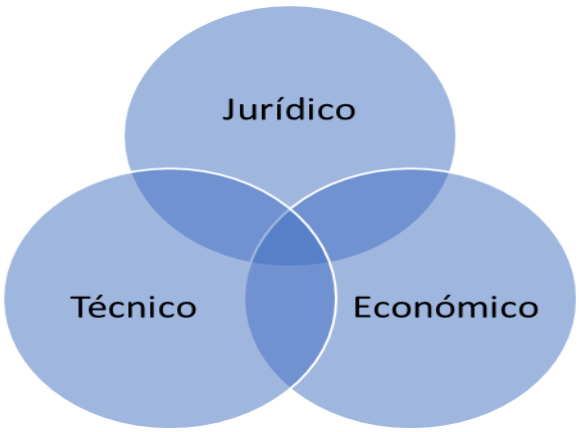


Figura 4. Relación entre dimensiones técnica-económica y jurídica del contrato como instrumento para la planificación. Fuente. Elaboración propia.

En la contratación en las universidades deben tenerse en cuenta los aspectos legales que marcan que se debe hacer desde las normas rectoras; los aspectos contables relacionados con la ejecución del presupuesto, gasto financiero y/o gasto presupuestario; la dimensión técnica de cada área de conocimiento de la cual se vaya a contratar un bien o servicio y los intereses de la universidad como institución manifestados en las relaciones contractuales. La relación descrita se ilustra en la figura 4.
A partir de lo identificado en la literatura se elabora una lista de chequeo para evaluar el estado del proceso de contratación de la universidad objeto de estudio teniendo en cuenta la integración y el enfoque a sistemas, la lista de chequeo se muestra a continuación con los resultados de su aplicación.

Tabla 1. Lista de Chequeo para evaluar el proceso de contratación con enfoque a sistema en una universidad pública con. Fuente. Elaboración propia.

| **Aspecto a evaluar** | **Evaluación** |
|---|---|
| Estudio de los proveedores | 2 |
| Conocimiento de los trabajadores implicados en el proceso | 3 |
| Elevados tiempos del ciclo de contratación | 4 |
| Planes y políticas de contratación | 2 |
| Integración de especialistas de áreas jurídicas-económicas y técnicas en el proceso | 3 |
| Gestión documental del proceso | 4 |
| Posturas inactivas en el proceso de negociación | 2 |
| Posturas inactivas de asesoría jurídica | 3 |
| Presencia de calidad, garantía y cuidado medioambiental | 4 |
| Penalidades definidas para el vendedor | 4 |
| Funcionamiento del Comité de Contratación | 4 |
| Alineación pago-contratación | 2 |
| Certificaciones de conformidad para los pagos | 3 |
| Definidas responsabilidades para cada trabajador | 4 |

| | |
|---|---|
| involucrado | |

Fuente. Elaboración propia.

Al procesar la lista de chequeo utilizando la escala Likert se obtiene una puntuación de un 62, 85 que sitúa el resultado en el rango de bien, cercano al regular. Señalando como criterios con mayores dificultades en el proceso el estudio de los proveedores, las posturas inactivas en la negociación, la alineación del pago con los montos en una herramienta interna de la entidad denominada ¨carta de seguimiento¨ y el establecimiento de planes y políticas de contratación que si bien existen no están formalizados.




Gráfico 2. Distribución de resultados por evaluación obtenida. Fuente. Elaboración propia.

Como muestra el gráfico 2 el 43% de los criterios son evaluados de bien, el 29% de regular y un 28% de mal. Los resultados evidencian un trabajo realizado en el proceso de contratación para perfeccionar la gestión del contrato y su utilización como instrumento para la planificación. Tomando las buenas prácticas de la realidad evaluada y las proyecciones para fortalecer los criterios que permanecen más débiles, se diseña un procedimiento integral para el proceso de contratación, que se muestra de forma resumida en la figura 5.

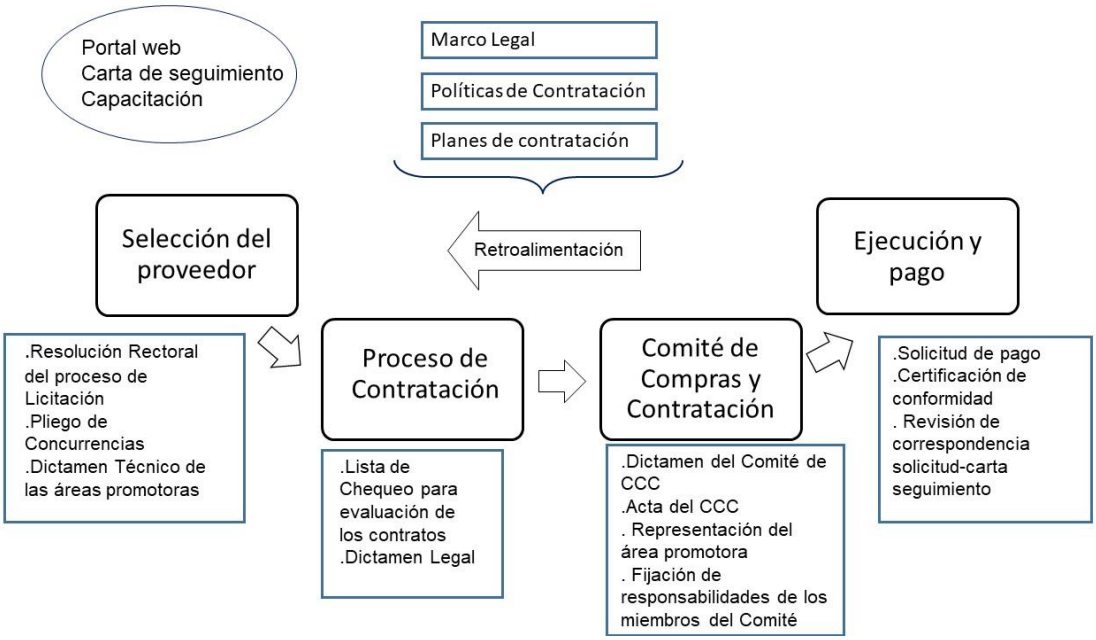



Figura 5. Procedimiento integral con enfoque a sistema del proceso de contratación de bienes y servicios en una universidad. Fuente. Elaboración propia.

El procedimiento diseñado contempla como elementos transversales a todo el proceso el conocimiento de las personas involucradas en el proceso, la socialización y la transparencia de la información relativa a la contratación de bienes y servicios en todas sus etapas y que sirva como instrumento para fortalecer la planificación y otorgar proactividad y capacidad de reacción para la adquisición de bienes y servicios y la ejecución presupuestaria.

El proceso se subordina a las políticas de contratación y planes definidos de conjunto por los especialistas técnicos de cada área y el Comité de Compras y Contratación de la entidad, y provee de herramientas y modelos en cada etapa del proceso con el propósito de evitar errores humanos, documentar la interacción de los especialistas técnicos, legales y económicos con el contrato y transparentando la responsabilidad de cada actor en el proceso.

La retroalimentación constante es un factor diferenciador en el procedimiento que marca la actualización que debe ocurrir en el mismo con las transformaciones de alguno de los componentes y la ocurrencia de brechas que escapen a las herramientas existentes.

El procedimiento integral propuesto se encuentra en una fase temprana de implementación donde se observan tendencias a disminución en los tiempos de ciclo de contratación, atención a la calidad y garantía en procesos de negociación, mayor conocimiento de los trabajadores de su responsabilidad en el proceso y relación con la ejecución presupuestaria.

## 3. CONCLUSIONES

En la investigación se diseña un procedimiento integral para el proceso de contratación con enfoque a sistemas que abarca desde la selección del proveedor hasta la ejecución del pago, integrando las dimensiones jurídicas-técnicas y económicas en el contrato, y resaltando el papel del mismo como un instrumento dinámico para la planificación financiera y la proactividad en las organizaciones. El procedimiento provee un conjunto de herramientas de trabajo y técnicas que fortalecen el proceso de contratación y contempla la retroalimentación como componente esencial del sistema.

## REFERENCIAS BIBILIOGRAFICAS

1. Aguilar, W.P.L. and M.A.P. Arévalo, *Gestión Administrativa y su impacto en el Plan Anual de Compras de la Universidad Técnica de Babahoyo en 2021*. Revista de investigación e Innovación, 2021. **7**(3).
2. Montes, Z.O., *Contrataciones del Estado y ejecución presupuestal en la Universidad Nacional José María Arguedas, 2021*. 2021, Universidad Cesar Vallejo.
3. Quispe, E.H.C. and B.L.H. Caso, *El proceso de contratación del estado y su incidencia en la ejecución presupuestal de la Universidad Nacional de Huancavelica, 2018*, in *Facultad de Ciencias Empresariales Escuela Profesional de Contabilidad*. 2021, Universidad Nacional de Huancavelica.
4. Rendon, R.G., *Benchmarking contract management process maturity: a case study of the US Navy*. Benchmarking: An International Journal, 2015. **22**(7).
5. Pomar, F.G. and J.J. Ganuza, *La teoría económica del contrato recibe el Nobel.* Revista para el Análisis del Derecho 2024. **1**.
6. Tijink, K., *Improving the contract arrangement model of Coppa*. 2023, University of Twente.
7. Susanto, A.D., *The impact of new public management, The performance budget reporting model in educational institutions* Journal of world science, 2023. **2**(2).
8. Krudycz, L.C., et al., *Decision support in the budget management of a public institution: a constructivist multicriteria model.* Administratie Și Management Public, 2023. **41**.
9. Rodríguez, E.D. and K.S. Dávila, *Gestión del presupuesto por resultados para mejorar la calidad del gasto público en la unidad de gestión educativa local San Martín – Tarapoto.* Revista Científica Multidisciplinar, 2021. **5**(4).
10. Wei, W. and Z. Shannan, *Development course and achievements of budget performance management of administrative institutions in China.* GSC Advanced Research and Reviews, 2022. **11**(01).
11. Dominguez, M.P., *Propuesta de plan de acciones para la mejora del proceso de contratación en la UEB Isla de la Juventud perteneciente a OSDE Gran Caribe*, in *Facultad de Turismo*. 2018, Universidad de La Habana.
12. Ravelo, I.P.V., *Sistema de Contratación Económica. Análisis de su realidad en la Empresa "Pesant". Resultados concretos*, in *Departamento de Asesoría Jurídica y Derecho Internacional*. 2019, Universidad de La Habana.
13. Díaz, D.O., P.B. Pérez, and I.M. Palacios, *Procedimiento para la gestión integral de la contratación económica en la Universidad de Matanzas.* 2023.
14. Gil, R.A.I. and L.d.l.F.p. Rodríguez, *Importancia de la gestión de contratos en las organizaciones empresariales en CUBA*, in *Ciencias Económicas y de la Administración Pública y Empresarial*, E.A. Universitaria, Editor. 2021.
15. Bencomo-Fariñas, Y. and A.T. Acosta-Cardoso, *El proceso de contratación económica en el sector empresarial cubano. Fisuras y desafíos* Santiago, 2020. **153**.
16. Uwiringiyimana, T. and J.d.D. Dushimimana, *Effect of Procurement Contract Management Practices on Performance of Public Institutions. A Case of Integrated Polytechnic Regional College (IPRC) Musanze, Rwanda.* African Journal of Empirical Research, 2024. **5**(1).
17. Failoc, R.E.M., *El Plan Anual de Contrataciones y el proceso de contratación de bienes y servicios en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. 2019, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".
18. Lee, W.-P., et al., *Capacity Building needs of small and medium contracting enterprises in Klang Valley Malaysia.* International Journal of Industrial Management, 2020. **6**(1): p. 17-27.
19. Meričková, B.M., et al., *Contracting and Outsourcing in Public Sector in the Czech Republic.* Scientific Papers of the University of Pardubice, 2020. **28**(4).
20. Sánchez, V.C.S., *El Proceso de contratación pública y el cumplimiento del Plan Anual de Compras Del año 2014 en la Universidad Técnica de Ambato"*, in *Facultad de Contabilidad y Auditoría.Dirección de Posgrado*. 2016, Universidad Técnica de Ambato.
21. Asca, A., et al., *Administrative management in procurement processes in a public sector entity.* Journal of business and entrepreneurial studies, 2021. **5**(3).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN. CASO DE APLICACIÓN ESTACIÓN EXPERIMENTAL "INDIO HATUEY"

**Beatriz Hernández Manso[1], Jesús Suárez Hernández[2], Daniel Alfonso Robaina[3]**

[1 3] Universidad Tecnológica de la Habana. Calle 114 No. 11901/ Ciclovía y Rotonda. Marianao. La Habana. Cuba; [2] Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Universidad de Matanzas. Matanzas. Cuba.
[1] hmbeatriz2311@gmail.com; beatriz@ind.cujae.edu.cu
[2] jesus.suarez@ihatuey.cu
[3] dalfonso@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Objetivo: Proponer un procedimiento de diagnóstico para evaluar la Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación (CAGETI), tomando como caso de estudio la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" (EEPFIH)
Materiales y métodos: Técnicas de investigación científica teóricas y empíricas como, el método de expertos Delphi, la modelación matemática basado en la Lógica Difusa Compensatoria (LDC), el análisis estadístico. las listas de chequeo y el trabajo en equipo.
Resultados: La validación del procedimiento en la EEPFIH permitió determinar un bajo desempeño de la Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación (CAGETI) con un valor de 0,45 según la escala de evaluación del nivel de desempeño de las capacidades, con una alta incidencia negativa en variables de la Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento (CAGCCI) con un desempeño de 0,20 aproximadamente.
Conclusión La aplicación del procedimiento de diagnóstico para evaluar la CAGETI en la EEPFIH, demostró que aún existe una brecha en la gestión de la tecnología y la innovación a nivel organizacional, ubicándose las mayores oportunidades de mejora en la Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento (CAGCCI). El procedimiento de diagnóstico propuesto puede ser generalizado a todo tipo de organización independientemente del sector económico o tamaño de esta.

**PALABRAS CLAVE:** gestión tecnológica; innovación; capacidad de gestión estratégica; Lógica Difusa Compensatoria

# ASSESSMENT OF THE STRATEGIC MANAGEMENT CAPACITY OF TECHNOLOGY AND INNOVATION. CASE OF APPLICATION 'INDIO HATUEY' EXPERIMENTAL STATION

**ABSTRACT**

Objective: To propose a diagnostic procedure to evaluate the Capacity for strategic management of technology and innovation (CAGETI), taking as a case study the Experimental Station of Pastures and Forages 'Indio Hatuey' (EEPFIH).
Materials and methods: Theoretical and empirical scientific research techniques such as the Delphi expert method, mathematical modeling based on Compensatory Fuzzy Logic (CFL), statistical analysis, checklists and teamwork.
Results: The validation of the procedure in the EEPFIH allowed to determine a low performance of the Capacity for strategic management of technology and innovation (CAGETI) with a value of 0.45 according to the scale of evaluation of the level of performance of the capacities, with a high negative incidence in variables of the Capacity for management of competences and knowledge (CAGCCI) with a performance of 0.20 approximately.

Conclusion: The application of the diagnostic procedure to assess the CAGETI in the EEPFIH, showed that there is still a gap in the management of technology and innovation at the organizational level, with the greatest opportunities for improvement in the Competence and Knowledge Management Capability (CAGCCI). The proposed diagnostic procedure can be generalized to all types of organizations regardless of their economic sector or size.

**KEYWORDS:** technological management; innovation; strategic management capacity; Compensatory Fuzzy Logic.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en los que los intangibles han cobrado un papel crucial en el proceso de innovación, también suele identificarse en el campo de la dirección empresarial como aprendizaje organizacional [1], gestión del conocimiento [2], capital intelectual [3], competencias esenciales [4] y capacidades dinámicas [5], que juegan un papel crucial en los procesos de innovación contribuyendo a mejores resultados organizacionales. En este contexto, las empresas dependerán de sus habilidades para desarrollar, controlar y explotar recursos internos y capacidades estratégicas, que proporcionen ventajas competitivas y le permitan lograr un alto desempeño [6].

En Cuba, la función de la ciencia en el proyecto de desarrollo social es una de las originalidades de la Revolución cubana: nunca antes en un país subdesarrollado el pensamiento científico y la práctica de la investigación científica habían tenido una función tan protagónica en un proceso de transformación social [7]

Entre las prioridades gubernamentales, respaldadas en los documentos programáticos como la Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista aprobados en el VI, VII y VIII Congresos del Partido Comunista de Cuba (PCC) y en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026, destacan el incremento de las exportaciones sobre las importaciones, la soberanía tecnológica y, lo más importante, la soberanía alimentaria y nutricional [8].

En este empeño juegan un papel muy importante los centros de investigación y universidades como centros generadores de nuevas tecnologías. En contraste, existe un limitado impacto de la ciencia en la producción de bienes y servicios, lo cual se contrapone con la formación del potencial humano, la educación y la creación de capacidades científicas existentes [9], [10].

Aspecto que llama la atención en función de si han desarrollado las capacidades para poder gestionar estratégicamente la tecnología y la innovación, todo lo cual ha generado la necesidad del diseño de un procedimiento de diagnóstico para evaluar el comportamiento de las variables que afectan la Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación (CAGETI), contribuyendo a un bajo desempeño de la organización; tomando como caso de estudio la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, lo cual constituye el objetivo de este trabajo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento de diagnóstico propone un sistema de indicadores para evaluar la CAGETI, validado por 19 expertos de ECTI prestigiosas, mediante el método Delphi, integrados en un modelo matemático basado en la LDC, que vincula la Capacidad de dirección y gestión de la innovación (CADIGI), la Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento para la innovación (CAGCCI) y la Capacidad de investigación, desarrollo e innovación (CAIDIN). Los resultados obtenidos demostraron un alto nivel de confiabilidad o consistencia interna ($\alpha > 0{,}80$) en los instrumentos propuestos para evaluar las tres capacidades. Este procedimiento forma parte del instrumental metodológico para implementar el Modelo de dirección estratégica basado en ciencia tecnología e innovación para la integración del sistema de dirección empresarial (DECTI-ISDE) [11]

El procedimiento para determinar la CAGETI cuenta con las siguientes actividades:
Actividad 1. Capacitación del grupo de mejora.
Actividad 2. Aplicación de las listas de chequeo
Actividad 3. Procesamiento y análisis estadístico de los resultados.
Actividad 4. Procesamiento de los resultados para la toma de decisiones con la aplicación de la LDC basada en la Media Geométrica
Actividad 5. Análisis de los datos y toma de decisiones

**Actividad 1. Capacitación del grupo de mejora**

El grupo de mejora es capacitado en cuanto al objetivo del instrumento, la definición de las variables, el completamiento de las listas de chequeo, el análisis estadístico de los resultados, así como el procesamiento de la media geométrica de las variables en el modelo matemático de la LDC.

**Actividad 2. Aplicación de las listas de chequeo**

El instrumento de diagnóstico empleado son tres listas de chequeo, una que evalúa la CADIGI(x) con 25 indicadores (variables simples) asociadas a siete variables compuestas; la segunda evalúa la CAGCCI(x) con 20 indicadores (variables simples) asociadas a seis variables compuestas, y, por último. la que evalúa la CAIDIN(x) con 21 indicadores (variables simples) asociadas a ocho variables compuestas, que se interrelacionan en el modelo matemático a través de predicados verbales interconectados por operadores de LDC para evaluar la CAGETI(x).

Las listas de chequeo se aplican al grupo de mejora, que evalúan de forma individual a través de preguntas que son respondidas de acuerdo a la simulación del estado en que se encuentra la entidad, el comportamiento de las dimensiones correspondientes a las tres variables antes mencionadas considerando su experiencia; resultados de la evaluación del indicador que mide el nivel de integración del sistema de dirección empresarial basado en ciencia, tecnología e innovación interno y externo (NISDE-CTI); resultados de diagnósticos internos y externos e inspecciones o auditorías realizadas recientemente, así como la caracterización del área de I+D y otras áreas relacionadas

Para garantizar la precisión de la información resultante en las listas de chequeo se ofrecen cinco posibles escenarios de respuesta a cada pregunta a evaluar, con una escala de puntuación de 1 al 10 donde: la primera descripción coincide con la puntuación 1; la segunda tiene asociada las puntuaciones 2 y 3; la tercera tiene las puntuaciones 4, 5 y 6; la cuarta tiene asociada las puntuaciones 7, 8 y 9, y la última descripción tiene la puntuación 10; sólo se puede evaluar una pregunta con una sola puntuación. Los rangos intermedios de puntuaciones en cada descripción son para establecer diferencias en un mismo estado; el valor 1 demuestra un bajo desempeño del indicador y el 10 un comportamiento óptimo.

**Actividad 3. Procesamiento y análisis estadístico de los resultados**

Los resultados obtenidos en la aplicación de las listas de chequeo son analizados estadísticamente para determinar la confiabilidad de los datos recogidos a través del Coeficiente de concordancia de Kendall, con el uso de software estadístico o en Excel; el nivel de concordancia entre los expertos debe ser mayor del 60% (W>60%). Posteriormente, son procesados a través del modelo matemático basado en la LDC, como se explica a continuación

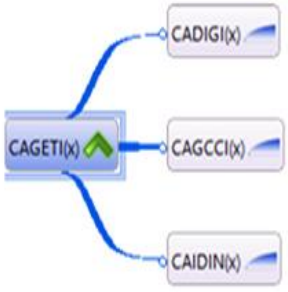
**Actividad 4. Procesamiento de los resultados para la toma de decisiones con la aplicación de la LDC basada en la Media Geométrica**

El sistema para evaluar la Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación CAGETI(x) unifica los módulos que evalúan la CADIGI(x), la CAGCCI(x) y la CAIDIN(x) en una estructura homogénea construida a partir de hechos matemáticos y apoyadas por la lógica difusa y la antología difusa, con el objetivo de apoyar a los decisores en el análisis de datos, la generación de inteligencia y la evaluación y comparación de alternativas para la toma de decisiones.

La Tabla 1 representa gráficamente la modelación matemática basada en la Lógica Difusa Compensatoria (LDC) de la CAGETI(x) y describe la formulación verbal de cada predicado; las ecuaciones matemáticas responden a la relación de pertenencia entre los predicados [12].

Los principales operadores empleados en la LDC son los siguientes: ∧**:** expresa la conjunción (y/and), es decir, que se deben cumplir los predicados que se relacionan. ∨**:** expresa la disyunción (o/or), o sea, que se debe cumplir al menos un predicado de los relacionados. →: expresa la implicación. $\mathbf{X^2}$: expresa el modificador "muy", y se eleva al cuadrado para intensificar el valor de dicho predicado. $\mathbf{X^{0,5}}$: expresa el modificador "algo". Se eleva al 0,5 para disminuir el valor de determinado predicado. ¬: expresa la negación, utilizado para expresar el sentido contrario del predicado que se está negando.

**Tabla 1.** Modelación matemática de la CAGETI(x).

| Nombres de las Variables | Descripción de los predicados | Predicados de LDC y Representación gráfica |
|---|---|---|
| CAGETI(x): Capacidad de Gestión Estratégica de la tecnología y la innovación.<br><br>Variables de la Capacidad de Gestión Estratégica de la tecnología y la innovación CAGETI(x).<br><br>1. CADIGI(x): Capacidad de dirección y gestión de la innovación.<br>2. CAGCCI(x): Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento para la innovación.<br>3. CAIDIN(x): Capacidad de investigación, desarrollo e innovación. | CAGETI(x): La ECTI X tiene una alta Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación si: tiene una alta Capacidad de dirección y gestión de la innovación (CADIGI); tiene una alta Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento para la innovación (CAGCCI); tiene una alta Capacidad de investigación, desarrollo e innovación (CAIDIN).<br><br>1. CADIGI(x): La ECTI X tiene una alta Capacidad de dirección y gestión de la innovación.<br>2. CAGCCI(x): La ECTI X tiene una alta Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento para la innovación.<br>3. CAIDIN(x): La ECTI X tiene una alta Capacidad de investigación, desarrollo e innovación. | $CAGETI(x) = CADIGI(x) \wedge CAGCCI(x) \wedge CAIDIN(x)$<br><br>$CAGETI(x) = \sqrt[3]{CADIGI(x) * CAGCCI(x) * CAIDIN(x)}$<br><br> |

Una vez realizada la evaluación por el Grupo de mejora, a través de las listas de chequeo, se le conferirá una respuesta a través del modelo matemático basado en la LDC, dicha respuesta tendrá un valor entre 0 y 1. El predicado evaluado es más falso o más verdadero mientras más cercano esté a 0 o a 1 según la escala de categorías de los valores de verdad que se muestran en la tabla 2.

En el lenguaje de la LDC, lo expresado en la tabla 2, equivale a decir, que el resultado obtenido es el valor de verdad de acuerdo a cuán cierto es que se cumple con lo definido en el predicado a evaluar en la capacidad analizada, por ejemplo, cuán cierto es que la ECTI posea una alta Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación.

Posteriormente se ubica el valor obtenido en la escala de evaluación del nivel de desempeño de las capacidades (Tabla 3). Esta escala permite evaluar el nivel de desempeño de la CAGETI ($0 < CAGETI < 1$), mientras más cerca esté el valor de la variable a 1 más alto será su desempeño, el mismo procedimiento se ejecuta para cada una de las tres capacidades que la determinan.

Tabla 2. Categorías de los valores de verdad.

| Valor de la Verdad | Categorías |
|---|---|
| 0 | Falso |
| 0.1 | Casi Falso |
| 0.2 | Bastante Falso |
| 0.3 | Algo Falso |
| 0.4 | Más Falso que Verdadero |
| 0.5 | Tan Verdadero como Falso |
| 0.6 | Más Verdadero que Falso |
| 0.7 | Algo Verdadero |
| 0.8 | Bastante Verdadero |
| 0.9 | Casi Verdadero |
| 1 | Verdadero |

Tabla 3**.** Escala de evaluación del nivel de desempeño de las capacidades.

| Rango | Criterio de Evaluación de las Capacidades |
|---|---|
| Capacidades = 0 | Crítico |
| 0 < Capacidades ≤ 0,5 | Bajo |
| 0,5 < Capacidades ≤ 0,7 | Medio |
| 0,7 < Capacidades < 0,9 | Alto |
| 0,9 ≤ Capacidades < 1 | Muy Alto |
| Capacidades = 1 | Óptima |

**Actividad 5. Análisis de los datos y toma de decisiones**

Con los resultados de las medias geométricas y los valores de verdad para cada una de las variables que pertenecen a los tres predicados compuestos de segundo nivel (CADIGI, CAGCCI y CAIDIN), los cuales tributan al predicado compuesto de primer nivel o global (CAGETI) en las ramas del árbol lógico de predicados, se identifican las variables vinculadas con la gestión tecnológica y la innovación que han incidido en los bajos desempeños de cada capacidad. Con los elementos limitantes y los elementos causas de estos, se redacta la situación problema para cada rama del árbol lógico de predicados de la CAGETI y se priorizan a través de la matriz de Vester, las acciones priorizadas se someten a una matriz de Viabilidad vs Importancia para definir el orden de ejecución de las acciones en correspondencia con el presupuesto con que cuenta la entidad para su implementación y el impacto de estas en la misión y visión.

Con esta información se elabora el Plan estratégico de acciones de mejora para la ECTI. Durante la implementación se considera importante el liderazgo de la alta dirección de la empresa y la supervisión sistemática y los ajustes necesarios para su cumplimiento, así como la evaluación al final del proceso, de la CAGETI y otros indicadores económicos y de gestión del Modelo de dirección estratégica basado en ciencia, tecnología e innovación para la integración del sistema de dirección empresarial (DECTI- ISDE)

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la aplicación del procedimiento desarrollado, se utilizó como caso de estudio la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EEPFIH). Dicha estación es una ECTI adscrita al Ministerio de

Educación Superior (MES), fundada con el objetivo de desarrollar y transferir tecnologías de alimentación y producción animal, influir en el establecimiento y rehabilitación de pastizales, lograr variedades comerciales de pastos y forrajes, así como la producción de semillas; es reconocida por sus aportes en la alimentación y manejo del ganado vacuno, no obstante estudios realizados reflejan la no existencia de indicadores económicos financieros para medir el impacto de nuevos productos; no realizan exportaciones; tampoco se patentó o licenció un producto en los últimos cinco años; así como una insuficiente gestión comercial, escaso uso de indicadores de eficiencia, eficacia, entre otros.

Para la aplicación de las listas de chequeo se trabajó con un grupo de seis expertos, que fueron elegidos teniendo en consideración la cantidad de años en la entidad, la categoría y grado científico, el cargo ocupado y el conocimiento en el tema de estudio, personas con autoridad para la toma de decisiones y con un nivel de liderazgo en el círculo en que se desenvuelven los que fueron capacitados en cuanto al objetivo y contenido de las listas de chequeo y la forma de responderlas. Los resultados de la media geométrica del valor de X para cada variable se muestran en las figuras 1, 2 y 3.

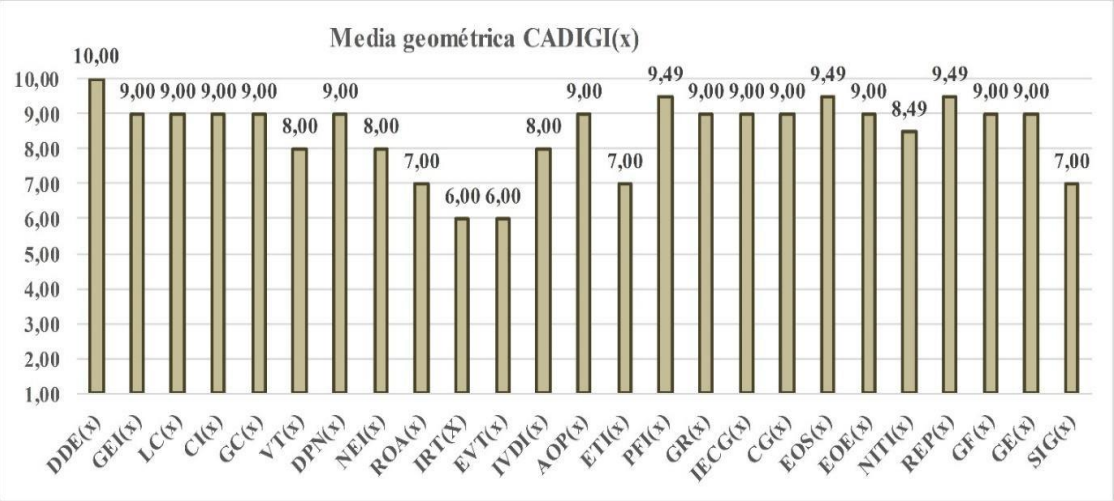



Figura 1. Media geométrica de las dimensiones de la CADIGI(x)

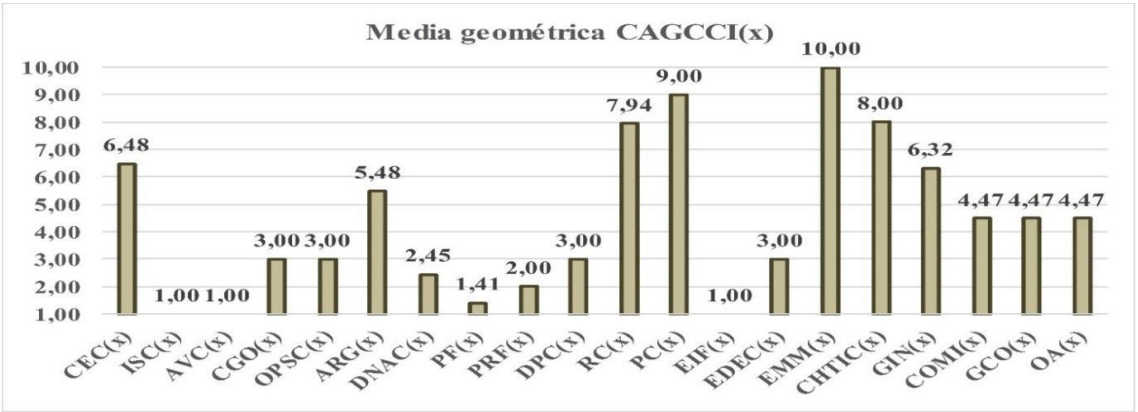



Figura 2. Media geométrica de las dimensiones de la CAGCCI(x)

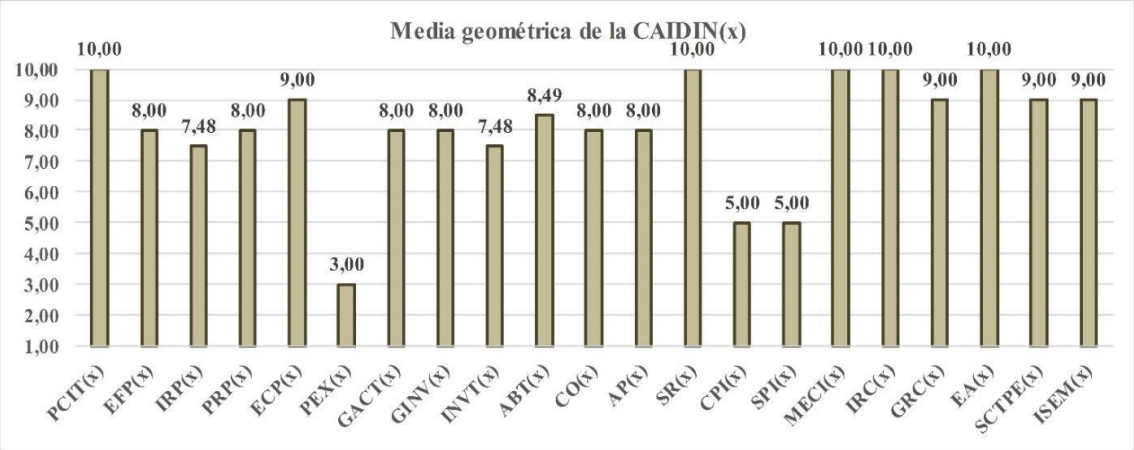



Figura 3. Media geométrica de las dimensiones de la CAIDIN(x)

La confiabilidad de los datos recogidos en la aplicación de las listas de chequeo se evidencia en el Test de Kendall, con un coeficiente de concordancia (W) mayor que el 80 % para todos los casos; W= 0,96, W=0,91 y W=0,98 para CADIGI(x), CAGCCI(x) y CAIDIN(x), respectivamente, con un nivel de confianza del 95 %

Las medias geométricas se procesan en el software Fuzzy Tree Studio (FTS) que proporciona los valores de verdad de las variables CADIGI(x), CAGCCI(x) y CAIDIN(x) y de la CAGETI(x), como se muestra en la figura 4.

Puede apreciarse que el valor de verdad de la CAGETI(x) es 0,45, según la escala en la tabla 3 la entidad tiene un bajo desempeño de la CAGETI ($0 < \text{CAGETI} \leq 0.5$); en el lenguaje de la LDC quiere decir que es más falso que verdadero que la entidad posea una alta Capacidad de gestión estratégica de la tecnología y la innovación, según la tabla 2. La variable con mayor influencia negativa en este resultado es la CAGCCI(x) con la mayor cantidad de indicadores limitantes.

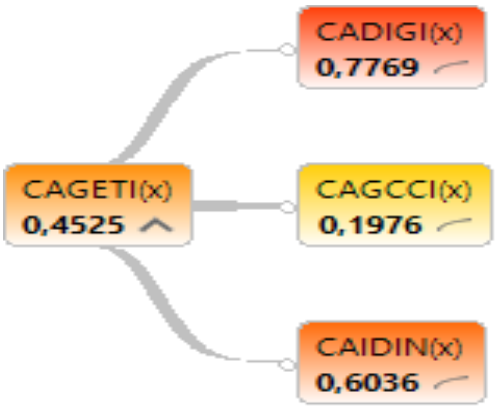



Figura 4. Diagrama y valor de verdad de la CAGETI(x). Fuente: Salida del software FTS

A continuación, se describen las variables que están limitando el buen desempeño de las tres variables que determinan la CAGETI y sus causas.

Variables limitantes del desempeño de la CADIGI:

1. **Reconocimiento de oportunidades y amenazas ROA(x):** Es insuficiente la integración con todos los actores económicos de la sociedad y la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva con el empleo de las TIC que permitan reconocer todas las oportunidades y amenazas
2. **Inventario de los recursos tecnológicos IRT(x):** Se realizan inventarios tecnológicos parcialmente formalizados, de forma aproximada, sin método y esporádicamente. No están identificadas las tecnologías blandas y duras en cada proceso clave,
3. **Evaluación de los Recursos Tecnológicos EVT(x):** se han hecho algunas evaluaciones aproximadas cuando instancias superiores lo exigen, pero de forma empírica. Existe un personal con un conocimiento parcial, no totalmente capacitado para la realización de esta función.
4. **Estrategia tecnológica y de Innovación ETI(x):** La entidad no tiene elaborada su estrategia tecnológica y de innovación en consonancia con la estrategia organizacional; considerando la gestión comercial y tecnológica.
5. **Integración del sistema de gestión organizacional con otros sistemas de gestión SIG(x):** Tienen un Sistema de Gestión de Control (SGC), pero no está certificado, están en vía de acreditar sus laboratorios y solo el 50 % de sus instrumentos de medición están calibrados.

Entre las variables limitantes y las causas del bajo desempeño de la CAGCCI, se encuentran las siguientes:

1. **Cultura de la alta dirección del enfoque de competencias y su integración con la estrategia tecnológica y de innovación CEC(x):** Están elaboradas las estrategias y las políticas de Gestión de Recursos Humanos, pero la gestión no se realiza con enfoque de competencias, ni están integradas al proceso de gestión de la organización, en general, ni a la gestión de la tecnología y la innovación, en particular.
2. **Identificación del sistema de competencias ISC(x):** Las competencias clave o distintivas de la entidad, de los procesos de las actividades principales y de los puestos de trabajo no están identificadas.
3. **Aprobación y validación del sistema de competencias AVC(x):** No se encuentra aprobado ni validado el sistema de competencias. No existe un procedimiento documentado de la realización de esta actividad.
4. **Conocimiento de los gestores de CH acerca de la organización y sus reglas esenciales CGO(x):** Los especialistas no tienen todo el conocimiento de la dirección estratégica adoptada. Están diseñados los perfiles de cargos, pero no están actualizados de acuerdo a la estrategia tecnológica y de innovación y los objetivos de I+D+i.
5. **Organización del proceso de selección e integración con enfoque de competencias OPSC(x):** La entidad tiene elaborado un procedimiento donde se establece como es la realización del proceso de selección, pero no está actualizado con la selección por competencias. La organización tiene constituido el Comité de Ingreso en las áreas donde es pertinente, pero no funciona adecuadamente.
6. **Atención y preparación de los recién graduados de técnico medio y de nivel superior sujetos al cumplimiento del adiestramiento laboral ARG(x):** Se realiza un plan individual de adiestramiento laboral, pero no están identificadas las competencias que debe desarrollar en correspondencia con el grado de complejidad del cargo.
7. **Diagnóstico de necesidades de aprendizaje en los tres niveles de competencias (organizacionales, de procesos e individuales) DNAC(x):** Se realiza un diagnóstico de las necesidades de aprendizaje para conformar el programa de formación de forma poco profesional. No se consideran los aspectos siguientes: las competencias del cargo; no se emplean técnicas para el mismo como: cuestionarios, entrevistas, pruebas o exámenes, entre otras; no se utilizan técnicas y herramientas de recopilación y procesamiento de datos (gráfico de brechas, escala porcentual y otros)
8. **Planes de formación PF(x):** Se realizan planes individuales de formación, pero no considera el sistema de competencias. No se utilizan las técnicas y herramientas adecuadas, con el objetivo de cumplir con la formación del personal, por lo que el presupuesto asignado para estos fines se ejecuta, pero no adecuadamente. No existe un plan de formación para los directivos, y una parte de ellos considera el ciclo de formación como un costo, no como una inversión.
9. **Programas de formación PRF(x):** Los programas de formación no se realizan teniendo en consideración el cumplimiento de los objetivos de I+D+i y la estrategia tecnológica; se realizan a partir del Plan Operativo (anual) de Formación
10. **Diseño del plan de carrera profesional DPC(x):** No está diseñado el plan de carrera en la organización. Las personas se mueven de forma horizontal o vertical sin planificar y gestionar este proceso.
11. **Evaluación del impacto de la formación EIF(x):** La alta dirección de la entidad y los jefes de área no evalúan el impacto de la formación

12. **Evaluación del desempeño con enfoque de competencias EDEC(x):** Se realiza la evaluación del desempeño considerando el perfil de cargo. La evaluación del desempeño no garantiza la coherencia con la estrategia organizacional definida y la visión, objetivos de I+D+i y la estrategia tecnológica y de innovación, por lo que no se puede determinar cuál es el tributo de ese desempeño individual al desempeño organizacional.
13. **Gestión de la Información GIN(x):** Aunque tienen documentado todos sus procesos, la información no se controla, ni se protege de forma adecuada, tampoco se encuentra actualizada en las herramientas de recopilación de datos.
14. **Comunicación para la Innovación COMI(x):** Existe un aprovechamiento medio de las TIC. Funcionan, en alguna medida, los canales de comunicación informal y los formales y agilizan un poco las gestiones, porque la comunicación interna y externa ha mejorado en alguna medida. Se encuentra en fase de implementación las TIC y procedimientos que mejoren los procesos.
15. **Gestión del conocimiento GCO(x):** No se utilizan TIC, tales como *Data Warehouse* (almacenes de datos), *Data Mining* (minería de datos) y Sistema informatizado GRH (e-RRH GREHU) para tratar de conciliar todas las fuentes de datos (la Intranet, junto a la recurrencia del e-mail, y el e-learning, mediante Portales corporativos, las páginas Web e informaciones),
16. **Organización que aprende OA(x):** La alta dirección de la entidad y los gestores de capital humano asumen el concepto de "Organización que aprende", pero no están bien capacitados para desarrollarlo. Se dan los primeros pasos en la entidad con el trabajo en equipos y en función de los objetivos de la organización laboral.

Entre los indicadores de la CAIDIN, se destacan como los de menor desempeño los siguientes:

1. **Plan de explotación PEX(x):** No se realizan actividades de reducción de riesgos comerciales (preparación para la comercialización). No desarrolla un plan de marketing ni de ventas, tampoco se asegura la disposición de fondos y recursos organizativos para la introducción en el mercado y la expansión.
2. **Cultura de Propiedad Industrial CPI(x):** La Alta Dirección y el Consejo Científico de la entidad no están capacitados en la gestión de la propiedad industrial (PI), no fomentan una cultura de protección de los recursos tecnológicos tangibles e intangibles. No existe una estrategia y política de PI. No existe un personal con las funciones para el desarrollo de esta actividad, no se registran patentes u otra modalidad de protección del patrimonio tecnológico. Por tales motivos, se puede afirmar que la gestión de la PI no forma parte de la cultura organizacional de la entidad.
3. **Sistema de Propiedad Industrial SPI(x):** La entidad ha diseñado el Sistema de PI, pero no está debidamente estructurado y organizado. La información de PI, particularmente de patentes, no se emplea para la planificación de la I+D+i, los cambios tecnológicos y con la transferencia y la asimilación de tecnologías.

## 4. CONCLUSIONES

1. El procedimiento de diagnóstico para evaluar la CAGETI es un elemento esencial en la elaboración del plan estratégico de la tecnología y la innovación para cumplir la misión y alcanzar la visión de la entidad y puede ser generalizado a todo tipo de organización independientemente de la actividad económica que desempeñe o tamaño de esta.
2. El modelo de Lógica Difusa Compensatoria diseñado para evaluar la CAGETI de la entidad proporciona una base de conocimientos intelectual, tecnológico y científico que en el campo de la Inteligencia Organizacional Semántica (IOS) logra integrar tres elementos: la Gestión del Conocimiento, el Descubrimiento del Conocimiento y la Toma de Decisiones
3. La evaluación de la CAGETI en la EEPFIH, demostró que aún existe una brecha en la gestión de la tecnología y la innovación a nivel organizacional, ubicándose las mayores oportunidades de mejora en la Capacidad de gestión de las competencias y el conocimiento (CAGCCI)

**Agradecimientos**

A la Alta Dirección de la EEPFIH y a los expertos que participaron, por su apoyo y contribución.

## 5. REFERENCIAS

1. COLINA YSEA, Felix; ALBITES SANABRIA José L. "Aprendizaje e innovación: retos en las organizaciones del siglo XXI". *Revista Desde el Sur*, 2020, vol *12*, núm. 1, pp. 167-176. http://doi.org/10.21142/DES-1201-2020-0011
2. AYOUB, Martina. "One size does not fit all: The plurality of knowledge sources for transition to sustainable farming". *Journal of Rural Studies*, 2023, vol 97, pp. 243-254. http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.12.007
3. GIL LEÓN, José M; VARGAS SIERRA Edwin Y; GUTIÉRREZ AYALA Jhancarlos. "Capital intelectual, comportamiento innovador y ventaja competitiva en PyMEs: relaciones de influencia en hoteles de Boyacá (Colombia)". *Revista Espacios*, 2020, vol 41, núm. 31, pp. 102-118.
4. DANOOK, Ahmed Abdullah; AL.OBAIDY Omar-F Hasan. "Evaluating the dimensions of strategic intent according to the Hamel and Prahalad model/a case study in Oil Projects SCOP Company". *Nankai Business Review International*, 2022, vol ahead-of-print, núm. ahead-of-print. http://doi.org/10.1108/NBRI-04-2022-0043
5. TEECE, David J. "A capability theory of the firm: an economics and (strategic) management perspective". *Journal New Zealand Economic Papers*, 2019, vol 53, núm. 1, pp. 1-43. http://dx.doi.org/10.1080/00779954.2017.1371208
6. FERRO MORENO, Santiago, PÉREZ Santiago A. "Strategic management of the agroindustrial network of first transformation in La Pampa, Argentina". *Journal of the International Council for Small Business*, 2023, vol 4, núm. 3, pp. 304-315. http://doi.org/10.1080/26437015.2023.2201893
7. LAGE DAVILA, Agustin. *La ciencia y sus nuevas responsabilidades*. [ref. de 15 de enero 2021] Disponible en Web: http://www.cubadebate.cu/especiales/2021/01/15/la-ciencia-y-sus-nuevas-resposabilidades/
8. SANTOS LACABA, David; RUIZ GONZÁLEZ María de los Ángeles; CHÍA GARZÓN Jesús; RODRÍGUEZ BATISTA Armando; ZAMORA RODRÍGUEZ Maria Luisa. "Propuesta metodológica de encuesta nacional de innovación para el sector agroalimentario en Cuba". *GECONTEC: Revista Internacional De Gestión Del Conocimiento Y La Tecnología*, 2022, vol 10, núm. 1, pp. 78–102. http://doi.org/10.5281/zenodo.6785504
9. DÍAZ-CANEL BERMÚDEZ, Miguel. "¿Por qué necesitamos un sistema de gestión del Gobierno basado en ciencia e innovación?" *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 2021, vol 11, núm. 1, pp. 1-14. http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1000/1079
10. TRIANA VELÁZQUEZ, Yuri; GARCÍA GONZÁLEZ Máryuri; DÍAZ PÉREZ Maidelyn; FERRAGUT REINOSO Ekaterina. "Sistemas de Ciencia, Tecnología e Innovación: integración de actores para el desarrollo". *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 2021, vol 9, núm. 2, pp. 176-190. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2308-01322021000200017&lng=es&tlng=es
11. HERNÁNDEZ Beatriz. "Modelo de Dirección Estratégica basado en Ciencia, Tecnología e Innovación para la Integración del Sistema de Dirección Empresarial de Entidades de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Rama Agropecuaria". Director: Daniel Alfonso. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverria, Ciudad de La Habana, 2024.
12. ESPIN ANDRADE, Rafael A; GONZÁLEZ Erick; PEDRYCZ Witold; FERNÁNDEZ Eduardo."An Interpretable Logical Theory: The case of Compensatory Fuzzy Logic". *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2016, vol 9, núm. *(*4), pp. 612-626. http://dx.doi.org/10.1080/18756891.2016.1204111

Sobre los Autores

**Beatriz Hernández Manso**

**Centro de Estudios de Técnicas de Dirección (CETDIR). Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnologica de la Habana José Antonio Echeverría" (ISPJAE). Ingeniera Industrial, ostenta la categoría docente de Profesor Asistente del CETDIR. Máster en Dirección**

**Jesús Suárez Hernández**

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Universidad de Matanzas. Ingeniero Industrial, ostenta la categoría docente de Profesor Titular, categoría científica Investigador Titular, Grado científico Doctor en Ciencias Técnicas**

**Daniel Alfonso Robaina**

**Universidad Tecnológica de la Habana. Ingeniero Industrial, ostenta la categoría docente de Profesor Titular. Grado científico: Doctor en Ciencias Técnicas. Vicerector de Investigaciones**

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Mejoras al sistema de control interno de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

**Yenlys Almaguer Robledo[1], Hiram La O Hernandez[2]**
[1,2,] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverria, CUJAE,[1]e-mail: yenlysalmaguer@gmail.com , [2]e-mail: hiramla@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La investigación realizada asumió como objetivo proponer mejoras al sistema de Control Interno en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Para darle cumplimiento al mismo se realizaron revisiones documentales y entrevistas a expertos de la entidad, se aplicó la técnica del examen crítico y una lista de chequeo que permitió realizar una evaluación del Sistema de Control Interno, definiendo directamente qué elementos necesarios para un efectivo SCI no existían en la entidad. La investigación se basó en las normativas que actualmente guían el SCI en Cuba y la literatura científica reciente extraída de la plataforma digital Google Scholar. Se resumen de manera concreta la definición del principal referente a nivel internacional en materia de Control Interno (COSO) y la importancia del Control Interno en Cuba. Se presenta, además, una propuesta de mejora para el Informe de Control Interno, que incluye cambios tanto en la información que contiene como en su estructura, en aras de obtener mejores resultados en evaluaciones futuras.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema de Control Interno, Informe de Control Interno, COSO.

# Improvements to the internal control system of the José Antonio Echeverría Technological University of Havana (CUJAE)

**ABSTRACT**

The objective of the research carried out was to propose improvements to the Internal Control system at the José Antonio Echeverría Technological University of Havana (CUJAE). To comply with it, documentary reviews and interviews were carried out with experts of the entity, the critical examination technique and a checklist were applied that allowed an evaluation of the Internal Control System, directly defining what elements necessary for an effective SCI. existed in the entity. The research was based on the regulations that currently guide the SCI in Cuba and recent scientific literature extracted from the Google Scholar digital platform. The definition of the main international reference in matters of Internal Control (COSO) and the importance of Internal Control in Cuba are specifically summarized. In addition, an improvement proposal for the Internal Control Report is presented, which includes changes in both the information it contains and its structure, in order to obtain better results in future evaluations.

**KEY WORDS:** Internal Control System, Internal Control Report, COSO.

## 1. INTRODUCCIÓN

El control interno es entendido y definido de maneras diferentes, y por consiguiente aplicado en formas distintas. Según [1] el control interno es un plan de organización y el conjunto de métodos y procedimientos que sirven para salvaguardar los activos y mostrar una información contable fidedigna.
El sistema de control interno en Cuba se puede hallar reflejado en los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución, aprobados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. El lineamiento No. 12 expresa que «La elevación de la responsabilidad y facultades hace imprescindibles exigir la actuación ética de las entidades y sus jefes, así como fortalecer su sistema de control interno, para lograr los resultados esperados en cuanto al cumplimiento de su plan con eficiencia, orden, disciplina y el acatamiento absoluto de la legalidad»[2]

El sistema de control interno (SCI) se ha convertido en un aspecto muy importante para las organizaciones que pretenden ser competitivas y eficientes; es prioritario establecer sistemas que garanticen los procesos y que cumplan con parámetros básicos que demuestren su idoneidad en su realización, lo que redunda en beneficios para su personal. Por otra parte, se considera que la implementación del CI, como una herramienta para la gestión, no solo contribuye para que el equipo de trabajo alcance los objetivos propuestos, sino también porque permite distinguir entre síntomas y problemas, es decir, mientras que el control tradicional correctivo corregía problemas, el control preventivo identifica síntomas antes que estos lleguen a convertirse en problemas. Se considera, además, el proceso integral efectuado por funcionarios y servidores de una entidad, diseñado para enfrentar los riesgos y para asegurar que se alcancen los siguientes objetivos gerenciales: promover la eficiencia, eficacia, transparencia y economía en las operaciones, así como en la calidad de los servicios públicos que presta; cuidar y resguardar los recursos y bienes del Estado contra cualquier forma de pérdida, deterioro, uso indebido y actos ilegales, así como contra todo hecho irregular; cumplir con la normatividad aplicable; garantizar la confiabilidad y oportunidad de la información, fomentar e impulsar la práctica de valores institucionales, y rendimiento de cuentas.[2]

Existe un referente principal a nivel internacional en materia de Control Interno que, según [3] es el modelo Committee Off Sponsoring Organizations Of The Treadway Commission (COSO), que puede ser definido según [4] como: técnicas de control interno y criterios para una eficiente gestión de la organización, y, sus principales objetivos son: integrar diversos conceptos del control interno y ser la base para evaluar los sistemas de control interno en las entidades.

Se reconocen carencias relacionadas con el sistema de control interno como: limitado enfoque de proceso y hacia la mejora continua, necesidad de integración de las características del entorno, insuficiente garantía de la seguridad razonable en el cumplimiento de todos los objetivos que establece el control interno y falta de uniformidad conceptual y metodológica de los elementos de la valoración del riesgo institucional[5], debido a que estas carencias son las más presentadas actualmente en las entidades según[5], el objetivo del presente artículo es proponer mejoras al Sistema de Control Interno en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), tomando como referencia lo planteado anteriormente.

El estudio realizado comienza con la revisión de la documentación existente relacionada con el tema, como expedientes e informes. Este primer paso permitió identificar posibles fallos en el Sistema de Control Interno de la universidad, y por ende proponer mejoras sobre la base de los mismos. Se realizaron además entrevistas a trabajadores estrechamente relacionados con el Control Interno, y un examen crítico para detectar cuáles eran los factores determinantes para un efectivo SCI que no existían en el centro.

## 2. MARCO TEÓRICO

El control interno es tan viejo como la contabilidad, ya que desde su surgimiento ha estado en constante evolución y en busca de nuevas mejoras. Se considera que ha transitado por cuatro etapas como se observa en la figura 1:

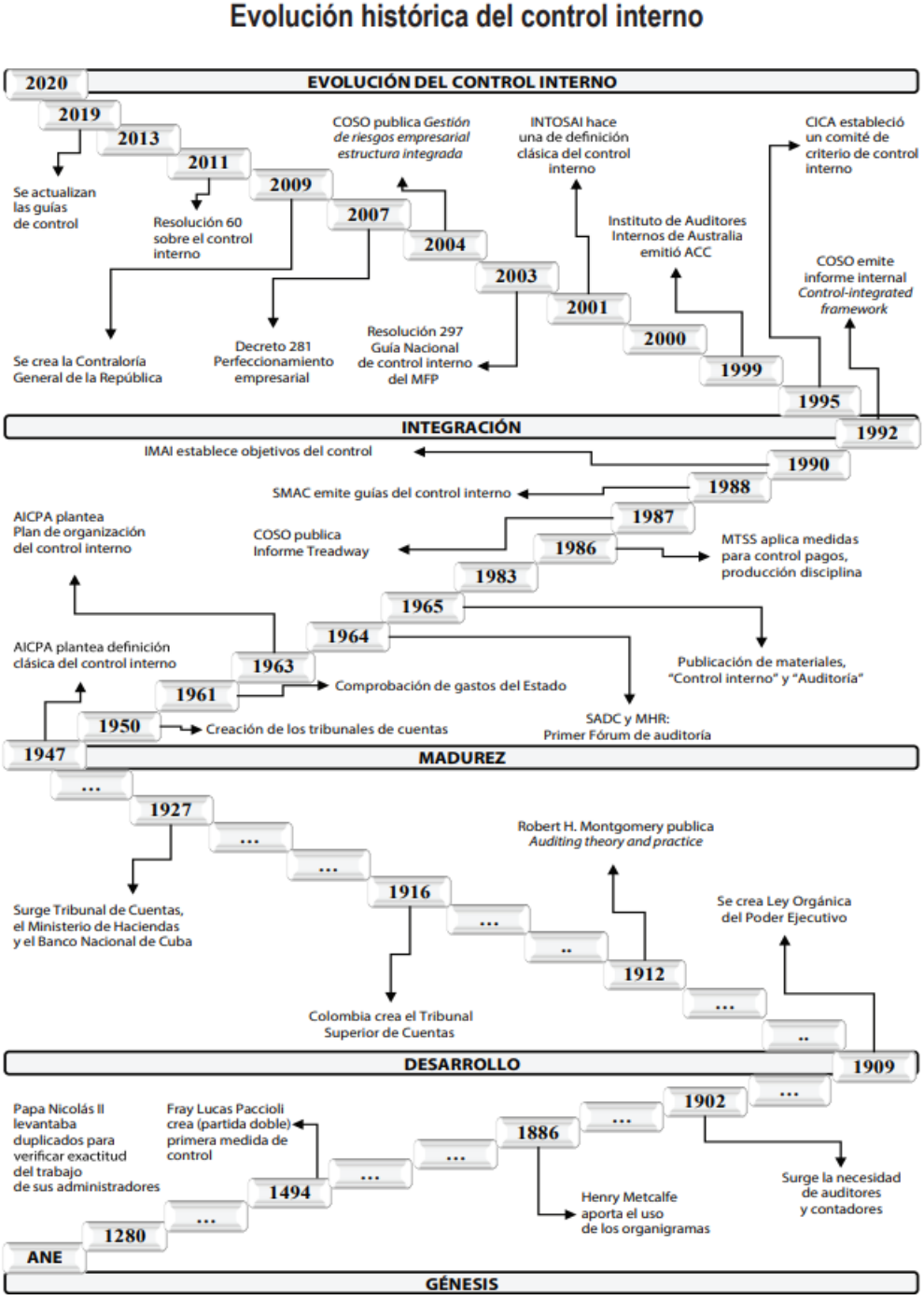



**Figura.1:** Evolución del Control Interno
**Fuente:** https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8271

Según [6], Cuba hizo sus aportes a partir de la etapa de cambio al desarrollar nuevas medidas, publicar materiales y realizar mesas de discusión, de manera tal que en la etapa de integración se reporta un incremento de las actividades de control mediante la publicación de guías, así como la emisión de resoluciones para aplicar el control interno a nivel de las organizaciones.
En Cuba, desde 2003 el Ministro de Finanzas y Precios estableció las pautas para regir el control interno, adoptando cinco componentes que establecían los informes COSO a nivel internacional. En la actualidad,

este sistema se encuentra regido por la Resolución No. 60 de 2011, creada por la Contraloría General de la República de Cuba. Se incluyeron los riesgos en la nueva concepción del control interno, así como una adecuada rendición de cuentas. A continuación, se muestra el hilo conductor de la evolución de la gestión integrada de este sistema en las organizaciones:

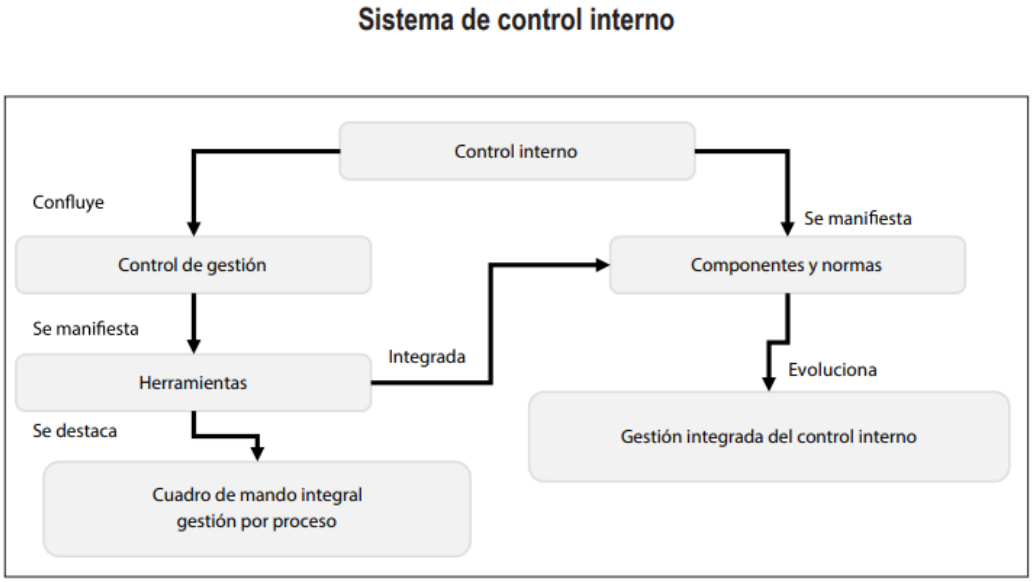



Tabla.2: Hilo conductor de la evolución de la gestión integrada del SCI en las organizaciones.
Fuente: https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8271

El control interno confluye con el de gestión en las organizaciones ya que los dos están dirigidos al despliegue de las estrategias y a la eficiencia y eficacia organizacional, este último se manifiesta a través de herramientas que se han desarrollado en los últimos tiempos como el cuadro de mando integral y la gestión por procesos. Estas herramientas se integran a los componentes del control interno evolucionando hacia una gestión integrada del sistema. Según [2], estos cinco componentes se encuentran interrelacionados entre sí, y son ambiente de control, gestión y prevención de riesgos, actividades de control, información y comunicación, y supervisión y monitoreo. La Tabla 1 muestra los componentes y elementos del Sistema de Control Interno:

| Componentes | Elementos |
|---|---|
| **Ambiente de control** | • Planeación, planes de trabajo anual, mensual e individual<br>• Integridad y valores éticos<br>• Idoneidad demostrada<br>• Estructura organizativa y asignación de autoridad y responsabilidad<br>• Políticas y prácticas en la gestión de recursos humanos |
| **Gestión y prevención de riesgos** | • Identificación de riesgos y detección del cambio<br>• Determinación de los objetivos de control<br>• Prevención de riesgos |
| **Actividades de control** | • Coordinación entre áreas, separación de tareas, responsabilidades y niveles de autorización<br>• Documentación, registro oportuno y adecuado de las transacciones y hechos<br>• Acceso restringido a los recursos, activos y registros<br>• Rotación del personal en las tareas claves<br>• Control de las tecnologías de la información y las comunicaciones<br>• Indicadores de rendimiento y de desempeño |
| **Información y comunicación** | • Sistema de información, flujo y canales de comunicación<br>• Contenido, calidad y responsabilidad<br>• Rendición de cuentas |
| **Supervisión y monitoreo** | • Evaluación y determinación de la eficacia del Sistema de Control Interno<br>• Comité de prevención y control |

**Tabla.1:** Componentes y elementos del Sistema de Control Interno.
**Fuente:** Contraloría General de la República de Cuba (2012)

## 3. Desarrollo

Actualmente la Dirección de Auditoría de la universidad cuenta solo con un Auditor Interno con poca experiencia, y, los informes, tanto económicos como de Control Interno, no constituyen una herramienta de trabajo, ni brindan la información y los datos de la mejor forma para la toma de decisiones y el análisis de los decisores. Ambos elementos demuestran que el CI no funciona correctamente.
Debido a los cambios más recientes en las normativas rectoras del Control Interno, es necesario actualizar tanto la documentación como los procedimientos de control en la universidad. Para detectar posibles errores y la ausencia de elementos fundamentales para un efectivo Sistema de Control Interno, se realizó una lista de chequeo (Tabla 1) teniendo en cuenta las siguientes normas jurídicas:

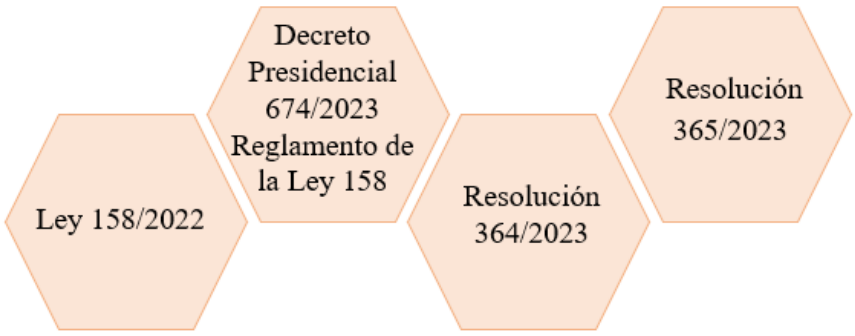



Figura 1.Normativas reguladoras del Control Interno en Cuba
Fuente:Elaboración propia

Las Resoluciones 364 y 365/2023 , en conjunto con la Ley 158/2022 y el Decreto Presidencial 674/2023, todas De La Contraloría General de la República de Cuba y las dos últimas, además, del Sistema de Control Superior de los Fondos Públicos y de la Gestión Administrativa, plantean que para un efectivo funcionamiento del Sistema de Control Interno en cualquier entidad, debe existir un expediente "De las Acciones de Prevención y Control", un Expediente de la auditoría, un Plan de prevención de riesgos y un Plan anual de acciones de prevención y control.

**Evaluación del Sistema de Control Interno a través de la Lista de Chequeo**

Para detectar la existencia o no de los elementos anteriores, se realizó una lista de chequeo que permitió evaluar de bien a los elementos que actualmente existen en la universidad, de regular a los que se encuentran incompletos o incorrectos y de mal a los que no existen. Los resultados de la evaluación mediante la lista de chequeo son los siguientes:

| Elemento a evaluar | Bien | Regular | Mal |
|---|---|---|---|
| Plan de prevención de riesgos | x | | |
| Expediente "De las Acciones de Prevención y Control | | x | |
| Expediente de la auditoría | | x | |
| Formulario de Control Interno | x | | |
| Tabla de valores de referencia | | x | |
| Plan anual de acciones de prevención y control | | | x |
| Hay planificado una acción de control concurrente? | | | x |
| Hay planificada una acción de control a la empresa interfaz? | | | x |

Tabla 1: Lista de Chequeo
Fuente: Elaboración propia

La lista de chequeo muestra que el Sistema de Control Interno de la universidad no cuenta con un Plan anual de acciones de prevención y control, y no posee acciones de control planificadas, lo que representa para el SCI un 37.55% evaluado de mal. El Expediente "De las Acciones de Prevención y Control, el Expediente de la auditoría y la Tabla de valores de referencia se encuentran incompletos y no actualizados. Estos elementos representan un 37.5%. Sin embargo, la universidad sí cuenta con un Plan de prevención de riesgos y un Formulario de Control Interno.

**Acerca del informe de Control Interno**

Para concretar las posibles modificaciones del Informe de CI, se realizaron entrevistas a dos expertos con el objetivo de tener en cuenta para las modificaciones del Informe de Control Interno, opiniones de especialistas relacionados con el mismo. Ambos plantean la necesidad de modificar tanto la información contenida en los informes como el formato de presentación de la misma, debido a que en ocasiones los informes no contienen la suficiente información para lograr entenderlo.
La siguiente tabla muestra, por epígrafe, lo que plantea actualmente el informe de control interno y los cambios que se proponen:

| Epígrafes | Propósito | Contenido | Propuesta de contenido |
|---|---|---|---|
| 1.Análisis del tablero de Control Interno | Plantear toda la información relacionada con el tablero de control Interno, incluyendo las evaluaciones por área. | -Evaluación general de las áreas.<br>-Deficiencias detectadas por área.<br>-Resumen por indicadores. | - Evaluación general de las áreas (gráfico de pastel).<br>- Resumen por indicadores. |
| 2. Deficiencias detectadas por áreas. | Plantear los motivos de la evaluación de cada área. | -Deficiencias detectadas por áreas. | -Deficiencias detectadas por áreas. |
| 3. Situación de Anticipos pendientes de liquidación, Cuentas por pagar y Cuentas por cobrar | Plantear los pagos anticipados por cada área que aún no han sido liquidados. | - Áreas con pagos anticipados pendientes de liquidar.<br>-Áreas con pagos pendientes. | - Áreas con pagos anticipados pendientes de liquidar.<br>-Áreas con pagos pendientes.<br>-Plantear además las áreas reincidentes en ambos casos y tomar medidas. |
| 4. Situación de Contrato Pregrado. | Plantear las deudas de los estudiantes de pregrado extranjeros | - Deudas de estudiantes de pregrado. | - Deudas de estudiantes de pregrado. |
| 5. Situación de contrato de Proveedores | Plantear los contratos próximos a vencer en un plazo de 2 meses. | - Contratos próximos a vencer. | - Contratos próximos a vencer. |
| 6. Áreas reincidentes | Plantear las áreas que después de ser avisadas y evaluadas de mal, siguen cometiendo los mismos errores, y, las medidas tomadas con cada área. | (no aparece actualmente en el informe) | -Tabla que relacione las áreas reincidentes, la cantidad de veces y las medidas tomadas. |

Tabla.2: Propuestas de mejora para el informe de Control Interno
Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se propone que la evaluación general de las áreas se presente en un gráfico de pastel, para lograr un mejor entendimiento por parte del lector. Se plantea además que se debe dedicar un epígrafe independiente para las deficiencias detectadas por áreas, las cuales aparecen actualmente junto con el Análisis del tablero de Control Interno. El epígrafe 3 debe presentar las áreas con cuentas por pagar o por cobrar. Del mismo, deben extraerse las áreas reincidentes que han aparecido varias veces. Se propone la inclusión de un nuevo artículo que bajo el nombre de¨ Áreas reincidentes ¨ plantee la relación entre las áreas que después de ser avisadas y evaluadas de mal, siguen cometiendo los mismos errores, y, las medidas que deben tomarse con cada una para obtener mejores resultados.

**Soluciones**

La elaboración de la lista de chequeo (Tabla.1:) condujo a un grupo de medidas para la mejora del Sistema de Control Interno en la Universidad. Primeramente, se propone planificar un plan de Acciones de Prevención y Control que incluya un Control Concurrente para supervisar que las actividades que forman parte del Sistema de Control Interno se desarrollen según las normas establecidas. Es necesario además que este plan incluya la planificación de una acción de control a la empresa interfaz, y que sean actualizados el Expediente de la Auditoría y el Expediente de las Acciones de Prevención y Control, que

contenga información detallada sobre las medidas que deben tomarse para prevenir cualquier riesgo en la entidad.

Respecto al informe de Control Interno, a través de la Tabla.2: Propuestas de mejora para el informe de Control Interno se presentan los cambios que deben realizarse. Se propone cambiar la estructura y la presentación de la información. Deben agregarse dos epígrafes, uno que presente las deficiencias detectadas por áreas y otro las áreas reincidentes, con el objetivo de organizar el informe y de separarlo de tal forma que pueda ser entendido por cualquiera que necesite leerlo.

## 4. Conclusiones

Con la investigación realizada se logró diseñar un nuevo informe de Control Interno sobre la base del existente, y, añadir al actual SCI de la entidad elementos primordiales para su implementación. Todo esto trabajando sobre la base de las normas jurídicas que guían el Control Interno en Cuba, artículos científicos dedicados al tema, y, el COSO (principal referente a nivel internacional en materia de Control Interno)

## 5. Referencias Bibliográficas

1. Gaitán, R.E., *Análisis financiero y de gestión*. 2020: ECOE ediciones.
2. Bodes Bas, A. and M.d.l.Á. Ruiz González, *Integrando procesos de la calidad y de control interno para el entorno universitario cubano: una mirada desde la gestión documental.* Economía y Desarrollo, 2020. **163**(1).
3. Marín, M.S.C.J.R.D.I.V.C., *El control interno basado en el modelo COSO.* 2014. **1**(1).
4. Toctaquiza Narváez, C.R. and V.L.J.D.c.e. Peñaloza López, política y valores, *Control interno jurídico administrativo para la toma de decisiones en el sector público.* 2021. **9**(SPE1).
5. de La Cruz, L.V. and F.M. Delgado, *Evolución del control interno hacia una gestión integrada al control de gestión.* Estudios de la Gestión: revista internacional de administración, 2021(10): p. 211-230.
6. Vega de la Cruz, L., *Evolución del control interno hacia una gestión integrada al control de gestión (Estudios).* 2021.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPUESTAS DE MEJORAS AL PROCESO DE CONTRATACIÓN EN UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA. ESTRATEGIAS Y BENEFICIOS.

**Lisbet Laza Cosis [1], Daniela Villarreal Santibáñez [2], Sofía Pacheco Gordillo [3], Marcos Manuel Morales Mantilla [4].**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, lisbetlaza@gmail.com. [2]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, danielavillarreal05@gmail.com. [3]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, mm2462249@gmail.com. [4]Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, sofiapacheco0506@gmail.com.cu.
[1]e-mail: lisbetlaza@gmail.com

**RESUMEN**

El proceso de contratación es el conjunto de actividades que sigue una organización con el fin de adquirir bienes o servicios. Actualmente en Cuba la contratación económica está regida por el Decreto-Ley No.304 ¨De la contratación económica¨ y el Decreto No. 310 ¨Tipos de Contratos¨. Partiendo de esto la investigación se basó en proponer mejoras al proceso de contratación económica de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE).Para eso se analizó el proceso y se tomó una muestra de todos los contratos recepcionados en los meses de marzo y abril de 2024, se identificaron problemas como: el bajo desempeño del proceso de contratación económica, evidenciado en indicadores que reflejan ineficiencias en el proceso, y se traducen en desperdicios de materiales, la cantidad de contratos con errores en todo el proceso representa la décima parte del total de contratos analizados. Además, se detectó un elevado tiempo de ciclo de contratación económica. Como mejoras, el método ideal de trabajo es el tránsito del contrato digital, y luego de aprobado que se imprima en el departamento de Contratación, estimándose un ahorro de 87 hojas y 6% de tóner. La propuesta de incluir en la nube de VRE el apartado para la revisión de contratos e implementar el registro de causas de rechazos de contratos por la Especialista en Gestión Económica cumple con el fin de disminuir los contratos con errores y reducir tiempos de retrabajo, para darle cumplimiento a los KPI que miden la eficiencia del proceso por días, indicados en las soluciones.

**PALABRAS CLAVES:** Proceso de contratación, contratación económica, contratos.

**ABSTRACT**

The procurement process is the set of activities that an organization follows in order to acquire goods or services. This has evolved over time, adjusting to growing economic-social needs and technologies, along with industrial revolutions. Currently in Cuba, economic contracting is governed by Decree-Law No.304 “On Economic Contracting” and Decree No. 310 “Types of Contracts”. In the analysis of the process and a sample of all contracts received in the months of March and April 2024, problems come to light such as: the poor performance of the economic contracting process, evidenced in indicators that reflect inefficiencies in the process, and translate into waste of materials, the number of contracts with errors throughout the process represents a tenth of the total contracts analyzed. In addition, a high economic contracting cycle time was detected. As improvements, the ideal work method is the transit of the digital contract, and after approval it is printed in the Contracting department, estimating a saving of 87 sheets and 6% of toner. The proposal to include in the VRE cloud the section for reviewing contracts and implementing the registry of causes of contract rejections by the Economic Management Specialist serves the purpose of reducing contracts with errors and reducing rework

times, to give compliance with the KPIs that measure the efficiency of the process per day, indicated in the solutions.

**KEY WORDS:** Hiring process, economic contracting, contracts.

## 1. Introducción

El proceso de contratación se comprende como la evolución de una idea desde que se identifica una necesidad de mejora hasta que se adquiere el bien o servicio y se ejecuta el pago al proveedor. El contrato desempeña un rol crucial al ser el instrumento fundamental para la debida gestión de la actividad económica[1]. Según [2] la contratación económica es un hecho jurídico – económico, donde ambas partes asumen de manera voluntario una serie de obligaciones, para establecer el intercambio de recurso monetario con su equivalente en recurso mercantil. Los autores consideran que además de lo expresado por Dany Ortiz Díaz [2], el proceso de contratación económica tiene una parte técnica, debido a que el contrato debe ser revisado por una persona apta que conozca del tema por el que se realiza el contrato.

La historia de la contratación en Cuba se remonta a la colonización española con el dictado de normas jurídicas, donde aparece la obra "Breve tratado de derecho administrativo español general del reino y especial de la isla de Cuba" por José María Morilla[3]. El proceso de contratación ha evolucionado en el tiempo, ajustándose a las necesidades económico-sociales crecientes y adaptándose al ascenso del pesar y las tecnologías, junto a las revoluciones industriales. A lo largo de los años ha tomado un enfoque más estratégico y colaborativo debido a los constantes cambios en el entorno empresarial. Actualmente la contratación económica está regida por el Decreto-Ley No.304 ¨De la contratación económica¨ y el Decreto No. 310 ¨Tipos de Contratos¨. Las cuales se concibieron para establecer y regular el régimen de contratación entre los principales sujetos que intervienen en la ejecución de los planes económicos [4]. Por lo que no hay un procedimiento establecido para el proceso de contratación en los diferentes sectores de la economía cubana.

La Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), es un centro de educación superior, que ostenta la categoría superior de excelencia. Esta cuenta con 9 facultades y 12 centros de investigaciones. Resulta inherente para el aseguramiento material de los procesos universitarios la contratación de bienes y servicios; con un rol fundamental.

En el proceso de contratación de la Cujae se identifica un bajo desempeño del proceso de contratación económica, evidenciado en indicadores que reflejan ineficiencias en el proceso, lo que lleva a desperdicios de recursos, retrasos, y una alta tasa de contratos con errores. El presente artículo tiene como objetivo general proponer mejoras para incrementar el desempeño del proceso de contratación económica en la CUJAE.

## 2. Desarrollo

A la hora de desarrollar el proceso de contratación económica las entidades presentan libertades, siempre y cuando cumplan con lo estipulado en las leyes por las que se rigen. En la CUJAE, el Departamento de Contratación, perteneciente a la Dirección de Planificación es el encargado del proceso desde que llega el contrato a ser revisado hasta la correcta aprobación de este.

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTRATACIÓN

En el siguiente diagrama BPMN se aprecia el proceso de contratación.

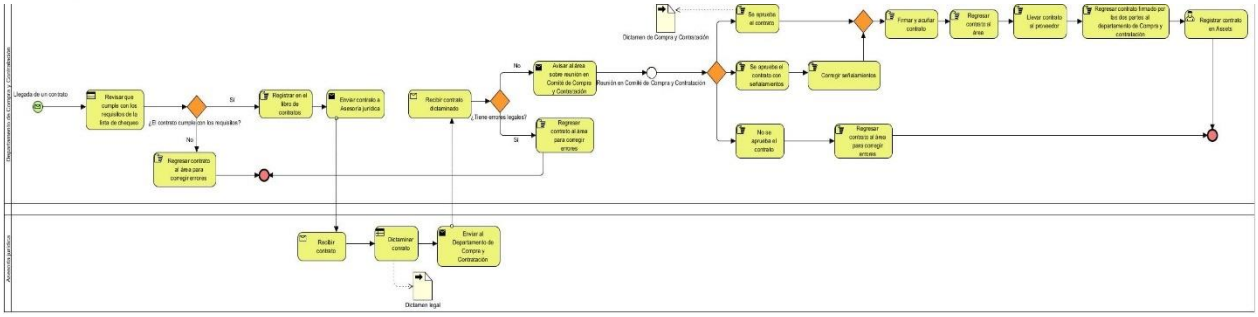



Figura 1: Diagrama BPMN del proceso de contratación. Fuente. Elaboración propia.

El proceso de contratación inicia cuando el contrato llega al Departamento de Contratación, donde la Especialista en Gestión Económica lo examina para asegurarse de que cumpla con los requisitos generales en la Lista de Chequeo. Aquellos que reciben aprobación son formalmente registrados por la misma especialista en el Libro de Registro correspondiente al área. Posteriormente, el Asesor Jurídico evalúa el contrato conforme a la Resolución 367/2021 del Ministerio de Justicia. Los contratos que superan esta revisión legal se digitalizan y se envían al Comité de Compras y Contratación mediante el uso de un dispositivo móvil por parte del Jefe de Departamento. Estos documentos son sometidos a un análisis por el comité. Cuando un contrato es aceptado por el comité, se procede a la firma por parte del Vicerrector y luego por la contraparte. Finalmente, una vez firmado en su totalidad, el contrato se ingresa en el sistema ASSETS y se archiva, siendo ambas tareas responsabilidad de la especialista.

En la Figura 1 se observa que el BPMN está compuesto por 20 actividades, de las cuales 60 % se realizan de manera manual y el otro 40 % digital; a lo largo del proceso se detectan tareas que pueden optimizarse a través de su digitalización.

Los contratos que llegan al departamento, luego de ser revisado su contenido y ver que cumple con la lista de chequeo, son registrados en el libro de contratos de manera manual, al igual que una vez firmado por las autoridades del Comité de Compra y Contratación.

## PROBLEMAS DETECTADOS EN EL PROCESO DE CONTRATACIÓN

El problema identificado es el bajo desempeño del proceso de contratación económica, evidenciado en indicadores que reflejan ineficiencias en el proceso, lo que lleva a desperdicios de recursos, retrasos, y una alta tasa de contratos con errores. Los indicadores que se toman analizando una muestra de todos los contratos recepcionados en los meses de marzo y abril de 2024 son: desperdicios de materiales en el proceso de contratación (87 hojas y 6% de tóner), la cantidad de contratos con errores en todo el proceso (representa un 10 % de total de contratos analizados) y el tiempo transcurrido entre áreas se muestra en la siguiente figura:

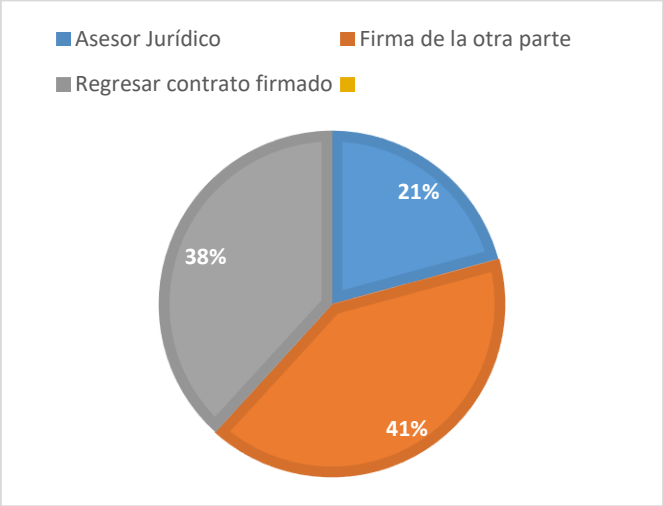



Figura 2: Comparación de tiempos entre áreas. Fuente. Elaboración propia.

En la figura 2 se aprecia que el 21% de los contratos se demora más de 10 días en ser dictaminados por el Asesor Jurídico; el 41% de los contratos demoran más de 2 días en ser recogidos para firmarlo por la otra parte y el 38% de los contratos demoran más de 15 días en regresar con la firma.

Estas deficiencias se traducen en pérdidas materiales tanto de hojas como de tóner al realizar retrabajos por rechazos de los contratos. La disponibilidad de estos materiales en la universidad es escasa, por otro lado, se traduce a la demora que ocurre al no poder firmar estos contratos por las diferentes deficiencias que presenta, lo que repercute al incremento del tiempo del contrato en tránsito, que provoca la tardía prestación de los servicios, siendo cruciales los mismos para la contribución al desarrollo y bienestar de la Universidad. En la actualidad la fluctuación del valor del dólar genera gran incertidumbre económica y dificulta la planificación financiera, lo que conlleva que al tener contratos sin aprobar las ofertas de los bienes y servicios varían; por lo que el factor tiempo es importante para la universidad en las negociaciones.

En el siguiente diagrama ISHIKAWA se resumen los problemas encontrados:

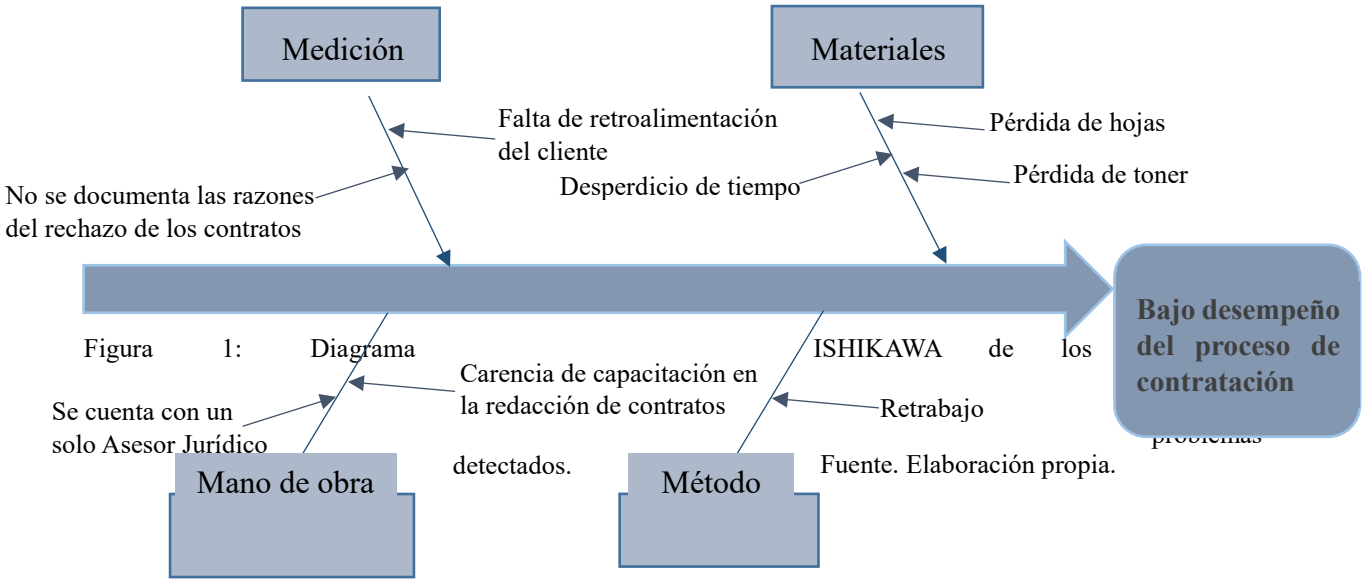



Figura 1: Diagrama ISHIKAWA de los problemas detectados. Fuente. Elaboración propia.

**SOLUCIONES**

Para incrementar el desempeño del proceso de contratación se plantean las siguientes soluciones a algunos de los problemas.

**Modelo de registros de rechazos de los contratos.**

En la no documentación de las razones del rechazo de los contratos se propone tabular los errores más comunes que presentan los contratos a medida que se van revisando en el siguiente modelo:

| | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | Contrato | Área al que pertenece | Fecha de entrada | Errores | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | Ejemplo | 31/2024 | DGL | 11/03/2024 | Error en la forma de pago | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |

Figura 3: Modelo para el registro de errores de los contratos. Fuente. Elaboración propia.

Para el problema de la falta de retroalimentación del cliente se plantea realizar una encuesta a cada cliente para saber sus inconformidades con el proceso. Por otra parte, la carencia de capacitación en la redacción del contrato se puede evitar si se publica en el portal de la Vicerrectoría Económica (VRE) un modelo del primer párrafo que deben tener los contratos y los requisitos que deben tener estos.

**Modelo para documentar los días que toman las actividades.**

Para reducir los desperdicios de tiempo, la actividad de recibo de contratos que se realiza de forma manual en el departamento, puede digitalizarse simultáneamente a través de una hoja de Excel que contenga los parámetros requeridos para la documentación de dicho contrato. Entre ellos se hace referencia a la llegada y envío de contrato al área, Asesoría Jurídica, Comité de Compra y Contratación, entrega final; entre las casillas debe incluirse la cantidad de días que el contrato permanece en Asesoría Jurídica durante su dictaminación, cuántos días demora en el área, cuántos días demora la firma de las partes y la suma total de días en los que se realizó el proceso, se propone un modelo a añadir al libro de contratos digital en la Figura 4:

| Cantidad de días para dictan | Cantidad de días en el áre | Cantidad de días para la firm | Días totales del proceso |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Figura 4: Modelo para documentar los días que toman las actividades. Fuente. Elaboración propia.

Cada una de estas celdas se programarán para realizar la operación de resta de las fechas previamente documentadas, se realizarán de manera automática, ahorrando tiempo durante el registro de los contratos.

Estos datos tabulados serán utilizados para medir la eficiencia del proceso contractual una vez culmine; se necesita un sistema de evaluación para medir la cantidad límite de 3 días que será comparada con la celda ´´Días totales del proceso´´ de la tabla propuesta en la Figura 4. Para establecerlo, se propone como herramienta a utilizar un KPI o indicador clave de rendimiento, esta estimación se realiza gracias a la documentación obtenida en el Departamento de Compra y Contratación.

Tabla 1: KPI para medir la eficiencia por tipo de contrato. Fuente. Elaboración propia.

| Tipo de Contrato | KPI |
|---|---|
| Contrato de Proyecto | 4 días |
| Contrato de Formas de Gestión No Estatal | 21 días |
| Contrato de Proveedores Estatales | 10 días |
| Suplementos sin cambios de precio | 10 días |
| Suplementos con modificadores en precio y/o alcance | 15 días |

**Modelado del proceso con los cambios para la digitalización.**

En la Figura 5 a continuación, se propone el modelado del proceso con los cambios para la digitalización propuestos:

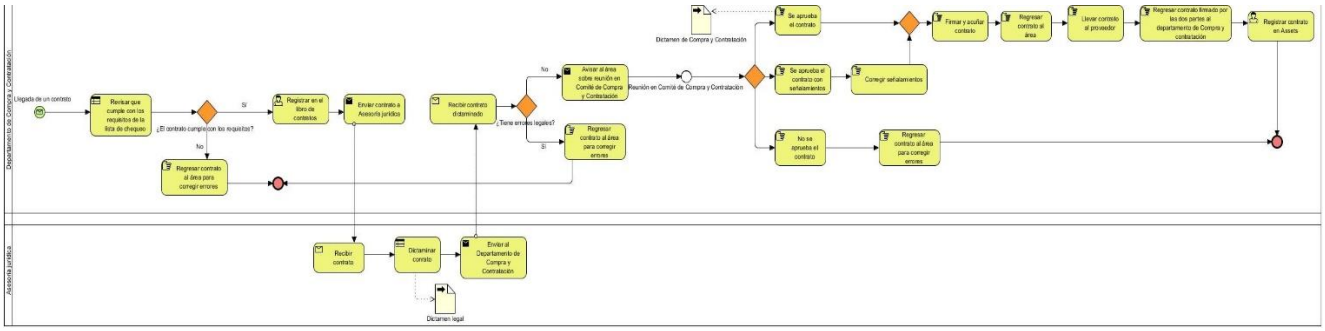



Figura 5: Modelado del proceso con los cambios propuestos. Fuente. Elaboración propia.

Los ajustes que se proponen son la base para comenzar a digitalizar todo el proceso de contratación en el departamento; lo envíos, recibos, notificaciones de errores, firmas de los contratos, podrán ser ejecutados a través de una plataforma digital. Así se disminuirá el gasto de hojas y tóner de impresoras y posibles errores, se acelera el proceso de manera eficaz y efectiva logrando cumplir con los indicadores de días propuestos que puede tardar el proceso.

## 3. CONCLUSIONES

A modo de conclusión el proceso de contratación es el conjunto de actividades que sigue una organización con el fin de adquirir bienes o servicios, desempeña un rol crucial al ser el instrumento fundamental para la debida gestión de la actividad económica. Se determina que las principales problemáticas asociadas al bajo desempeño del proceso de contratación económica son: retrabajos, derroches de hojas y tóner, alta tasa de rechazos de los contratos, elevado tiempo de ciclo de contratación económica. Se determina, a manera de proponer mejoras, que el método ideal de trabajo es el tránsito del contrato digital, y luego de aprobado que se imprima en el departamento de Contratación, estimándose un ahorro de 87 hojas y 6% de tóner. Por otra parte, la propuesta de incluir en la nube de VRE el apartado para la revisión de contratos e implementar el registro de causas de rechazos de contratos por la Especialista en Gestión Económica cumple con el fin de disminuir el índice de contratos con errores y reducir tiempos de retrabajo, para darle cumplimiento a los KPI que miden la eficiencia del proceso por días, indicados en las soluciones.

## REFERENCIAS BIBILIOGRAFICAS

1. López, R.U., *Retos para el Derecho contractual cubano en correspondencia con los nuevos modelos contractuales emergentes.* 2022.
2. Díaz, D.O., *LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CONTRATACIÓN ECONÓMICA.* 2021: p. 10.
3. González, S.S.V.J.D.R.d.I.e.D., Criminología y Consultoría Jurídica, *Breve analisis de la realidad y necesidad del contrato adminsitrativo en cuba.* 2021(30): p. 12.
4. GACETA, G.O.D.L.R.D. *GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA*. GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA, 2012.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TECNOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN, ORGANIZACIÓN, COMPENSACIÓN Y CMI DE LA GRH EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DECRETO 53/2021

Armando Cuesta Santos[1], Dr. Cs., Profesor Titular, armandocuestasantos@gmail.com, https://orcid.org/000-0001-6389-9453
Sonia Fleitas Triana[1], Dra. C., Profesora Titular, mfleitastriana@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2093-464X
Vania García Fenton[1], Profesora Titular, vaniagfenton@gmail.com
Silvio Viña Brito[1], Dr. C., Profesor Titular y Emérito, silviovi@ind.cujae.edu.cu, https://orcid.org/0000-0002-2178-8568
Aida Rodríguez Hernández[1], Dra. C., Profesora Titular y Emérita, aida@ind.cujae.edu.cu, https://orcid.org/0000-0002-6109-6187
[1] Grupo de Investigaciones en GRH de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE).

**RESUMEN**

El objetivo general fue argumentar el diseño y aplicación de una tecnología de planificación, organización del trabajo, compensación laboral y Cuadro de Mando Integral en la Gestión de Recursos Humanos para la implementación del Decreto 53/2021 en empresas. En esa aplicación medió una capacitación diseñada para cuadros, directivos y especialistas empresariales. Respondió al problema en la consultoría de la carencia de un procedimiento para cómo llevar a efectos esa implementación. Se aplicaron los métodos de observación y experimentación. La tecnología contribuyó, atendiendo a avales a la implementación del Decreto en nueve OSDE y más de cien empresas.
**PALABRAS CLAVE***: Gestión de recursos humanos, productividad*

## HRM PLANNING, ORGANIZATION, COMPENSATION AND CMI TECHNOLOGY IN THE IMPLEMENTATION OF DECREE 53/2021

**ABSTRACT**

The general objective was to argue the design and application of a planning technology, work organization, labor compensation and Balanced Scorecard in Human Resources Management for the implementation of Decree 53/2021 in companies. In this application there was a training designed for executives, managers and business specialists. He responded to the problem in the consultancy of the lack of a procedure for how to carry out this implementation. Observation and experimentation methods were applied. The technology contributed, attending to endorsements to the implementation of the Decree in nine OSDE and more than one hundred companies.
**KEYWORDS:** *Human resource management, productivity*

## 1. Introducción

Alcanzar en cada escenario futuro de la gestión empresarial una "gestión más eficiente de los recursos humanos"[1], deviene requerimiento del mejoramiento continuo de la misma, en aras del "incremento de la eficiencia y la productividad del trabajo" [2]. Tales propósitos son relevantes desde el surgimiento mismo de la gestión empresarial fabril. Así fue porque el objetivo principal de esa gestión era el logro del mayor valor agregado para aumentar productividad, a partir en aquellos orígenes de la máxima reducción posible de personal.

[1] Consejo de Ministros: Decreto 53/2021 "De la organización del sistema salarial en el Sistema Empresarial Estatal Cubano" (GOC-2021-847-EX80), en Gaceta Oficial de Cuba del 16 de septiembre de 2021.

[2] Ibídem.

Históricamente se ha mantenido ese objetivo principal en la gestión empresarial, pero en la actualidad no a partir de máxima reducción del personal, sino a partir del mejoramiento del personal y su trabajo. Y eso, precisamente, a partir de una eficiente Gestión de Recursos Humanos (GRH), expresada como un sistema integrado por un conjunto de procesos clave con sus conexiones [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]

En la actualidad las empresas deben poseer, para lograr esa gestión más eficiente del personal, un sistema de GRH, con sus procesos clave bien conectados, y así se ha planteado para la actividad empresarial cubana, desde 2007, al enfatizarse en la continuidad del "Perfeccionamiento empresarial cubano" en sus normas jurídicas [11, 12, 9] (Consejo de Estado, 2007; Consejo de Ministros, 2007; Oficina de Normalización Cubana, 2007), y que en sus respectivas actualizaciones han mantenido la necesidad del sistema. Y es necesario en esta contemporaneidad, que ese sistema sea estratégico y por competencias laborales.

Sin embargo, en la práctica empresarial cubana, en particular en el período de 2010 a 2020, y desde antes de 2007, de modo general no se consideró la asunción de un sistema de GRH, no se relacionaban conectados sus procesos, no se hizo con enfoques estratégico y por competencias, no se llevó a la práctica una organización del trabajo técnica (soslayándose los balances de cargas y capacidades para la determinación de plantillas y los estudios de tiempos y la normación del trabajo), los calificadores de cargo no eran por competencias y perdieron vigencia en su modalidad por funciones, la compensación laboral no alcanzó la debida efectividad y la formación no fue de la calidad requerida en no pocos casos, según se ha reportado en trabajos asociados a la gestión y formación en empresas cubanas[13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 10]

Como lo expresara Raúl en 2021, en su Informe Central al 8vo. Congreso del Partido Comunista de Cuba, en un contexto más general, y luego de reconocer que en materia de la implementación de los Lineamientos y de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución se afianza la tendencia del avance: "[…] *todavía se ponen de manifiesto determinadas insuficiencias en la planificación, organización, control y seguimiento de los procesos y en algunos casos reacciones lentas y tardías para corregir las desviaciones, así como falta de integralidad y visión respecto a los niveles de riesgo y deficiencias. Las acciones de capacitación y comunicación social han carecido de la oportunidad, calidad y el alcance requeridos".* [22, p. 10)

Una medida trascendente adoptada en 2021 por el Consejo de Ministros, para el aumento de la eficiencia y la productividad del trabajo en la empresa estatal cubana, ha sido la de perfeccionar la retribución por el trabajo en el sistema empresarial otorgándole mayor autonomía, expresa en el Decreto 53/2021, a partir de una gestión más eficiente de los recursos humanos [23].

Esa gestión más eficiente requerirá la adopción de un sistema de GRH. Habrá que superar carencias o deficiencias en los procesos de planificación, organización, compensación y control en GRH en la empresa. Y habrá de manifestarse "innovación" [24], conectada a procesos de trabajo y la organización.

Ante la necesidad de consultoría para la implementación del Decreto, el ***problema científico*** por resolver fue la carencia de un procedimiento o tecnología para el cómo llevar a efectos la implementación en la empresa estatal cubana del Decreto 53/2021, "a partir de una gestión más eficiente de los recursos humanos"[3], logrando un sistema de Gestión de Recursos Humanos (GRH) con una organización del trabajo técnica, diseño de calificadores por competencias y evaluación de cargos sustentando escalas salariales.

El ***objetivo general*** fue el diseño y aplicación de una tecnología de planificación, organización del trabajo, compensación laboral y cuadro de mando integral (CMI) de la GRH en la implementación del Decreto 53/2021 en empresas, mediante una capacitación diseñada (curso) sobre la GRH para cuadros, directivos y especialistas empresariales.

**2. Material y método**

Como material objeto de estudio mediato –con posterioridad al alcance de la tecnología integrada--, resultaron las OSDE GEIQ, GEMPIL, GEA, GEMAR, GEIC, CORREOS DE CUBA, CUBANACAN, UACC-FAR, EMI Transporte FAR de Occidente y Servicios MES, así como las empresas AICA, MediCuba, GEDEME e Internacional Cubana de Tabacos (ICT). A las mismas, sus respectivos cuadros, directivos y especialistas, después de pasar el curso de GRH, le aplicaron concepciones y métodos de la

[3] Consejo de Ministros: Decreto 53/2021 "De la organización del sistema salarial en el Sistema Empresarial Estatal Cubano" (GOC-2021-847-EX80), en Gaceta Oficial de Cuba del 16 de septiembre de 2021.

tecnología integrada para el establecimiento de un Sistema Estratégico de GRH por Competencias, que configuró una *"Tecnología de planificación, organización del trabajo, compensación laboral y CMI de la GRH en la implementación del Decreto 53/202".* Para alcanzar la tecnología integrada, material objeto de estudio inmediato fueron empresas en las cuales hizo investigación-acción un conjunto de investigadores, egresados de Doctor en Ciencias o de Máster en Ciencias en la GRH y tutelados por el autor principal [6, 10, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 27, 28]. El resultado de sus tesis comprendieron tecnologías asociadas a la tecnología integrada, así como a los temas del curso de GRH (con denominación no biunívoca): Sistema de GRH, Planificación estratégica de la GRH, Organización del Trabajo y Compensación laboral.

El diseño de la peculiar capacitación (curso de GRH), también novedad científica, se caracterizó por formación-acción (capacitándose a la vez que se diagnostica o "defecta" y se transforma: similar a la *action-research*) por proyectos y por equipos, soportada en *Webinar* para la *Web* 2.0 relacional (impartida a la vez con presencialidad y a distancia, *on-line* o en desconexión), recurriendo a videoconferencias en plataformas Zoom, Google Meet, o Jitsi Meet, insistiendo en que las acciones a proyectar se focalizaran en innovaciones en procesos, estructuras organizativas y comercialización. El curso comprendió "compilación en *dossier*" (con *Webinar*, video, libro básico y documentos). Implicó el ciclo *Deming* con innovación de procesos según ISO e investigación-acción, y concluyó configurando un "Caso" (evaluado) por equipos. Los métodos: análisis documental y observación (investigación-acción), además del experimental, en tanto "el curso" fue intervención. El primero se aplicó a literatura, nacional y extranjera, sobre GRH junto a la observación (tutelados); y el tercero, por la intervención por el curso de GRH diseñado.

**3. Resultados y discusión**

La investigación realizada por Alfredo Morales [10], fundamentó las NC 3000-3002: 2007[9] y posibilitó el sistema de GRH (Figura 1). Su investigación verificó que procesos desconectados frenaban "*la productividad" [10, p.7]*. A nivel mundial también había esa desconexión [29] reportada en encuesta de la Boston Consulting Group (BCG) y la Federación Mundial de Administración de Personal (WFPMA) en 2008.

Para la gestión más eficiente se parte de la planificación de la GRH en ese modelo, en la que trabajaron los tutelados [6, 16, 17, 18, 26, 27]. En el centro del "átomo" va el calificador de cargo, integrando los procesos al referirse al perfil; y todos se integran a la estrategia al tributarle. La GRH es estratégica, cuando se logra el ajuste, integración, alineamiento o coherencia de la GRH con la estrategia de la organización, materializándose de modo que los desempeños individuales tributen al desempeño estratégico organizacional. El diseño de nuevos calificadores de cargo es foco en la implementación del Decreto 53/2021.

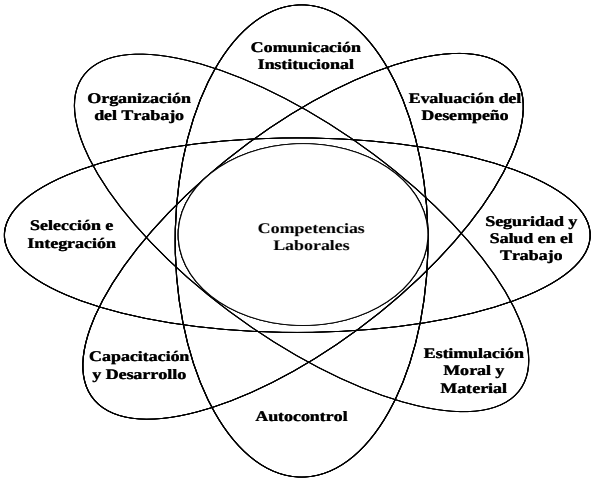



Figura 1. *Procesos del Modelo de GCH de las NC 3000, 3001 y 3002: 200* [a]

[a] Aunque la familia de las NC 3000, 3001, 3002: 2007, que se emitieron en 2007 por la Oficina Nacional de Normalización, se derogaron en la práctica en 2015, su contenido ha continuado utilizándose por los autores, tanto en su labor tutelar y de consultoría como de docencia de postgrado en el país y en el extranjero, por su vigente valor de

Ese modelo ha de ser consecuente con sus enfoques, como se ha hecho por investigadores que los aplicaron [25, 5, 16, 6, 17, 28] y como se ha exigido en la implementación (2021 y 2022), expreso en bibliografía [30] dada en curso de GRH. Y además, en su versión más actual, se dispuso por el MTSS como soporte de dicha implementación, ubicarle en su Sitio *Web* desde el 30/07/2021 (https://www.mtss.gob.cu/descargas/), junto a la tesis doctoral del Presidente [24], (https://www.mtss.gob.cu/descargas/bibliografia-tesis-doctorado-presidente) por el pilar de ciencia e innovación a la gestión y su valor metodológico en esta decisiva medida para la transformación empresarial. Los enfoques son: estratégico, sistémico, interdisciplinar, transdisciplinar, participativo, a procesos y de competencias.

Hay un con junto de Figuras y Tablas, expresas en Diapositivas en el curso de GRH, que significan los hitos fundamentales de la tecnología integrada en la implementación del Decreto 53/2021. Aquí esos hitos se enuncian, comprendiendo las invariantes de Planificación, Organización, Compensación y CMI: componentes del ciclo *Deming*. Todos expresan la "Arquitectura" de la GRH en su funcionalidad. Esos hitos configurando la "Tecnología de planificación, organización, compensación y CMI de la GRH en la implementación del Decreto 53/2021", que no se expresan en esa linealidad 1, 2, 3…, dados sus entramados o complejidad, son los siguientes:

1. Asunción de un sistema de GRH reflejado por un modelo, con sus conexiones de procesos clave: el del "átomo" (Figura 1) de la NC 3000-3002: 2007.
2. Asumir a la Organización del Trabajo con su conducción metodológica, como base técnica fundamental del sistema de GRH. Crear comisión de expertos.
3. Consecuencia con el enfoque estratégico de la GRH: alineada, coherente o integrada a la estrategia, de modo que los desempeños individuales (en cuyos perfiles van las "conductas estratégicas") tributen al desempeño estratégico organizacional.
4. Consecuencia con el resto de los enfoques: sistémico, interdisciplinar, transdisciplinar, participativa, a procesos y por competencias laborales.
5. Partir de la planificación estratégica de la GRH (Figura 3): consecuente con los "objetivos estratégicos", diseñar el CMI, desarrollar el *"Programa de acciones"* con énfasis en innovaciones relativas a Organización del trabajo y Salarios: van los *Gantt* después de la determinación de plantillas.
6. Balances de cargas y capacidades en la determinación de plantillas y su optimización con *Gantt* de procesos y de impactos.
7. Planificar las Fases de la compensación laboral, con énfasis en la salarial.
8. Asumir los dos nuevos procesos clave de Análisis y diseño de puestos y Evaluación de puestos: determinar los nuevos calificadores de cargo por competencias –mediante método de expertos--, y evaluar las complejidades para basar las escalas salariales, y configurar compensaciones extra salariales y psicosociales.
9. Se itera el ciclo, como se expresa en la Figura 3

Pero antes de referir la planificación inserta en la Organización del Trabajo, se quiere destacar la Arquitectura de la GRH, que insiste en su funcionalidad, de modo que no perdamos la visión del sistema y su funcionalidad: que *"los arboles no nos impidan ver el bosque"*. Adviértase de la lógica de la Figura 2, que la existencia del perfil es base de los procesos (donde se refleja su interacción (⇆), de donde "salen" los cargos. Si esos procesos no tributan a la estrategia esos procesos no van, o se rediseñan para que sí tributen. Después, no se podrá hacer la planeación si no se dispone de los perfiles. No se podría hacer la selección si se desconocen las competencias, y no se podría fundamentar la formación, ni las "brechas". Y no se podría realizar la evaluación del desempeño, constituyendo a la vez el sustento de la compensación. O no se sabrá del empleado, si se le declara incompetente (o no idóneo) y cambiarlo del cargo. Todo eso refleja el diagrama de bloques, con sus lazos de *feed-back*. Después se inicia la "Tecnología de planificación,… integrada con la Figura 3.

---

referente teórico y metodológico. Esas NC fueron derivación fundamental de la tesis doctoral defendida por Alfredo Morales

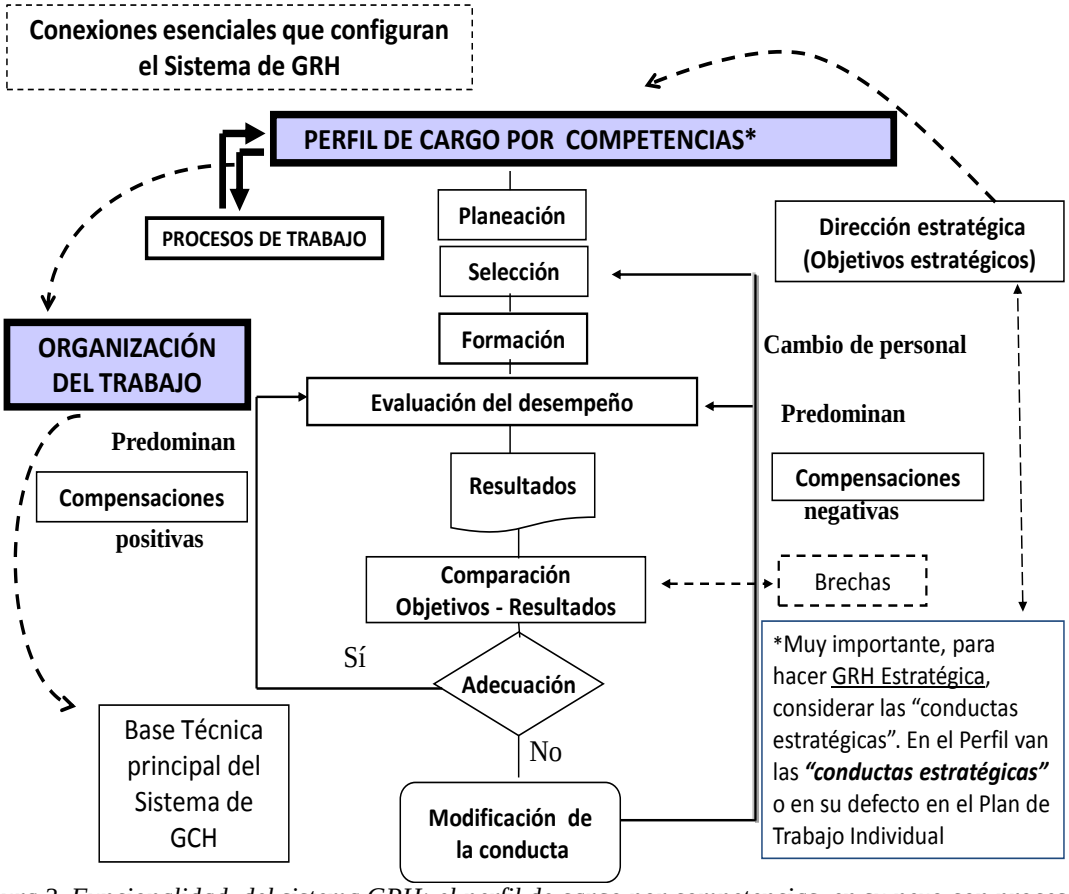



*Figura 3. Funcionalidad del sistema GRH: el perfil de cargo por competencias en su nexo con procesos clave del sistema de GRH*

Esa planificación ubicada en la Organización del Trabajo tiene dos vertientes: la determinación de la plantilla idónea y la optimización de plantilla A la vez, se diseña el control por el Cuadro de Mando Integral (CMI). Pero la base técnica de esa planificación y de toda la GRH es la Organización del Trabajo que se define como:

> ***"3. 83 Organización del trabajo.*** *Proceso que integra en las organizaciones al capital humano con la tecnología, los medios de trabajo y materiales en el proceso de trabajo (productivo, de servicios, información o conocimientos), mediante la aplicación de métodos y procedimientos que posibiliten trabajar de forma racional, armónica e ininterrumpida, con niveles requeridos de seguridad y salud, exigencias ergonómicas y ambientales, para lograr la máxima productividad, eficiencia, eficacia y satisfacer las necesidades de la sociedad y sus trabajadores*" [(9, p. 19)].

Por la trascendencia metodológica de esa definición, se está insistiendo en que su accionar implica la conducción metodológica del ciclo *Deming*: PHVA: Planear (P), Hacer (H), Verificar (V) y Actuar (A). Y ese accionar comprenderá Gestión de la calidad [(31)] (ISO 9001: 2015) junto a Gestión de la Innovación [(32)] (ISO 56002: 2019) como lo destacó el Presidente en su tesis doctoral *"Sistema de gestión del gobierno basado en ciencia en innovación para el desarrollo sostenible en Cuba"* [(24)]. Y además, en esa definición, hay que mantener conquistas de la Revolución, como es la de velar por los "*niveles requeridos de seguridad y salud, exigencias ergonómicas y ambientales";* pues no es a cualquier costo esa "productividad": hay que preservar esos niveles. Los autores Silvio Viña y Aida Rodríguez, ofrecieron ese tema con *Webinar* en el curso de GRH.

Entre las competencias de los gestores, la innovación es fundamental en su nexo con la Organización del Trabajo [(48, 33)]. En el quehacer para el logro de la tecnología integrada, se asumió la definición ofrecida por Mercedes Delgado: "*La innovación es entendida como todo cambio que se realiza en la práctica, sea nuevo o mejorado, de un producto o servicio, un proceso o la organización, para generar resultados en función de los objetivos trazados".* [(48, p.71)]. La definición de competencia

laboral, asumida, derivada del concepto de Fidel sobre Capital Humano [34], es la tomada de la NC 3001: 2007 y expresada por Morales en su tesis doctoral [10]: *"Conjunto sinérgico de conocimientos, habilidades, experiencias, sentimientos, actitudes, motivaciones, características personales y valores, basado en la idoneidad demostrada, asociado a un desempeño superior del trabajador[…]".* No pocos de los tutelados, trabajaron la gestión por competencias [35, 36, 37, 28], para diseñar calificadores destacando la técnica *Delphi* o de expertos.

En literatura sobre GRH, el tratamiento de la planificación de RH con la Organización del trabajo ha sido escaso o nulo, solo bosquejada en ediciones recientes de clásicos [3, 7, 8]. Pero sí se ha tratado en Ingeniería industrial [38, 39]. Eso se superó por el modelo de Morales expreso en las NC 3000-3002: 2007. Y aunque el impacto esencial en el mejoramiento de la GRH se alcanza por el proceso de organización del trabajo, esa mejora se ha buscado también por otros procesos, como formación, evaluación del desempeño, competencias y compromiso [40, 41, 42, 35, 36, 37, 33, 43, 44, 45, 46] .

En *"Programación de acciones"* irá la compensación porque el Decreto autonomiza escalas. Además, considerar Fases, donde va el calificador para complejidades [30] (Cuesta, 2021). Las Fases de la Compensación laboral (con énfasis en la salarial hoy), a considerar en la implementación del Decreto 53/2021, son las siguientes [30]:

1. Análisis y descripción de puestos de trabajo
2. Evaluación de puestos de trabajo
   - ✓Métodos de jerarquizaciones
   - ✓Métodos comparativos por factores
   - ✓ Métodos de sistemas por puntos
3. Estudios comparativos
4. Determinación de la compensación laboral
   - 4.1 Determinación de los salarios (sistema de pago)
   - 4.2 Determinación de estimulaciones extra salariales
   - 4.3 Determinación de la estimulación psicosocial o espiritual

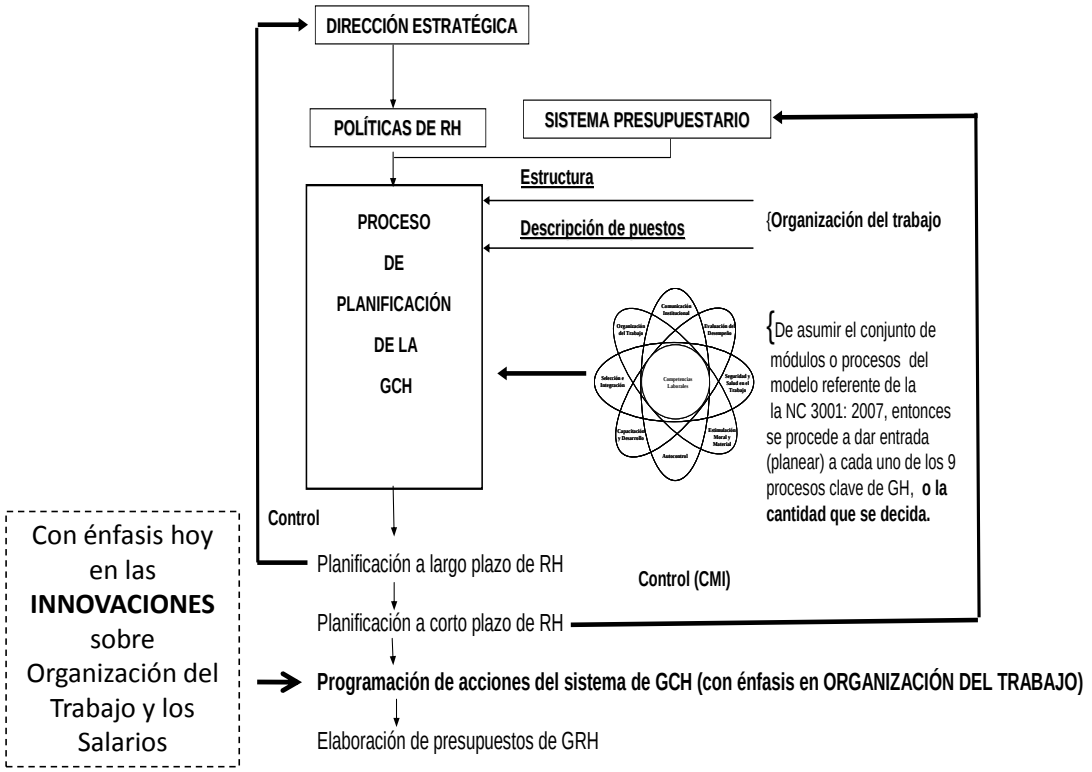



Figura 3. *Proceso sistémico de la planificación de la GRH comprendiendo la mejora continua u optimización en aras de aumento de productividad del trabajo.*

La planificación de dos nuevos procesos clave de GRH, descentralizados ahora, a nivel de OSDE y empresa: Análisis y descripción de puestos y Evaluación de puestos se destacan en sus funciones y conexiones en la Figura 4

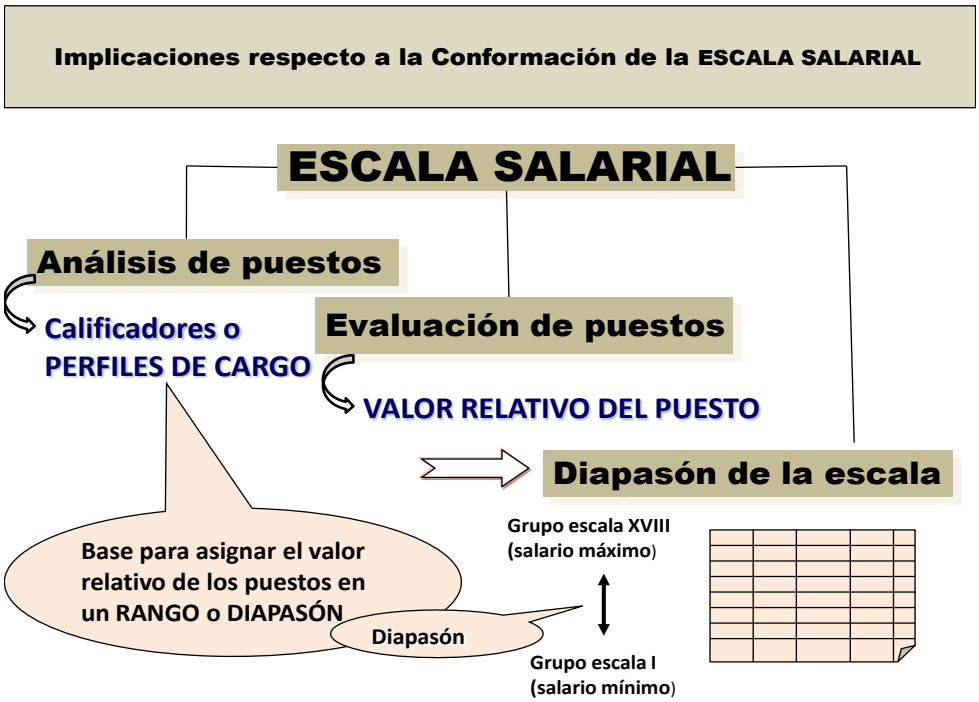



Figura 4. P*rocesos clave de GRH en la conformación de nuevas escalas salariales*

Ejemplo metodológico:

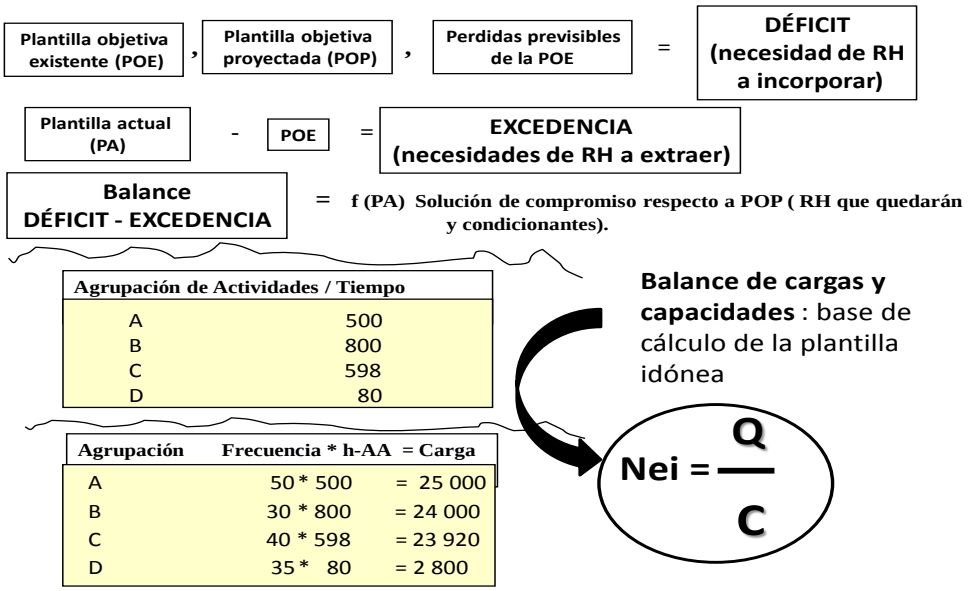



Figura 5. *Determinación de la plantilla idónea con conceptos de PA, POP, POE y Nei= Q/C*

En la Figura 5, se expone el proceder de la ddeterminación de la plantilla idónea con conceptos de PA, POE, POP, POE y Nei= Q/C. En esa vertiente es fundamental prever la carga de trabajo (Q) para el escenario estratégico trazado.

Y hay que estimar la evaluación del impacto de cada una de esas "acciones" mediante *Gantt*: con indicadores económicos, psicológicos y sociales, y además medioambientales. Y eso se realiza con otro *Gantt,* para lo cual deberá alcanzarse el "macheo" entre las "acciones" o "procesos" y su impacto. Va un *Diagrama de Gantt en la planeación de procesos o sus "acciones" de GRH,* y otro *Diagrama de Gantt de impacto en los indicadores de las "acciones" de GRH* (donde van la productividad del trabajo (Pt), la dinámica de la Pt (ΔPt), correlación aumento de salario medio-aumento de productividad ($\phi = \Delta Sm/\Delta Pt$), aprovechamiento de la jornada laboral (AJL), e intangibles tales como sentido de compromiso (Sc), percepción de perspectivas (Cp), liderazgo (Csdi), clima psicosocial (Cpsico) o satisfacción laboral.

Respecto a las "acciones", a la vez que se hace innovación, por ejemplo, con nueva *Plant Layout*, o nuevo alumbrado, o encapsulamientos de ruidos, o rediseño de perfiles, o *Learning Organization*, habrá que buscar el impacto con indicadores: ¿en cuánto aumentará el VP, la AJL, o la Pt?, ¿en cuánto aumentará el sentido de compromiso (Sc), la percepción de perspectivas (Cp), el liderazgo (Csdi), o la satisfacción laboral? Y seguido de todo eso, después se diseña el CMI [(47)], que es cierre del *Deming*. Y con el Fragmento de tabla (Tabla 1) que sigue [(49)], se quiere destacar los componentes principales del mismo, donde "los objetivos estratégicos" de entrada, definitivamente son controlados y evaluados.

Con posterioridad se itera, corresponde nuevo ciclo, para buscar una "gestión más eficiente de los recursos humanos"[4], en aras del "incremento de la eficiencia y la productividad del trabajo"[5]

Tabla 1. Fragmento de tabla: *CMI de una empresa: objetivos, indicadores y metas*

| Objetivos estratégicos hasta 2022 | Indicador | Expresión de cálculo | Valor de referencia | Metas Anuales | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1. Lograr un 100% de asistencia a los servicios solicitados por los clientes | Coeficiente de asistencia | Cantidad de clientes asistidos/ Cantidad de solicitudes de servicios | 100% | 70 | 90 | 100 |
| 2. Garantizar satisfacción de clientela por el logro de la calidad | Coeficiente de satisfacción del cliente | Cantidad de clientes satisfechos / Cantidad de clientes asistidos | 100% | 80 | 90 | 100 |

## 4. Conclusiones

- Poseer un sistema de GRH estratégico y por competencias, con calificadores de cargo ajustados a la empresa y configuración de escalas salariales autóctonas, son exigencias para una gestión más eficiente de los RH en el Decreto 53 /2021.
- El curso de GRH ofrecido a OSDE y empresas para la implementación del Decreto, habilita a sus cuadros, directivos y especialistas en la "Tecnología de planificación, organización, compensación y CMI de la GRH" argumentada.
- Hay Avales de cuadros y especialistas de OSDE y empresas sobre la contribución del curso de GRH y la Tecnología, en la implementación del Decreto 53/2021.

## Referencias bibliográficas

[1] Báez, R.A.; Zayas, P.M.; Velásquez, R. & León, Y.O. (2019). Modelo conceptual del compromiso organizacional en empresas cubanas, en *Ingeniería Industrial*, Vol. XL, No.1, pp.14-23, La Habana: CUJAE. ISSN: 1815-5936.

[4] Consejo de Ministros: Decreto 53/2021 "De la organización del sistema salarial en el Sistema Empresarial Estatal Cubano" (GOC-2021-847-EX80), en Gaceta Oficial de Cuba del 16 de septiembre de 2021.

[5] Ibídem

[2] Cuesta, A. (2019a). "Tecnología de gestión de recursos humanos", en *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, Vol. 9, No.3 (2019), pp-194-196 ISSN: 2304-0106.

[3] Konopaske, R.; Ivancevich, J. M. & Matteson, M. T. (2018): *Organizational Behavior and Management*, New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-1-259-89453-4

[4] Cuesta A., Fleitas S, García V, Anchundia A, Mateus (2018). Evaluación del desempeño, compromiso y gestión de recursos humanos en la empresa", en revista *Ingeniería Industrial*, Vol. XXXIV, No. 1, pp. 24-35, ISSN: 1815-5936

[5] Cadalzo, Y.; Caballero, I. & Becerra, M. J. (2017). La gestión de capital humano en empresas del sector biotecnológico cubano**,** en *Ingeniería Industrial,* Volumen XXXVIII, No.1, 2017, pp. 18-31. ISSN: 1815-5936

[6] Silva, Y. (2016). Metodología para el diseño del sistema de gestión integrada del capital humano en la empresa laboratorios farmacéuticos AICA, *Tesis de Maestría* en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE.

[7] Chiavenato, I. (2011)**.** *Administración de recursos humanos (El capital humano de las organizaciones)*, 8va. edición, México: McGraw-Hill, 2011. ISBN: 978-607-15-0540-6

[8] Werther, W. B. & Davis, K. (2008). *Administración de recursos humanos (El capital humano de las empresas),* México: McGraw-Hill. ISBN: 978-970-10-5913-1

[9] Oficina Nacional de Normalización (2007): *NC 3000-3002: 2007: "Sistema de gestión integrada de capital humano – Vocabulario, Requisitos e Implementación"*, 2007.

[10] Morales, A. (2006). Contribución para un modelo cubano de gestión integrada de recursos humanos, *Tesis de Doctorado* en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, La Habana: CUJAE. http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/

[11] Consejo de Estado (2007). Decreto Ley No. 252 "Sobre la Continuidad y el Fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano", de 7 de agosto de 2007, La Habana, Ed. Gaceta Oficial de la República de Cuba.

[12] Consejo de Ministros (2007). Decreto No. 281 "Reglamento para la Implantación y Consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal", de 16 de agosto de 2007, La Habana, Ed. Gaceta Oficial de la República de Cuba.

[13] Cuesta, A. (2019b) "Optimización del capital humano y aumento de la productividad del trabajo en la empresa", e*n Revista Economía y Desarrollo,* Vol. 162, No. 3 (2019), La Habana: Universidad de La Habana, ISSN: 0252-8584

[14] Gemar, G.; Negrón, A. M.; Lozano, C.; Guzmán, V. F. & Rosado, N. (2019). Procedure for the continuous improvement of human resource management", *Ingeniería e Investigación*, Vol. 39, 1, (in press), DOI: http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.72402

[15] Delgado, M. (2017). Valoración del impacto de la superación de los cuadros en administración pública y empresarial en Cuba, *APyE Revista cubana de Administración Pública y Empresarial*, Vol. 1, 1, 2017, 3-18.

[16] Leyva, C. (2016). Tecnología para la evaluación integrada del desempeño individual en instalaciones turísticas de Holguín, *Tesis doctoral*, La Habana: CUJAE. http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/

[17] León, Y. (2016). Diseño e implementación del procedimiento para la gestión por competencias laborales en la UEB laboratorios NOVATEC, *Tesis de Maestría* en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE

[18] Morejón, R. (2014). Tecnología para la planificación estratégica de la gestión de los Recursos Humanos en la empresa BRAZCUBA cigarrillos SA, *Tesis de Maestría* en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE

[19] Heredia, V. (2014). Diseño de un procedimiento de organización del trabajo para la optimización de capital humano durante la aplicación del reordenamiento empresarial en la dirección territorial SEPSA, *Tesis de Maestría* en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE

[20] Hernandez, I; Fleitas, S. & Salazar, D. (2011). La gestión del capital humano en empresas cubanas y sus particularidades, en *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, Vol. XVII, No.1, pp. 137-148, Caracas: UCV. ISSN: 1315-3617.

[21] De Miguel, M. (2007). Tecnología para la planeación integral de los recursos humanos. Aplicación en entidades hoteleras de Holguín, *Tesis de Doctorado* en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas, La Habana: CUJAE. http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/

[22] Castro, R. (2021). *Informe **C**entral al 8vo Congreso del Partido Comunista de Cuba.* 17 de abril de 2021. La Habana. Cubadebate: http://www.cubadebate.cu. : http://www.cubadebate.cu/especiales/2021/04/17/informe-centralal-8vo-congreso-del-partido-comunista-de-cuba/

[23] Consejo de Ministros (2021). Decreto 53/2021 "De la organización del sistema salarial en el Sistema Empresarial Estatal Cubano" (GOC-2021-847-EX80), en Gaceta Oficial de Cuba del 16 de septiembre de 2021.

[24] Diaz-Canel, M. (2021). Sistema de gestión del gobierno basado en ciencia e innovación para el desarrollo sostenible en Cuba. *Tesis de Doctorado* en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/

[25] Barrios, G. (2020). "Estrategia de desarrollo del capital humano en el Grupo Azucarero AZCUBA y sus comunidades hasta el 2030" *Tesis de Especialidad de Dirección y Gestión Empresarial***,** La Habana: ESCEG

[26] Sánchez, A.M. (2007). Metodología para la planificación de los recursos humanos en la Sub-dirección de Proyectos de Investigaciones del Trabajo, *Tesis de Maestría* en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE.

[27] Pérez, T. (2006). La gestión por competencias como centro integrador de las actividades fundamentales de la GRH", *Tesis de Maestría*, en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Humanos, La Habana: CUJAE.

[28] Hernández, I; Salazar, D; Rodríguez, M & Fleitas, S. (2010**)** "Estrategia para integrar la gestión del capital humano en la gestión empresarial cubana" (2010), *Ingeniería Industrial*, Vol. XXXI, No.3, 2010, ISSN: 1815-5936

[29] BCG & WFPMA (2008). *Creating People Advantage. Cómo afrontar los desafíos de RRHH en todo el mundo hasta 2015 (Resumen Ejecutivo),* Boston: The Boston Consulting Group, Inc. (BCG) and The World Federation of Personnel Management Associations (WFPMA). http://www.bcg.com

[30] Cuesta, A. (2022). Tecnología de gestión de recursos humanos, La Habana: CITMATEL. ISBN: 978-959-315-180-1

[31] International Standard Organization (ISO) (2015): *Sistema de gestión de calidad. Fundamentos y Vocabulario. Norma ISO 9000: 2015*, ISO Secretaría Central, Ginebra.

[32] Oficina Nacional de Normalización (2020). Traducción certificada de la Norma Internacional ISO 56002: 2019. Innovation management --Innovation managementy system—Guidance. Es adaptada como Norma Nacional idéntica con la referencia NC-ISO 14034: 2019., ICS: 03.100-.01; o3.100.40; 03.100.70, abril, Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba. www.nconline.cubaindustria.cu

[33] Cuesta, A. (2017). Organización del trabajo: base de la gestión del capital humano, en *AP y E Revista cubana de Administración Pública y Empresarial*, Vol. I, 2, 107-120. http://apyc.esceg.cu/index.php/APyE

[34] Cuesta, A. y M. Valencia (2018): *"Capital humano: contexto de su gestión: desafíos para Cuba"*, en *Ingeniería Industrial*, Vol. 39, No.2, 135-145, La Habana: CUJAE.

[35] Vargas, T. y Cuesta, A. (2018): Las competencias para el turismo sostenible. Su determinación empírica, *Ingeniería Industrial*, V.39, 3, 226-236, La Habana: CUJAE.

[36] Torres, S.; Cuesta, A.; Piñero, P.; Lugo, J. (2018): *"Evaluación de competencias laborales a partir de evidencias"* en revista *Ingeniería Industrial*, Vol.39, No.2, pp.124-134, La Habana: CUJAE.

[37] Ronda, G., Leyva, C. y Cuesta, A. (2017). Modelo conceptual para evaluar las conductas estratégicas del personal hotelero, *Retos Turísticos*, Vol.16, No.3, 2017. ISSN: 2224-7947

[38] Jacobs, F. R. & Chase, R. B. (2014). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*, *13* edición, México: McGraw-Hill. ISBN: 978-607-15-1004-4

[39] Taylor, F.W. (1911). Scientific Management. Copyright by Frederick Winslow Taylor; copyright renewed 1939 by Louise M.S. Taylor: Harper & Row, Publishers

[40] Cuesta, A. et al. (2022). *Fundamentación científico-técnica del reglamento sobre teletrabajo y trabajo a distancia en Cuba*, en *Ingeniería Industrial* Vol. 43 1, 1-12.

[41] Cuesta, A. (2020a). "Gestión del compromiso*",* en *Psicología laboral y organizacional. Avances y perspectivas de la formación de másteres en Cuba (*Coord. Maiky Pérez y Marta Martínez), La Habana: Cubasolar. ISBN: 978-959-7113-65-2

[42] Cuesta, A. (2020b). "Evaluación de la satisfacción laboral según la ISO 9001: 2015". *COFIN Habana*, *14*(1), e06.

[43] Cuesta, A. (2016) "Compromiso y gestión humana en la empresa" en *Universitas Psychologica*, v. 15, n. 2, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. ISSN 2011-2777.

[44] Cuesta, A. (2015a). Gestión de recursos humanos en la empresa, desempeño y sentido de compromiso" (2015), en *RBGN- Revista Brasileira de Gestão de Negócios,* Vol. 17, No. 56, 1134-1148, São Paulo: FECAE. ISSN 1806-4892.

[45] Cuesta, A. (2012) "Modelo integrado de gestión humana y del conocimiento: una tecnología de a aplicación" *(2012)*, en *Revista Venezolana de Gerencia (RVG),* Año 17 No. 57, 2012, pp.84-96, Universidad del Zulia (LUZ), ISSN 1315-9984.

[46] Cuesta A. (2011). "Metodologia de Gestão por Competências Assumindo a Norma Cubana sobre Gestão de Capital Humano", *RBGN-Revista Brasileira de Gestão de Negócios***.** V.13, 40, 300-311, São Paulo, FECAE. www.fecap.br/rbgn ISSN 1806-4892

[47] Kaplan, R. & Norton, D. (2004). *Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes*, Boston: Harvard Business School Press. ISBN: 81-8088-186-X

[48] Delgado, M. (2018). Proyección de innovación en Administración Pública y Empresarial en Cuba, *Folletos Gerenciales*, Vol. XXII, No.2, 71-84, ISSN: 1817-1788.

[49] Cuesta, A. (2015b). "Human Resource Management: Evaluation of Individual and Strategic Performance", *Human Resource Management Challenges and Changes* (Carolina Machado and Paulo Davim Editors), New York: Nova Science Publishers**.** eBooK, 2014, ISBN: 978-1-63463-965-7, Book, 2015, ISBN: 978-1-63463-744-2.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# GESTIÓN DE LAS PRÁCTICAS LABORALES EN INGENIERÍA INDUSTRIALPARA LA MEJORA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y LAS RELACIONES UNIVERSIDAD-EMPRESA

**Primer Autor (Dr. C. Sonia. Fleitas Triana)[1], Segundo Autor (M. Sc. Leisis Villar Ledo)[2], Tercer Autor (Dr. C. Jeffrey Blanco González)[3], Cuarto Autor (M Sc. Patricia Suárez Fernández)[4], Quinto Autor (M. Sc. Maira Peñalver Galan)[5], Sexto Autor (Ing. Yanet González Acosta)[6]**

[1,2 3,4,5,6] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba.
[1]e-mail: sfleitas@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El presente estudio se desarrolla en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE y analiza la gestión de las prácticas laborales, elemento clave para fortalecer las relaciones entre la universidad y el sector empresarial. Se examinan los resultados del curso anterior en cuanto a la satisfacción de los estudiantes con sus prácticas laborales, identificando fortalezas y debilidades en el proceso. Como parte del análisis, se detallan las actividades relacionadas con la gestión de las relaciones con entidades, el diseño e implementación del programa de prácticas y la satisfacción de las entidades involucradas. El objetivo principal fue diseñar un procedimiento de gestión que optimice el desempeño, mejore la satisfacción de los estudiantes y amplíe el impacto de las relaciones universidad-empresa. Los principales resultados del estudio muestran una mayor formalización de las relaciones entre la universidad y las empresas. Se desarrolló el diseño didáctico del programa de la práctica laboral, implementado en la plataforma Moodle de la universidad, con un conjunto de tareas que los estudiantes deben entregar a lo largo del periodo de prácticas, buscando una mayor integración en los sistemas de producción. También se fortaleció el control y la interacción con los estudiantes, permitiendo a los tutores proporcionar retroalimentación a través de la plataforma, además de los encuentros presenciales. Finalmente, se obtuvo más información sobre la satisfacción de las entidades laborales con los trabajos realizados por los estudiantes, mejorando la colaboración universidad-empresa.

**PALABRAS CLAVES:**Relaciones universidad empresa, prácticas laborales. gestión de procesos

# MANAGEMENT OF WORK PLACEMENTS IN INDUSTRIAL ENGINEERING TO IMPROVE THE INTEGRATION OF PRODUCTION SYSTEMS AND UNIVERSITY-BUSINESS RELATIONS

**ABSTRACT**

This study was conducted at the Faculty of Industrial Engineering of the José Antonio Echeverría Technological University of Havana (CUJAE) and analyzes the management of work placements, a key element in strengthening relationships between the university and the business sector. The study examines the results from the previous academic year regarding student satisfaction with their work placements, identifying strengths and weaknesses in the process. As part of the analysis, the activities related to managing relationships with companies, the design and implementation of the work placement program, and the satisfaction of the involved companies are detailed. The main objective was to design a management procedure that optimizes performance, improves student satisfaction, and enhances the impact of university-business relations.The main results of the study indicate a greater formalization of the relationships between the university and companies. The didactic design of the work placement program was developed and implemented on the university's Moodle platform, including a set of tasks for students to complete throughout the placement period, aimed at achieving greater integration in production systems. Additionally, the control and interaction with students were strengthened, allowing

tutors to provide feedback through the platform in addition to in-person meetings. Finally, more information was obtained regarding the satisfaction of the companies with the work completed by the students, improving university-business collaboration.

**KEY WORDS:**University-business relations, work placements, process management.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el artículo 280.1 del Reglamento Docente de la Educación Superior, la práctica laboral es una forma organizativa del trabajo docente cuyo objetivo es que los estudiantes adquieran un dominio adecuado de los modos de actuación profesional. Esto se logra mediante su participación en la solución de problemas comunes en su campo profesional o social, al mismo tiempo que se promueve el desarrollo de valores que contribuyen a la formación de un profesional integral, preparado para su futuro desempeño en la sociedad. [1]

Investigaciones realizadas resaltan la importancia de las prácticas laborales en el desempeño profesional de los egresados, muestran en sus investigaciones que los estudiantes que participaron en prácticas profesionales obtienen salarios iniciales significativamente más altos que aquellos que no las realizaron[2], examinan cómo la colaboración entre las politécnicas y la industria puede mejorar la empleabilidad de los graduados, identificando las prácticas y estrategias clave que potencian esta relación[3] también se explora cómo una comunicación más efectiva puede influir positivamente en la comprensión del feedback por parte de los estudiantes lo que les permite obtener resultados superiores en sus evaluaciones.[4]

Mas adelante en el artículo 281.1 se puntualiza: los directivos de las instituciones de educación superior de conjunto con los de la producción y los servicios, precisan las entidades laborales de base y tas unidades docentes en las que se puede desarrollar la práctica laboral a propuestadel colectivo de carrera, de modo que se garantice el cumplimiento de los objetivos establecidos en los planes de estudio. Se debe trabajar por incluir preferentemente aquellas entidades laborales que respondan a los objetivos estratégicos del desarrollo económico del país.[1]

Destacados autoresabordan en sus investigaciones diferentes aspectos de las relaciones universidad empresa, resaltando la importancia de un intercambio previo entre las instituciones académicas y las entidades laborales y los beneficios e impacto que las mismas producen en el sector empresarial[5], [6],[7], [8], [9]. Otros consideran que la colaboración puede entenderse desde la perspectiva del intercambio social, enfocándose en el concepto de universidad emprendedora y su impacto en la innovación.[10]

El plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial, dentro del Plan E, incluye la disciplina "Proyecto de Ingeniería Industrial", que abarca asignaturas lectivas clave como *Introducción a la Ingeniería* e *Introducción a la Ingeniería Industrial*, cada una con una duración de 48 horas. Además, comprende *Práctica Laboral I*, *Práctica Laboral II*, *Práctica Laboral III* y el *Trabajo de Diploma*, los cuales se desarrollan en entidades laborales. Las horas asignadas a estas prácticas son 196, 220, 300 y 560, equivalentes a 245, 275, 375 y 70 días, respectivamente. En este estudio, se analizará el proceso de gestión de las prácticas laborales, considerado como el eje fundamental para fortalecer las relaciones entre la universidad y el sector empresarial.

El análisis de los resultados de la encuesta de satisfacción aplicada a los estudiantes del curso 2022-2023 mostró que el nivel de satisfacción con las prácticas laborales fue del 80.5%. Esto evidencia la existencia de deficiencias en el desarrollo de dichas actividades, lo que motivó una investigación más profunda para identificar las áreas de mejora.

Con el fin de comprender mejor estos resultados, al finalizar la práctica se realizó una consulta a expertos, que incluyó jefes de año, profesores y directivos de la facultad. Este proceso permitió identificar las

fortalezas y debilidades del desempeño en dicho periodo, con el objetivo de proponer mejoras que optimicen la experiencia estudiantil.

Las fortalezas identificadas fueron las siguientes: [1] Se llevó a cabo el diseño didáctico de todos los programas, y se planificó el cumplimiento de los contenidos a lo largo del periodo de práctica laboral. [2] Se organizó la entrega de tareas de manera gradual durante el periodo, con el fin de evaluar las habilidades que los estudiantes debían desarrollar a lo largo de las prácticas. [3] Los programas correspondientes a las diferentes prácticas se subieron a la plataforma Moodle, lo que permitió a los estudiantes acceder en línea a orientaciones, bibliografía, materiales docentes, y a las indicaciones necesarias para el desarrollo de sus actividades. [4] La disponibilidad de los programas en Moodle facilitó un intercambio constante, así como el control y retroalimentación sistemática entre los colectivos de estudiantes sobre las actividades planificadas a lo largo del periodo.

Las debilidades identificadas fueron las siguientes: [1] Problemas con el suministro eléctrico y cuestiones organizativas en algunas empresas afectaron el cumplimiento de los horarios establecidos en el cronograma de trabajo para algunos colectivos de estudiantes. [2] La escasa exigencia por parte de las entidades en cuanto al cumplimiento del horario de los estudiantes, junto con una asignación ineficaz de los mismos a sus puestos de práctica, debido a una planificación inadecuada del personal encargado de su seguimiento, limitó el aprovechamiento óptimo del periodo de prácticas. [3] Hubo una insuficiencia en la prestación de servicios de tutoría académica, atribuible al solapamiento de actividades y a la excesiva carga de trabajo en la planificación docente, lo que afectó la calidad del apoyo educativo personalizado, crucial para el desarrollo académico y profesional de los estudiantes. [4] La plataforma Moodle fue poco utilizada tanto por estudiantes como por tutores. [5] El control sobre la firma de los Convenios de Práctica Laboral fue insuficiente.

En base a estos resultados, el objetivo de este trabajo es diseñar un procedimiento para la gestión de las prácticas laborales que permita mejorar el desempeño, aumentar la satisfacción de los estudiantes y fortalecer el impacto de las relaciones universidad-empresa.

**Métodos**

Para llevar a cabo este estudio se aplicaron diferentes enfoques metodológicos. Se utilizó el método sistémico de investigación, el análisis documental, y procedimientos de análisis y síntesis, así como los métodos de inducción, deducción, abstracción y concreción. Estos permitieron estudiar de manera integral el proceso de gestión de las prácticas laborales. El procedimiento para la gestión de las prácticas laborales se estructuró en cuatro procesos clave: (1) relaciones con entidades, (2) diseño del programa de práctica laboral, (3) implantación del programa de práctica laboral y (4) evaluación de la satisfacción de las entidades. Cada uno de estos procesos incluye actividades detalladas, como se muestra en la Figura 1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.




**Figura 1.Procesos de gestión de la práctica laboral**

Las actividades a desarrollar en los diferentes procesos se detallan a continuación:

**Procesos de relaciones con entidades**

1. **Establecimiento de requisitos formales para la ubicación**

Se requiere la firma de un Convenio de Colaboración entre la CUJAE y las entidades donde se pretende ubicar estudiantes durante el periodo de práctica laboral.

2. **Determinación de las prioridades para la ubicación**
   Con el objetivo de garantizar la asignación de los estudiantes a los proyectos de mayor importancia para la facultad en el Consejo de Dirección de la facultad fue aprobado el orden de prioridad siguiente:

   1. Estudiantes contratados en la CUJAE o en empresas estatales
   2. Proyectos de investigación de tesis de doctorado
   3. Proyectos de investigaciones nacionales, ramales y territoriales
   4. Contratos para proyectos de investigación.
   5. Contratos para proyectos de investigaciones en el marco de programas de maestría.
   6. Empresas patrocinadoras de eventos de la CUJAE
   7. Otras empresas que soliciten estudiantes

3. **Recepción de solicitudes para la asignación de colectivos de estudiantes en la Práctica Laboral.**
   Se emitirá una Convocatoria para la solicitud de estudiantes de la práctica laboral dirigida a:

   1. Jefes superiores de los estudiantes contratados.
   2. Estudiantes del programa de doctorado de la facultad.
   3. Coordinadores de Proyectos nacionales, ramales y territoriales.
   4. Coordinadores de proyectos de investigación contratados por CETA.
   5. Coordinadores de programas de maestría.
   6. Entidades que han patrocinadoeventos de la facultad
   7. Otras empresas que ya tengan convenio firmado con la Cujae.

En la convocatoria, se especificará que las solicitudes deben incluir el detalle del trabajo que los estudiantes realizarán, la persona responsable de su supervisión en el centro, los datos de contacto, y la dirección del centro de trabajo.

**Diseñodel programa de práctica laboral**

1. **Diseño didáctico del curso**
   Dado que las prácticas laborales se desarrollan fuera del entorno universitario, se propone montar las asignaturas en la plataforma Moodle, estableciendo actividades de aprendizaje que aseguren la evaluación de las habilidades que, según el programa, deben adquirir los estudiantes durante ese periodo. Estas actividades deben planificarse desde las primeras semanas de la práctica para garantizar la sistematicidad en el trabajo de los estudiantes y permitir la retroalimentación de los tutores, basada en la revisión de los informes entregados. Los contenidos de estos informes deberán formar parte del informe final que los estudiantes presenten para la evaluación de las asignaturas.

   Tomando como referencia los programas de las asignaturas *Práctica Laboral I*, *Práctica Laboral II* y *Práctica Laboral III*, que figuran en el plan de estudios, se llevará a cabo el diseño didáctico de cada una, con el objetivo de integrarlas a la plataforma Moodle.En el mismo se debe especificar la información que aparece en la Tabla 1

**Tabla 1. Formato para el diseño didáctico de las asignaturas**

| **Asignatura: Práctica laboral 1er año CD** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Objetivos:** | | | | | | |
| **Temas** | **Objetivos por temas** | **Contenidos** | **Actividades** | **Recursos de aprendizaje** | **Bibliografía; materiales y guías** | **Evaluaciones** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **didácticas** | |
| | | | | | | |

2. **Elaboración de las indicaciones y guías de aprendizaje de cada tarea del programa**
   Una vez definido el diseño didáctico de la práctica, se procede a la elaboración de las indicaciones y guías de aprendizaje para cada tarea del programa. Es fundamental que el contenido de estas guías esté orientado a proporcionar instrucciones claras para la evaluación de las habilidades declaradas en el programa, garantizando que los estudiantes comprendan los criterios de evaluación.

3. **Montaje en la plataforma Moodle**
   Antes del inicio de la práctica, se debe asegurar que las actividades y recursos establecidos en el diseño didáctico estén correctamente cargados en la plataforma Moodle, con información actualizada. Es crucial verificar que la secuencia lógica de las actividades esté bien definida y que toda la información sea precisa, de calidad y esté al día, para facilitar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

**Implantación del programa de práctica laboral**

1. **Determinación de los centros de trabajo donde serán ubicados los estudiantes**
   Con base en las solicitudes recibidas y las prioridades establecidas, se determinará la cantidad de colectivos de estudiantes que serán asignados a las entidades colaboradoras.

2. **Determinación de los profesores tutores en cada centro de trabajo**
   La tutoría de los estudiantes se distribuirá entre las tres áreas docentes de la facultad, de forma proporcional al número de profesores en cada área. La asignación de los tutores estará directamente relacionada con los criterios de prioridad previamente establecidos, tal como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2. Designación de los tutores de acuerdo con la clasificación de la prioridad**

| **Prioridad** | |
|---|---|
| **1.** Estudiantes contratados en la CUJAE o en empresas estatales | Profesor /Empleador |
| **2.** Proyectos de investigación de tesis de doctorado | Profesor tutor de doctorante/ Doctorante |
| **3.** Proyectos de investigaciones nacionales, ramales y territoriales | Profesores participantes en el coordinador del proyecto |
| **4.** Contratos para proyectos de investigación. | Profesores que participan en el proyecto |
| **5.** Contratos para proyectos de investigaciones en el marco de programas de maestría. | Profesor tutor de maestrante/ Maestrante |
| **6.** Empresas patrocinadoras de eventos de la CUJAE | Profesor designado por jefe de Dpto. |
| **7.** Otras empresas que soliciten estudiantes | Profesor designado por jefe de Dpto. |

3. **Determinación de las tareas a realizar por los estudiantes en cada centro de trabajo**

Las actividades para realizar por los estudiantes en la práctica laboral estarán conformadas por todas las tareas establecidas en el diseño didáctico que evalúan las habilidades declaradas en el plan de estudio cuya entrega se realizará a través del Moodle y por las tareas necesarias para cumplimentar los intereses de trabajo de la entidad en la cual está ubicado el estudiante.

4. **Conformación de los equipos de los estudiantes para la realización de la práctica laboral**

El trabajo de la práctica se desarrolla en colectivos de estudiantes. Previo a la realización de la práctica los profesores principales de año deben orientar la conformación de equipos de los estudiantes del año. La cantidad de estudiantes por equipo en cada año académico es la siguiente:

Práctica Laboral I: 4 estudiantes
Práctica Laboral II: 3 estudiantes
Práctica Laboral III: 2 estudiantes

Los equipos se deben formar por afinidad entre los estudiantes, pero también deben tener en cuenta la cercanía en el lugar de residencia de sus integrantes.

**5. Asignación de los estudiantes a los centros de trabajo**

Para la asignación de los estudiantes a los centros de trabajo se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Los estudiantes que están contratados en la Cujae u otra entidad serán asignados a dicha entidad.
- Los alumnos ayudantes serán asignados a las entidades a las que se vinculen el área y profesor que lo atiende como alumno ayudante.
- Los estudiantes pertenecientes a grupos científicos estudiantiles reconocidos oficialmente por los departamentos y la facultad serán asignados a las entidades a las que se vinculen el área y profesor con el cual realizan las actividades de investigación.
- El resto de los estudiantes trataran de asignarse en las ubicaciones disponibles más cercanas a su lugar de residencia.

**6. Formalización del acuerdo de trabajo durante el periodo de práctica entre el centro de trabajo y la facultad**

Antes del inicio de la práctica laboral, se debe verificar que el Convenio esté debidamente firmado. Con la entidad, se deberán acordar las actividades que los estudiantes realizarán, el cronograma y los responsables de la supervisión, tanto por parte de la universidad como de la entidad laboral. Estos acuerdos se formalizan mediante el Anexo 1 del Convenio. Los tutores designados por los jefes de departamento serán los responsables de supervisar a los estudiantes en los diferentes centros laborales.

**7. Matricula de los estudiantes en el curso en la plataforma Moodle.**

Una vez que estén listas las ubicaciones en las diferentes entidades se procede a matricular a los equipos de estudiantes en la plataforma con la opción de matricular grupos.

**8. Seguimiento del cumplimiento de las actividades del plan de trabajo de los estudiantes en la práctica laboral.**

Para garantizar una adecuada orientación y el cumplimiento de las tareas establecidas en el plan de trabajo, los profesores tutores deben organizar intercambios sistemáticos con los estudiantes y el personal de la empresa responsable de su atención. Estas actividades se llevarán a cabo en el centro de trabajo donde los estudiantes estén asignados.

Simultáneamente, se debe exigir a los estudiantes la entrega de las tareas planificadas en la plataforma Moodle. Estas tareas deberán ser revisadas por los profesores dentro de los cinco días posteriores a su entrega. En cada tarea, el profesor deberá incluir la calificación correspondiente y ofrecer comentarios de retroalimentación.

**9. Entrega del informe final de la práctica laboral**

El informe final de la práctica laboral, junto con la presentación en formato PowerPoint, deberá ser entregado a través de la plataforma Moodle una semana antes de la conclusión de la práctica. En la plataforma, el profesor proporcionará comentarios de retroalimentación para que los estudiantes puedan realizar las correcciones necesarias antes de la entrega final del informe y la presentación. El informe final deberá ser enviado a la entidad laboral con suficiente antelación para que esta pueda evaluar el trabajo realizado, elaborar la carta aval y completar el Anexo 2 del Convenio, los cuales deberán ser presentados por los estudiantes al tribunal antes de la defensa.

**10. Defensas de la práctica laboral.**

- Al finalizar la práctica, se deberá entregar un informe técnico del trabajo realizado, al cual se anexará una carta de la empresa. Esta carta debe incluir información sobre la asistencia, puntualidad y disciplina laboral del estudiante, así como una evaluación de los resultados obtenidos y el beneficio que estos podrían aportar a la organización.
- Los resultados del trabajo se presentarán ante un tribunal conformado por tres miembros, pudiendo incluir un representante de la entidad donde se realizó la práctica. Se recomienda que las defensas de los trabajos se realicen preferentemente en la entidad laboral. Para llevar a cabo

la defensa, el grupo de estudiantes deberá presentar una carta aval de la entidad y el Anexo 2 del Convenio de la Práctica Laboral.

**Satisfacción de las entidades**

1. **Recepción de los criterios de satisfacción de las entidades**
   Los criterios de satisfacción de las entidades serán emitidos en la carta aval y en el Anexo 2 del Convenio. Estos documentos deberán ser elaborados y firmados por los directivos de las entidades una vez que hayan recibido el informe del trabajo realizado por los estudiantes, previo a la defensa ante el tribunal evaluador de la práctica.

2. **Incorporación de profesionales de la empresa en los tribunales evaluadores de la práctica laboral**
   Los resultados del trabajo se presentarán ante un tribunal conformado por tres miembros, donde puede estar presente un representante de la entidad en la que se realizó la práctica laboral.

3. **Realización de las presentaciones del informe final de los estudiantes en las entidades laborales**
   Las entidades donde se llevaron a cabo las prácticas deben proporcionar las condiciones necesarias para que la evaluación final de los estudiantes se realice en sus instalaciones, con el fin de permitir la participación de profesionales de la empresa que estén relacionados con el trabajo de los estudiantes.

## 2. RESULTADOS

Los resultados de las actividades que se desarrollaron en los diferentes procesos se detallan a continuación:

**Relaciones con entidades**

Se realizó un inventario de todas las organizaciones que tenían contrato firmado con la CUJAE, con el fin de priorizar las solicitudes de asignación de estudiantes para la práctica laboral. Aunque los resultados en cuanto a la formalización de los acuerdos fueron mejores que el año anterior, al finalizar la práctica aún quedaba pendiente la recepción del Anexo 1 del Convenio por parte de algunas entidades. Además, se observaron muy pocas asignaciones relacionadas con el apoyo a investigaciones en el marco de los programas de maestría.

**Diseño del programa de práctica laboral**

Se actualizó el diseño didáctico del programa y se realizó el montaje de este en el Moodle quedando definida la entrega de las tareas de cada año como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Relación de tareas de cada año**

| Tareas en el Moodle | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Tarea 1. Elaboración del plan de trabajo de la práctica laboral utilizando el Microsoft Project u otras herramientas alternativas de software libre con igual eficacia. | x | x | x |
| Tarea 2. Análisis y descripción del entorno laboral en el que se desenvuelve, el cual incluirá una revisión de la estrategia organizativa, estructura, marco legal, procesos e indicadores (económicos, clientes, procesos, RRHH) en relación con el puesto de trabajo específico, que evidencien el grado de cumplimiento de las estrategias y permitan identificar y justificar las problemáticas analizadas. durante el análisis. | x | x | x |
| Tarea 3. Informe sobre el marco legal para los procesos estudiados | x | | x |
| Tarea 3. Desarrollo de un marco teórico referencial mediante la organización por epígrafes (IO, DSI, EE). Los enfoques asumidos por el autor deberán quedar claros y estar plenamente argumentados. | | x | |

| Tareas en el Moodle | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Tarea 4. Identificación y descripción del proceso y los puestos de trabajo. | x | | x |
| Tarea 4. Análisis y modelación de los procesos que se llevan a cabo en el puesto de trabajo donde se desempeña, identificando roles, responsabilidades y cómo estas se relacionan con los procesos más amplios de la organización. Todo se realizará mediante la utilización de herramientas digitales. | | x | |
| Tarea 5: Identificación de los tipos de transacciones que se realizan en el sistema ERP operado en el puesto de trabajo. Para ello deberán conocer la interfaz del sistema, los conceptos básicos de las transacciones y las reglas de negocio que se aplican a las transacciones, considerando los permisos de acceso al sistema ERP para poder realizar dichas transacciones. | | x | x |
| Tarea 5. Diseño de soluciones y la evaluación de su impacto. | | x | |
| Tarea 6. A partir de la observación directa y el análisis previo, proponer mejoras o soluciones a nivel de puesto de trabajo que se alineen con las responsabilidades y actividades asignadas durante la práctica laboral. | | x | |
| Tarea 7. Evaluación de la factibilidad y efectividad de las soluciones propuestas, mediante la simulación, considerando criterios técnicos, económicos, y organizacionales en el contexto del puesto de trabajo. | | x | |
| Tarea 8. Elaboración de un informe final detallado sobre las observaciones, análisis y propuestas realizadas durante la práctica laboral, con énfasis en el desempeño y responsabilidades asumidas en el puesto de trabajo. Presentación oral (virtual o presencial) acompañado de un archivo en formato pptx. | x | x | x |

**Implantación del programa de práctica laboral**

Se dio prioridad en la asignación de estudiantes a las entidades que ya contaban con un contrato firmado con la CUJAE. No obstante, fue necesario ubicar estudiantes en organizaciones con las que previamente se tuvo que formalizar la firma de convenios.

Las prácticas laborales se desarrollaron durante el segundo periodo del curso, a partir del mes de junio. Las tutorías de los estudiantes se distribuyeron entre las tres áreas docentes de la facultad, de manera proporcional al número de profesores en cada área, como se muestra en la Figura 2**.**

| | | 1ER AÑO | 2DO AÑO | 3ER AÑO |
|---|---|---|---|---|
| | ESTUDIANTES | 133 | 84 | 60 |
| | EQUIPOS | 30 | 28 | 30 |
| | | 30 PROFESORES | | |
| DEPARTAMENTOS | INGENIERÍA INDUSTRIAL | 10/40 | 10/30 | 10/28 |
| | INFORMÁTICA EMPRESARIAL | 14/56 | 14/42 | 14/28 |
| CENTRO DE ESTUDIO | CETDIR | 6/24 | 6/18 | 6/12 |

**Figura 2. Distribución de la tutoría de la práctica entre las áreas de la facultad**

La matrícula se completó y las tareas fueron activadas en la plataforma Moodle durante la primera semana de la práctica laboral. Sin embargo, fue necesario ejercer considerable presión tanto a estudiantes como a tutores para garantizar la entrega sistemática de las tareas y su posterior calificación por parte de los profesores. Todos los estudiantes entregaron la evaluación final a través de Moodle.
Las defensas se llevaron a cabo satisfactoriamente, aunque con una baja participación de profesionales de las entidades laborales en los tribunales. Solo el 10 % de los colectivos de estudiantes realizó las defensas en las propias entidades laborales.

**Satisfacción de las entidades**

Aún están pendientes algunas cartas de las empresas, donde se debe proporcionar información sobre la asistencia, puntualidad y disciplina laboral, así como los resultados del trabajo realizado por los estudiantes y el beneficio que este pueda haber generado para la organización, además del Anexo 2 del Convenio.
El porcentaje de colectivos que realizaron las presentaciones para la evaluación de los estudiantes en los centros de trabajo donde realizaron la práctica fue muy bajo. En la mayoría de los tribunales que sesionaron en la facultad, no hubo presencia de representantes de las entidades donde se realizó el trabajo.

## 3. CONCLUSIONES

El diseño del procedimiento para la gestión de las prácticas laborales ha demostrado ser efectivo para mejorar el desempeño y aumentar la satisfacción de los estudiantes. Asimismo, ha fortalecido el impacto de las relaciones entre la universidad y las empresas, en comparación con los resultados de periodos anteriores. Las mejoras introducidas en la planificación y seguimiento de las actividades han permitido una mayor sistematicidad en el proceso, a pesar de las dificultades identificadas, como la baja participación de las entidades en la evaluación final y los problemas logísticos relacionados con la asignación de estudiantes.
Es evidente que, aunque se han logrado avances importantes, todavía existen áreas por mejorar, particularmente en lo que respecta a la mayor integración de las entidades laborales en los procesos evaluativos y la optimización de los convenios de colaboración. El éxito de estas prácticas depende en gran medida de la calidad de la supervisión y la retroalimentación brindada por los tutores, así como de una mayor responsabilidad compartida entre la universidad y las entidades laborales.

## 4. REFERENCIAS

1. Ministerio de EducaciónSuperior de Cuba. (2021). Reglamento organizativo del proceso docente y de dirección del trabajo docente y metodológico para las carreras universitarias. La Habana, Cuba: Ministerio de Educación Superior.
2. Delis, A., & Jones, C. (2023). The impact of work placements on graduate earnings. *Studies in Higher Education*, *48*(11), 1708–1723. https://doi.org/10.1080/03075079.2023.2211999
3. Otache, I. (2022). Enhancing graduates' employability through polytechnic–industry collaboration. *Industry and Higher Education*, *36*(5), 604-614. https://doi.org/10.1177/09504222211063140
4. Blair, A., Wyburn-Powell, A., Goodwin, M., & Shields, S. (2013). Can dialogue help to improve feedback on examinations? *Studies in Higher Education*, *39*(6), 1039–1054. https://doi.org/10.1080/03075079.2013.777404
5. Thune, T., & Gulbrandsen, M. (2014). Dynamics of collaboration in university-industry partnerships: Do initial conditions explain development patterns? *The Journal of Technology Transfer*, *39*(6), 977–993. https://doi.org/10.1007/s10961-014-9331-5
6. Abramo, G., &D'Angelo, C. A. (2022). Drivers of academic engagement in public–private research collaboration: An empirical study. *Journal of Technology Transfer*, *47*(6), 1861–1884. https://doi.org/10.1007/s10961-021-09884-z

7. Nguyen, T. Q., & Nguyen, H. T. T. (2020). Factores que afectan la colaboración entre la industria y la universidad en la educación en la industria hotelera en Vietnam: Una perspectiva empresarial. *Journal of Asian Finance, Economics and Business, 7*(2), 291–300. https://doi.org/10.13106/JAFEB.2020.VOL7.NO2.291
8. Ankrah, S., & AL-Tabbaa, O. (2015). Universities–industry collaboration: A systematic review. *Scandinavian Journal of Management, 31*(3), 387-408. https://doi.org/10.1016/j.scaman.2015.02.003
9. Cohen, M., Fernandes, G., &Godinho, P. (2023). Measuring the societal impacts of university-industry R&D collaborations. *Procedia Computer Science, 217*, 315-324. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.449
10. Marques, C. S., Ferreira, J. J., Marques, C. P., & others. (2024). Understanding university-industry collaboration: A social exchange perspective on the entrepreneurial university. *JournalofTechnology Transfer*. https://doi.org/10.1007/s10961-024-10084-8

**Sobre los autores**

Dra. Sonia Fleitas Triana
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular. Coordinadora del Programa de Maestría Ingenieria Industrial y Sistemas. Jefe de la disciplina integradora de la carrera de ingeniería Industrial . Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: sfleitas@ind.cujae.edu.cu

M. Sc. Leisis Villar Ledo,

Master en Calidad Total, Profesor Auxiliar.Vicedecana docente. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico:

Dr. C. Jeffrey Blanco González
Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar.Profesor Principal de año. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico:

M Sc. Patricia Suárez Fernández
Master en Calidad Total, Asistente.Segunda jefe de Departamento. Profesor Principal de año. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico

M. Sc. Mayra Peñalver Galan. Profesor Titular.Profesor Principal de año. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico

Ing. Yanet González Acosta
Profesora. Instructora. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Análisis de Organización del Trabajo en el Centro Multiservicios Obispo de ETECSA en la Habana.

**Primer Autor (Ing. Claudia Ramírez Sorí)[1], Segundo Autor (Ing. Melisa Fong Mateus)[2], Tercer Autor (Dra. Vania García Fenton)[3], Cuarto Autor (MsC. Jarvis Blanco Zaballa)[4]**

[1] Vicepresidencia Comercial-ETECSA, [3] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), [4]Dirección Central de Capital Humano-ETECSA
[1]e-mail: claudia.ramirez@etecsa.cu
[2]e-mail: jarvis.blanco@etecsa.cu

**RESUMEN**

Incrementar la productividad, como parte de la Gestión de los Recursos Humanos, así como la calidad de los productos y servicios son los principales retos de las empresas mundialmente, para ello apuestan por los avances tecnológicos. Por esto Cuba pretende elevar el desempeño de sus organizaciones, exigiendo más eficacia y eficiencia al satisfacer las demandas del entorno, aplicando las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y el desarrollo de la Industria 4.0, a partir de inversiones en tecnologías de avanzada, como parte del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030.

El sector de las telecomunicaciones es uno de los pilares de la economía cubana actual, por ello, se realizó un análisis de la organización del trabajo, proponiendo tecnologías actuales, de autogestión y mejorando la experiencia del cliente en el Centro Multiservicios Obispo perteneciente a la Dirección Territorial Norte de ETECSA en La Habana.

Se emplearon: el Método General de Solución de Problemas, entrevistas, trabajo en grupo, Listas de Chequeo, encuestas, análisis de documentos, diagrama BPMN, simulación en ARENA, cronometraje de operaciones con análisis estadístico de los tiempos registrados, técnica de observación continua individual, diagrama Causa-Efecto, Pareto, Método Delphi y Balance de Carga y Capacidad.

Se resumieron los resultados de dicha investigación partiendo de los fundamentos teóricos que abordan los conceptos relacionados con el tema; el diagnóstico de la situación actual y la definición de las demoras en la prestación de servicios debido a las oportunidades de mejora

de la organización del trabajo como problema principal; además de la propuesta y análisis de soluciones, que incluyeron el análisis económico.

**PALABRAS CLAVE:** Industria 4.0, Transformación Digital, Gestión de Recursos Humanos, Organización del trabajo

# Analysis of the Work Organization in the Obispo Multiservice Center of ETECSA in Havana.

**ABSTRACT**

Increasing work productivity, as part of Human Resources Management, as well as the quality of products and services are the main challenges for companies worldwide, to do so they rely on technological advances. For this reason, Cuba intends to raise the performance of its organizations, demanding more effectiveness and efficiency when meeting the demands of the enviroment, applying digital transformation with the use of Information and Communications Technologies and the development of Industry 4.0, based on investments in advanced technologies, as part of the National Economic and Social Plan until 2030.

The telecommunications sector is one of the pillars of the current economy, therefore of an analysis of the work organization was carried out, proposing current technologies, self-management and improving the customer experience in the Obispo Multiservice Center belonging to the Northern Territorial Directorate of ETECSA in Havana.

The following were used: the General Problem Solving Methods, interviews, group work, CheckLists, surveys, document analysis, BPMN diagram, Simulation in ARENA, timing of operations with statistical analysis of the recorded times, individual continuous observation technique, Cause-Effect diagram, Pareto, Delphi Method and Load Capacity Balance.

The result of said research were summarized based on the theoretical foundations that adress the concepts related to the topic; the diagnosis of the current situation of the entity and the definition of delays in the provision of services due to the opportunities for improving in the work organization as the main problem; and the proposal and analysis of solutions that included the economic aspect.

**KEY WORDS:** Industry 4.0, Digital Transformation, Human Resources Management, Work Organization

## 1. INTRODUCCIÓN

En el entorno actual de competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, las empresas se ven forzadas a reconfigurar sus procesos. La industria 4.0 es parte de una transformación, en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para crear innovadores sistemas, gestión y formas de hacer negocios, que permiten optimizar los procesos, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para sus clientes, así como responder de forma oportuna a las necesidades de su mercado. Han cambiado casi en su totalidad muchas de las actividades que diariamente realizan las personas, sin duda la forma de comercializar ha experimentado con mayor fuerza estos cambios a través del E-commerce (e-commerce), que es la actividad económica que permite el comercio de productos y servicios a partir de medios digitales.

Esto va aparejado actualmente del proceso de transformación digital que se está llevando a cabo en todo el mundo y que tiene un efecto directo en las empresas, entidades del sector público y privado, y las instituciones. Las organizaciones, sea cual sea su ámbito de actividad, necesitan incorporar estas tecnologías digitales para aprovechar las capacidades que éstas les proporcionan para transformar sus procesos e impulsar nuevos modelos organizativos que les permitan incorporarse de manera adecuada a este nuevo escenario digital. En este sentido, las tecnologías digitales (interacción social, movilidad, análisis de la información, inteligencia artificial, la adopción de la nube, etc.) influyen directamente en la mayoría de las áreas de la actividad humana.

Algunos estudios relacionados con la Transformación Digital dejan constancia clara que la Transformación Digital aporta mejoras demostrables para el negocio. Por ejemplo, las empresas con capacidades altas de digitalización y de liderazgo obtienen valores muy superiores a la media de su sector obteniendo +26% y +9% en términos de rentabilidad y de productividad respectivamente. Por el contrario, las empresas que no desarrollan estas capacidades tienen -4% de rentabilidad y un -24% de productividad frente a la media de su sector.

Hoy en día es muy común para los usuarios realizar procesos transaccionales por la web, desde hacer consultas y trámites online, asesorías, peticiones, quejas y reclamos a las empresas, hasta pagar sus impuestos y facturas de telefonía e internet; esto, sin necesidad de estar en contacto personal con los representantes de la organización. Autogestionarse se está convirtiendo no solo en una tendencia global, sino también en una característica necesaria de las empresas que han decidido migrar algunos de sus servicios a la web (Cabrales López, 2019).

**Antecedentes del problema.**

La industria 4.0 es parte de una transformación, en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para crear innovadores sistemas, gestión y formas de hacer negocios.

Las grandes empresas de telecomunicaciones, con fuertes redes minoristas, tuvieron que definir e implementar planes para adaptar sus canales comerciales a la nueva realidad: Reconfiguración de canales físicos, mejora de la experiencia del cliente dentro del punto de venta, enfoque en la digitalización y la agilidad de procesos y adecuación de las estrategias de ventas.

Cuba no está ajena a esta revolución y transformación digital. Cuenta con una Política para la transformación digital y un Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2030, que lo componen Macro programas y programas con el propósito de aplicar enfoques innovadores de reestructuración productiva tendentes a maximizar las ventajas del desarrollo tardío, en un contexto internacional orientado a la introducción de nuevas plataformas tecnológicas y al despliegue de la revolución industrial en curso.

Para la maximización de sus ingresos y mejorar la experiencia del cliente, se encuentra envuelta en el diseño de nuevos servicios autogestionados por el cliente; para lo cual se traza como estrategia vital del negocio:

- Mejorar la percepción de los clientes, mediante la personalización de la experiencia de forma integrada, apoyado en la multicanalidad, incorporando canales digitales y la gestión de clientes basada en datos.

**Objetivo general de esta investigación:**

Realizar un análisis de organización del trabajo (OT) en el centro, proponiendo tecnologías actuales, de autogestión y mejorando la experiencia del cliente.

**Objetivos específicos:**

1-Determinar los fundamentos teóricos y metodológicos de la organización del trabajo.

2- Realizar un diagnóstico de la situación actual del Centro Multiservicios Obispo y analizar el problema fundamental en el proceso de trabajo y las causas que lo provocan.

3- Proponer soluciones a los problemas encontrados, asociadas a los avances tecnológicos actuales, la autogestión personal y mejorando la experiencia del cliente y realizar una valoración de los resultados donde se incorpora una evaluación económica de la solución seleccionada.

**Métodos**

Se utilizan las primeras cinco etapas del Procedimiento para el Diseño, la Realización de Estudios e Implementación de la Organización del Trabajo de (Fleitas Triana y García Fenton, 2013), que organiza los pasos que se determinaron asociados al método general para resolver problemas de Marsán Castellanos y otros (1987) y se fundamenta con el de García Carmen y Basnuevo Janet (2008).

## 2. RESULTADOS

**Caracterización del Centro Multiservicios Obispo**

El presente trabajo se realiza en el Centro Multiservicios Obispo o como también se conoce #Digital, el cual es inaugurado el 14 de noviembre del 2019 en Obispo no. 457 e/ Villegas y Aguacate, La Habana Vieja, como parte de las celebraciones por los 500 años de La Habana, siendo el primer Centro Multiservicios Digital de ETECSA. Cuenta con una plantilla aprobada de 20 trabajadores, todos pertenecientes al género femenino. El personal que ocupa la plantilla se puede considerar joven, pues el promedio de edad es de 36 años.

Misión: Atender las solicitudes del usuario en cuanto a servicios y productos mediante una gestión óptima de sus requerimientos, garantizando su plena satisfacción.

Se realiza un diagnóstico de la situación actual arrojando como resultado que el problema principal en el proceso de ventas del Centro Multiservicios Obispo son las demoras en la prestación de servicios debido a oportunidades de mejora en la organización del trabajo.

Se realiza una modelación en arena que ratifica que el tiempo de espera medio de los clientes es de más de 38min excediendo el tiempo ideal de espera que es de 15min debido a dichas demoras.

A partir de la Lista de Chequeo de OT se obtiene como resultado que hay insuficientes estudios de organización del trabajo, en donde no se cuenta con un procedimiento donde se explique cómo realizar los análisis de los resultados de los estudios del trabajo e implementar los resultados; no están definidas ni aprobadas las técnicas y herramientas a utilizar para desarrollar los estudios de organización del trabajo; no se han realizado estudios de medición de tiempos y de Aprovechamiento de la Jornada Laboral (AJL); y no existe evidencia documentada de la determinación del tiempo que invierte un trabajador competente en llevar a cabo una tarea según una norma de tiempo(Nt) de trabajo preestablecida y actualizada; por lo que se realiza un análisis de AJL obteniendo como resultado 92,77% y se hallaron las Nt de los servicios que se brindan.

A partir de la Lista de Chequeo de Disfuncionalidades y Derroches se determinan las restantes causas del problema que son deficiencias con las condiciones de trabajo debido adeficiencias en la iluminación, mala cobertura y conectividad de datos móviles y riesgos ergonómicos; deficiente gestión de colas; interrupciones en los sistemas informáticos y falta de integración en los mismos; insuficiencia y necesidad de mantenimiento de equipos de trabajo; y servicios no disponibles.

A partir de un diagrama Pareto se obtiene que el orden de importancia de las causas del problema es: (1) la computadora del puesto central requieremantenimiento; (2) interrupciones en los sistemas informáticos; (3) mala cobertura y conectividad de datos móviles; (4) deficiente gestión de colas; (5) necesidad de equipos de trabajo; (6) los restantes problemas acumulados en una categoría de poca importancia.

El diagrama Pareto muestra, además, que la necesidad de mantenimiento de la computadora del puesto central provoca el 76% de las deficiencias, y es que esta causa posee más del doble de la magnitud del resto de las barras, por lo que se puede considerar significativamente más importante.

**Mejoras**

1) Se proponen cinco alternativas de solución para solucionar las principales causas en las demoras en la prestación de servicios, determinadas según el procesamiento estadístico en el Diagrama Pareto.

2) Se propone brindar mantenimiento a la computadora del puesto central, si esto no es posible se propone invertir en la compra de una nueva, esto le posibilitará a la quinta Ejecutivo de Punto de Venta brindar servicios.

3) Como nueva alternativa para brindar servicios cuando se produzcan las interrupciones en los sistemas informáticos se propone el funcionamiento como un Centro de Experiencia y Autogestión, donde los clientes podrán disponer de dispositivos de prueba para mejorar su experiencia y facilitar las decisiones de compra, además de autogestionarse y recibir asesoría por un personal especializado, lo cual requirió de la creación de un nuevo puesto (Ejecutiva de Asesoría al Cliente), determinando que se requieren dos de ellas y una EPV en esta nueva modalidad de centro.

4) Colocar un amplificador de señal celular que cumpla los parámetros de frecuencias de CUBACEL para mejorar la cobertura y la conectividad de datos móviles en los puestos traseros lo que disminuirá 1.5 minutos de tiempos de interrupción en los servicios que requieren probar estos parámetros.

5) Para la deficiente gestión de colas se propone el uso de todas las funcionalidades de GESCO (Sistema de Gestión de Colas):estimándose un incremento de productividad por Tiempo de Interrupciones por Deficiencias Técnico-organizativas (TITO) reducido de 3,58%.

6) Para la necesidad de equipos de trabajo se propone realizar una inversión para comprar una impresora-fotocopiadora y una fotocopiadora, lo cual reducirá aproximadamente medio minuto por cada servicio que requiera el uso de estos equipos.

**Evaluación del impacto de la Investigación. Costo Beneficio**

Se proponen cinco alternativas de solución para solucionar las principales causas en las demoras en la prestación de servicios, determinadas según el procesamiento estadístico en el Diagrama Pareto, estimándose ahorros temporales. Con el funcionamiento como Centro de Experiencia y Autogestión se ahorrarían 1084.5 min/mes, colocar un amplificador de señal celular 2371.5 min/mes, hacer uso del sistema GESCO 14.59 min/ejecutiva, comprar equipos de trabajo 733 min/mes y brindar mantenimiento a la computadora del puesto central disminuiría el tiempo de espera en cola, pues se tendría una quinta EPV brindando servicios. Todas se evaluaron económicamente, determinando que son factibles.

## 3. CONCLUSIONES

Se cumple con el objetivo general propuesto al realizar un análisis de organización del trabajo en el Centro Multiservicios Obispo, perteneciente a la Dirección Territorial Norte de ETECSA en La Habana, proponiendo tecnologías actuales, de autogestión y mejorando la experiencia del cliente.

Se elabora una Guía para el diagnóstico de la organización del trabajo y se aplica en el diagnóstico, la misma se califica como medianamente satisfactoria y se determina que en ETECSA se cuenta con una indicación empresarial para realizar estudios de organización del trabajo que no explica detalladamente cómo realizarlos para las nuevas condiciones de transformación digital.

No se han realizado suficientes estudios de AJL ni se tiene establecido una norma de tiempo para cada servicio que se brinda, por lo que se realiza un estudio determinando que el AJL es de 92,77% debido a pérdidas de tiempo por causas técnico-organizativas, y se identificaron 17 servicios asociados al proceso de venta en el Centro de Multiservicios de los cuales se determinaron las normas de tiempo.

Se realiza una modelación en arena que ratifica que el tiempo de espera medio de los clientes es de más de 38min excediendo el tiempo ideal de espera que es de 15min, debido a demoras en los servicios y la interrupción de los sistemas informáticos empleados.

Se identificaron 4 sistemas informáticos empleados en la prestación de servicios que cada uno de ellos cuenta con su propia base de datos donde se almacenan los datos de los clientes, así como en cada uno se realiza la tasación de los servicios de manera independiente, provocando pérdidas de aproximadamente 10 segundos en acceder a cada uno.

Tras realizar un diagnóstico de la situación actual se determina que el problema principal en el proceso de ventas del Centro Multiservicios Obispo son las demoras en la prestación de servicios debido a: deficiencias en las condiciones de trabajo, deficiente gestión de colas, deficiencias en los sistemas informáticos, insuficientes equipos de trabajo, servicios no disponibles e insuficientes estudios de organización del trabajo.

## 4. REFERENCIAS

1. Cabrales López, J. H. (2019). Análisis de usabilidad del portal de autogestión de TigoUne Colombia. Facultad de Comunicación Social - Periodismo. Medellín, Colombia, Universidad Pontificia Bolivariana.

2. Cuesta Santos, A. (2019). Tecnología de Gestión de Recursos Humanos. La Habana, Cuba, Félix Varela.
3. Marsán Castellanos, J. C. S., Armando; Fleita Triana, Sonia; García Álvarez, Carmen; García Felto, Vania; López Morales, Rodney; Domínguez López, Yirina (2011). Organización del Trabajo Estudio de Tiempos. La Habana, Cuba, Ed. Félix Varela.
4. Marsán Castellanos, J. R. C. S., Armando; García Álvarez, Carmen; Padilla Méndez, Consuelo (2008). Organización del Trabajo Ingeniería de Métodos. La Habana, Cuba, Félix Varela.

**Sobre los autores**

Ing. Claudia Ramírez Sorí.
Ingeniera Industrial, Especialista Principal de Procesos de la Vicepresidencia Comercial de ETECSA, correo electrónico: claudia.ramirez@etecsa.cu

Ing. Melisa Fong Mateus
Ingeniera Industrial

Dra. Vania García Fenton
Doctora en Ciencias Técnicas. Máster en Organización de la Producción. Profesora Titular, . Jefa de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Profesora principal de la asignatura Ingeniería de Métodos y Tiempos. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: vania@ind.cujae.edu.cu

MsC. Jarvis Blanco Zaballa
Master en Gestión de los Recursos Humanos, Director de Organización de la Dirección Central de Recursos Humanos de ETECSA. correo electrónico: jarvis.blanco@etecsa.cu

21th from november 25th to november 29th, 2024
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER
60th ANNIVERSARY cujae

# Gestión de los Recursos Humanos en las Relaciones Institucionales de la CUJAE

M. Sc. Reyniel Gómez González[1]Dra.Martha Dunia Delgado Dapena[2]Ing.Lázara L. Cordovés[3]yM.Sc.Guianeya Gutiérrez Vega [3]

[1]Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Centro de Estudios Matemáticos. reyniel@tesla.cujae.edu.cu
[2]Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Facultad de Ingenería Informática. martha@tesla.cujae.edu.cu
3 Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Dirección de Relaciones Internacionales. lazaracordo@tesla.cujae.edu.cu
[4] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Dirección de Contabilidad.gui@tesla.cujae.edu.cu

**Resumen:** La Gestión de los Recursos Humanos en las instituciones educativas en la actualidad se constituye en un factor decisivo no solo para la formación de los Recursos Humanos, sino también para dar una respuesta pertinente al encargo social de gobernar posibilitando la incorporación de la Ciencia y la Innovación a la actividad económica. Por esta razón se definió como objetivo de este trabajo analizar cómo la gestión de RRHH impacta en las relaciones institucionales, especialmente en el contexto cubano de nuevas relaciones económicas y estrategias de desarrollo. Se realizó un estudio cronológico del desarrollo de la gestión de estos recursos y se aplicó un sistema informático ya conocido y en consonancia con los intereses nacionales e institucionales para reconformar los trámites en la Dirección de Recursos Humanos de la CUJAE, asociados fundamentalmente a las acciones a acometer de acuerdo a la aplicación de la ciencia y la innovación en la gestión empresarial y de gobierno de los nuevos momentos. El sistema fue validado y al mismo tiempo es perfectible. Este sistema ha incorporado además la posibilidad de tener un mayor seguimiento a los trámites solicitados y evaluar así el funcionamiento del área, propiciando la mejora continua y el entrenamiento sistemático del personal que en él interviene.

**Palabras Claves :**Dirección de Recursos Humanos, trámites de Recursos Humanos, Sistema GLPI, METABASE.

**Abstract:** Human Resources Management in educational institutions is currently a decisive factor not only for the training of Human Resources, but also to provide a relevant response to the social task of governing by enabling the incorporation of Science and Innovation to economic activity. Because of this, the objective of this work was to analyze how HR management impacts on institutional relations, especially in the Cuban context of new economic relations and development strategies. A chronological study of the development of the management of these resources was carried out and a computer system already known and in line with national and institutional interests was applied to reconform the procedures in the Human Resources Directorate of CUJAE, mainly associated with the actions to be undertaken according to the application of science and innovation in business and government management of the new times. The system was validated and at the same time is perfectible. This system has also incorporated the possibility of having a greater follow-up of the procedures requested and thus, evaluating the operation of the area, favoring the continuous improvement and systematic training of personnel involved in it.

**Keywords :**Human Resources Management, Human Resources procedures, GLPI System, METABASE.

## 1 Introducción

En la actualidad, la Gestión de los Recursos Humanos (RRHH) en las instituciones educativas es un factor crítico que influye en la calidad académica y administrativa de las universidades. La gestión eficiente de talentos contribuye no solo a la formación de un cuerpo docente calificado, sino también a la creación de

relaciones institucionales sólidas que favorecen el desarrollo integral de las universidades. Este trabajo tiene como objetivo analizar cómo la gestión de RRHH impacta en las relaciones institucionales, especialmente en el contexto cubano de nuevas relaciones económicas y estrategias de desarrollo.

## 2 Fundamentoteórico

Los antecedentes de la gestión de recursos humanos se remontan a las primeras formas de administración de personal, que se centraban en la contratación y el pago de salarios. Con el tiempo, el enfoque evolucionó hacia una perspectiva más holística que incluye el desarrollo, la satisfacción y el bienestar de los empleados. En el contexto educativo, la gestión de RRHH se ha convertido en un área estratégica que busca optimizar el rendimiento y la formación continua del personal docente.

En muchas de las organizaciones actuales, tanto empresariales como de servicios, la gestión de sus activos sigue un enfoque basado en procesos, el cual se sustenta en organizar y gestionar todas las actividades de la organización en función de los procesos que ejecuta. Estos procesos están clasificados en Estratégicos, Claves y de Apoyo. [1]

En la universidad se consideran procesos estratégicos a aquellos trascendentales para guiar al resto de los procesos de la organización y dar cumplimiento a la misión y visión de la universidad. Entre los procesos estratégicos están: Internacionalización; Planificación estratégica y calidad; Gestión Económica Financiera; Gestión del Trabajo Político Ideológico; Información, Comunicación e Informatización; Gestión de las Relaciones Universidad-Empresa-Gobierno y la Gestión de los Recursos Humanos y Cuadros.

En los momentos actuales la Universidad como institución educativa y de investigación ha sido llamada a jugar un rol, que aunque no nuevo, es la respuesta convincente para elevar el nivel de vida de la población y aplicar en la vida cotidiana los avances científico técnicos que permitan alcanzar el desarrollo económico de manera socialista y sustentable.[2] Por esta razón, se profundiza cada vez más en el alcance de vínculos Universidad Empresa que permita que la fuerza técnica y la preparación de los especialistas se vuelque a la industria nacional y refuerce el arsenal científico de producciones y productos.

Es común escuchar en los últimos años a los estudiantes y profesores de la enseñanza superior hablar de la realización de tareas que rebasan el marco estrecho de lo curricular y los motiva a ganar en conocimientos y a apoyar la gestión empresarial reaprobación del proyecto el Jefe de proyecto debe solicitar solviendo aspectos para los que no basta solo con el típico especialista industrial, sino que reclaman del abordaje de nuevas técnicas y la aplicación de nuevos avances en el marco del sector no educativo.

Todo ello ha conducido a la necesaria incorporación de trámites y relaciones de trabajo que con características innovadoras han debido ser incorporados a las esferas de atención de los RRHH, encargada de la gestión de trabajo, orientación y control del más valioso de los capitales con que cuenta, el capital humano.[3]

Estas nuevas relaciones de trabajo entre la academia y la industria impactan de manera definitiva en los deberes que debe asumir la Dirección de Recursos Humanos para posibilitar la acción mancomunada de ambas esferas, propiciar la integración y facilitar el reconocimiento laboral a aquellos que se han incorporado a una nueva forma de labor asociada al desenvolvimiento de tareas docentes y de investigación que el modo tradicional no tenía en cuenta. En la Figura 1 se muestra el Modelo Cubano de Gestión Integrada de los Recursos Humanos. [4]

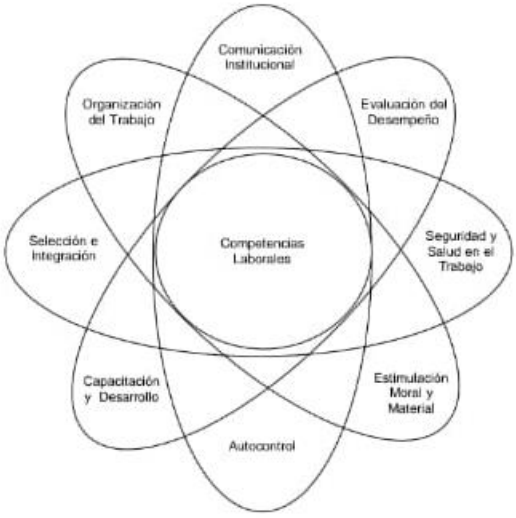



**Fig. 1:** Representación esquemática del Modelo Cubano de Gestión de los Recursos Humanos

Si bien es cierto que los actuales modos de operar de la fuerza calificada en la Universidad no introducen variaciones a este modelo que conserva plenamente su vigencia, no puede desconocerse que se ha hecho necesaria la incorporación de nuevos trámites y elementos de gestión.

La integración del personal del sector empresarial al sector educacional, especialmente en el contexto de proyectos de investigación, requiere un enfoque sistemático que englobe diversas competencias laborales y la gestión de recursos humanos. A continuación, de manera suscinta, se explica cómo cada uno de los componentes mencionados se relaciona con un sistema de trámites orientado a facilitar esta integración.

1. Competencias Laborales

Definición: Las competencias laborales incluyen habilidades, conocimientos y actitudes que los empleados deben poseer para desempeñarse efectivamente en su rol.

Relación con el sistema de trámites: El sistema debe evaluar y certificar las competencias laborales del personal que se integra, asegurando que posean la formación y habilidades necesarias para contribuir de manera efectiva a los proyectos de investigación. Esto puede incluir la verificación de credenciales académicas, experiencia previa y habilidades específicas.

2. Selección e Integración

Definición: El proceso de selección se refiere a identificar y escoger al personal más adecuado para ocupar un puesto o participar en un proyecto específico.

Relación con el sistema de trámites: Un sistema de trámites eficiente debe incluir pasos claros para la selección de personal, que incluyan entrevistas, pruebas de competencias y una revisión de antecedentes laborales. La integración debería facilitar la transición del personal empresarial al entorno educativo, proporcionando la orientación necesaria.

3. Capacitación y Desarrollo

Definición: Capacitación implica brindar a los empleados el conocimiento y las habilidades necesarias para su trabajo, mientras que desarrollo se refiere al crecimiento personal y profesional continuo.

Relación con el sistema de trámites: El sistema debe incluir mecanismos para identificar las necesidades de capacitación del personal integrado, ofreciendo programas de formación que se alineen con los objetivos de los proyectos de investigación. Esto garantizará que el personal esté adecuadamente preparado y actualizado en su campo.

4. Seguridad y Salud en el Trabajo

Definición: Se refiere a las políticas y prácticas diseñadas para proteger la salud y el bienestar de los empleados en el lugar de trabajo.

Relación con el sistema de trámites: Es esencial que el sistema de trámites contemple la evaluación de riesgos y la implementación de normativas de seguridad y salud, tanto en el entorno empresarial como en el educativo. Incluir formación sobre seguridad específica para proyectos de investigación es crítico para asegurar un ambiente de trabajo seguro.

5. Organización del Trabajo

Definición: Implica la disposición y estructuración de funciones, relaciones y tareas dentro de un entorno laboral.

Relación con el sistema de trámites: El sistema debe facilitar la organización adecuada del trabajo entre los nuevos integrantes. Esto puede incluir la definición de roles y responsabilidades en los proyectos de investigación, asegurando que el personal sepa cómo contribuir efectivamente a los equipos de trabajo.

6. Comunicación Institucional

Definición: Se refiere a los procesos de intercambio de información y la creación de un flujo de comunicación efectivo dentro de una organización.

Relación con el sistema de trámites: Un sistema de trámites efectivo debe incluir protocolos claros de comunicación tanto para el personal del sector empresarial como para el educativo. La transparencia en los procesos y la creación de canales de comunicación facilitarán la integración y colaboración.

7. Sistema de Capital Humano

Definición: Se refiere a la gestión del talento humano dentro de una organización, considerando las competencias, desarrollo y bienestar del personal.

Relación con el sistema de trámites: El sistema debe realizar un seguimiento del capital humano luego de la integración, asegurando que el personal continúe desarrollándose y se sientan valorados. Esto se podría lograr a través de evaluaciones periódicas y programas de carrera que mantengan la motivación y el compromiso del personal.

La integración del personal del sector empresarial en la educación mediante proyectos de investigación es un proceso que requiere un sistema de trámites eficaz que abarque desde la evaluación de competencias laborales

hasta la capacitación y el desarrollo profesional continuo. Implementar mecanismos que contemplen la selección adecuada, formación, comunicación y bienestar del personal es esencial para asegurar una colaboración exitosa y beneficiosa tanto para el sector empresarial como para el educativo. Esto no solo fomenta un entorno de trabajo productivo, sino que también contribuye significativamente al avance y la innovación en los proyectos de investigación.

### 2.1 Trámites en Recursos Humanos

Los trámites que se realizan en la gestión de recursos humanos son variados y críticos para el funcionamiento eficiente de la universidad. Mas, sin embargo, la gestión de trámites en la dirección de RRHH constituye una insatisfacción de trabajadores, lo que hace necesaria la incorporación de una solución a largo plazo teniendo en cuenta la necesidad de mejorar los servicios y adaptar la gestión del capital humano a las tendencias actuales. Por ende, se hace necesario informatizar dicha gestión.

Aunque existen herramientas que permiten la gestión de los Recursos Humanos [5, 6], estas no siempre cumplen con los requisitos necesarios definidos entre las políticas de la universidad y con los requerimientos para la gestión de las solicitudes, por lo que se hace necesario una nueva solución que se adecue a las necesidades del grupo de gestión de trámites de RRHH de la CUJAE.

En la figura 2se muestra el diagrama de casos donde se exponen los distintos actores que se involucran en los procesos, así como los casos de uso con los que se relacionan para llevar a cabo los trámites

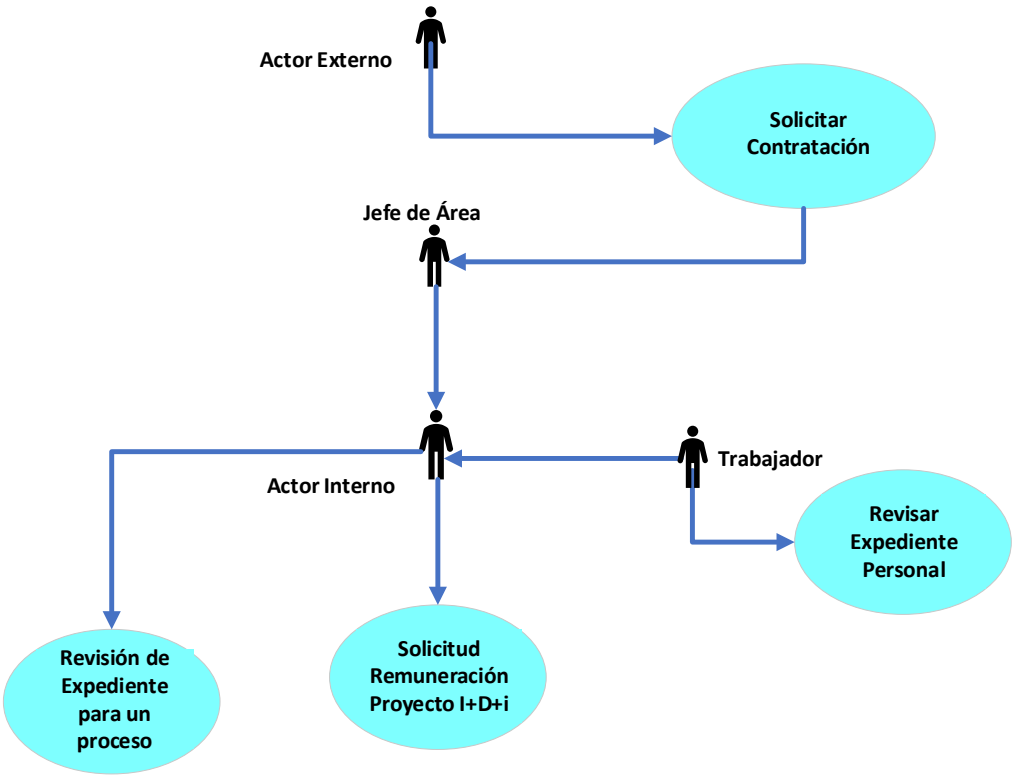



**Fig. 2**: Diagrama que representa los Trámites de Recursos Humanos de la CUJAE asociados al trabajo por proyectos

Las políticas de Informatización de la CUJAE establecen el uso de tecnologías basadas en software libre y de código abierto, determinando así que la gestión de las solicitudes de trámites se proponga realizar a través del sistema de Tickets GLPI, [7] que es software de gestión de activos que ofrece un mejor servicio a los usuarios, permite un mejor control y gestión de las solicitudes y este a su vez utiliza el sistema gestor de bases de datos MySQL para el almacenamiento de información, de gran popularidad y gratuito, que además es el gestor de base de datos del sistema a utilizar.

En este marco contextual se desarrolló el siguiente procedimiento para la implementación del Sistema de gestión de solicitudes de trámites de Recursos Humanos, que mejora un procedimiento anterior [8]para establecer un módulo de gestión de solicitudes en un proceso de la Universidad. Esta propuesta de procedimiento se cita a continuación.

En una primera etapa, se deberán diseñar los formularios correspondientes a las solicitudes que se les dará seguimiento en ese proceso e incluir en ese diseño los servicios de apoyo que pudieran ser necesarios para esa solicitud.

En la segunda etapa del procedimiento, se debe proceder a configurar la plataforma GLPI para adaptarse al proceso en cuestión. En esta etapa se establecen los roles (perfiles) que intervendrán en el proceso, que roles son los encargados de realizar las validaciones de las solicitudes, realizar los seguimientos y cerrar las solicitudes una vez finalizadas. También se deben establecer el flujo que se debe seguir para la atención de las solicitudes.

En la tercera etapa se establecen los nuevos servicios. Esto se refiere a servicios que no se encontraban establecidos en el sistema hasta ese momento. Para estos nuevos servicios se deberá crear el formulario correspondiente y se deberá configurar la plataforma para agregar el nuevo servicio, desde los roles necesarios para manejar las solicitudes correspondientes hasta el flujo de control de la solicitud. En el caso de que sea necesario modificar algún proceso existente, los formularios, categorías, roles y demás configuraciones en la herramienta, deberán ser ajustadas según se corresponda.

Luego de llevar a cabo estas etapas se procede a poner a punto el sistema informático para integrar en su funcionamiento el proceso de gestión de solicitudes de trámites de Recursos Humanos, ampliando el procedimiento, con nuevas tareas. Ellas son:

- Establecimiento y personalización de la categoría de Recursos Humanos en GLPI: Las categorías son esenciales para organizar y diferenciar los diversos trámites que se manejarán en GLPI. Esto mejora la eficiencia en la localización y seguimiento de los trámites, así como en la creación de informes por categoría.
- Incorporación de campos personalizados en los Formularios de Solicitud de Contratación, Solicitud de Jubilación, Solicitud de Remuneración a actividades de Proyectos y Solicitud de Revisión de Expedientes: Cada trámite puede necesitar información única que debe ser registrada en GLPI. La configuración de campos personalizados permite adaptar el sistema a las necesidades del proceso de gestión solicitudes de trámites.
- Ajuste de los parámetros de conexión de los sistemas informáticos: Es crucial establecer una conexión robusta y segura entre las distintas herramientas para asegurar una transferencia correcta y eficiente de datos. Esto implica ajustar los parámetros de conexión y mantener los sistemas sincronizados.

- Integración delos sistemas para análisis e informes: Esta integración proporciona un análisis detallado y visualizaciones estadísticas sobre los trámites. Esto facilita la toma de decisiones basadas en datos e identifica posibles áreas de mejora.
- Creación de consultas y paneles personalizados: Se pueden crear consultas y paneles personalizados para obtener información específica sobre las solicitudes de trámites. Esto permite generar informes relevantes y visualizar las estadísticas de manera clara y concisa.
- Documentación del procedimiento completo de implementación: La documentación detallada del procedimiento de implementación es esencial para garantizar la consistencia y facilitar futuras actualizaciones o cambios en los sistemas.
- Capacitación del personal en el uso de los sistemas: Es esencial que el personal encargado esté bien formado en el uso de los sistemas incorporados para la gestión de trámites. Esto implica proporcionar directrices claras, ejemplos de uso real y estar disponible para aclarar cualquier duda o pregunta que pueda surgir. La formación adecuada asegura que el personal pueda utilizar eficazmente los sistemas en su trabajo diario.

En el contexto cubano, las universidades enfrentan desafíos y oportunidades debido a las nuevas relaciones económicas que involucran sectores estratégicos. La transformación de la economía cubana exige una mayor colaboración entre las universidades y el sector productivo, lo que lleva a establecer relaciones institucionales más dinámicas y efectivas. Estas relaciones impactan directamente en los procesos de selección y contratación, donde la búsqueda de perfiles que se alineen con las necesidades del mercado se vuelve fundamental.

La integración de sectores estratégicos como la biotecnología, la informática y la energía renovable en el sistema educativo supone la necesidad de innovar en la gestión de recursos humanos. Las universidades deben adaptar sus procesos de selección y contratación para incorporar a profesionales con habilidades específicas que respondan a las demandas del nuevo entorno económico.

## 3 Materiales y Métodos

### 3.1 Diseño de Investigación

Este trabajo se llevará a cabo mediante un enfoque mixto que combinará métodos cualitativos y cuantitativos. El objetivo es obtener una visión integral sobre las interacciones entre la gestión de recursos humanos y las relaciones institucionales.

### 3.2 Técnicas de Recolección de Datos

1. Encuestas: Se diseñarán encuestas dirigidas a personal académico y administrativo que permitan cuantificar la percepción sobre la gestión de recursos humanos y su impacto en las relaciones institucionales. Las preguntas abarcarán aspectos como la satisfacción laboral, la comunicación institucional y la efectividad de los procesos de selección.

2. Entrevistas: Se realizarán entrevistas semiestructuradas con directores de programas de recursos humanos, docentes, jefes de proyectos y representantes de industrias estratégicas. Esto permitirá profundizar en los desafíos y buenas prácticas de la gestión de RRHH en el contexto de nuevas relaciones económicas.

## 4 Resultados y Discusión

Las políticas de informatización ya mencionadas se convierten en requisitos y reglas del negocio. Como resultados de las entrevistas realizadas a los especialistas del departamento y solicitantes de los servicios aparece otra serie de requisitos. Secuencialmente estos pasos deben ejecutarse en el siguiente orden:

1. Autenticar usuarios
2. Gestionar perfiles grupos y usuarios
3. Visualizar trazas
4. Solicitud de cita para contratación
5. Solicitud de Jubilación
6. Solicitud de Remuneración a actividades de Proyectos
7. Solicitud de Revisión de Expedientes
8. Modificar estadios de los procesos.
9. Validar solicitudes de trámites.
10. Gestionar solicitudes.
11. Visualizar Gráficos Estadísticos.
12. Consultar estado de los trámites.
13. Control del tiempo de respuesta de los especialistas involucrados en la solución de los trámites
14. Gestionar informes de trámites realizados. Se podrá exportar la información de los tramites realizados.
15. Gestionar informes de solicitudes de trámites en proceso. Se podrá exportar la información de las solicitudes en proceso.
16. Registrar interacción de los especialistas con los involucrados.
17. Realizar encuesta de satisfacción del servicio por el solicitante. Una vez concluido el trámite, el solicitante podrá realizar o no una encuesta de satisfacción del servicio recibido.

Se hará mención como ejemplo de este proceso a la Solicitud de Remuneración a actividades de proyectos.

Inicialmente el Jefe de Proyecto de Investigación deberá ejecutar a través de la estructura científica, según corresponda,todos los pasos a desarrollar para lograr la inscripción y aprobación del proyecto, su calendario de ejecución y los resultados que de este se espera. Una vez lograda la aprobación del proyecto es obligación del Jefe de Proyecto hacer la cita correspondiente para la contratación del personal. Si este personal ya es trabajador de la Universidad es más sencillo incorporar a los haberes que devenga la remuneración por el cumplimiento de las tareas asignadas. Sin embargo, no todo el personal que forma parte de un equipo de proyecto tiene que formar parte de la plantilla CUJAE. En esos casos el Jefe del Proyecto debe gestionar una cita para establecer el contrato de ese especialista y que este pueda recibir pago desde la Universidad, pues hasta que ese paso no se cumpla, el centro no puede remunerar su trabajo. Aparece entonces la necesidad de un primer trámite no contemplado para todos los casos.

Si se asume que el proyecto comenzó sus labores, la Dirección de Contabilidad debe chequear en las entradas de presupuesto disponible para el pago de estas acciones si la entidad financiadora del proyecto en cuestión ha transferido la cantidad monetaria que corresponde a la cuenta de la Universidad. Recae entonces en el jefe de proyectos con periodicidad trimestral o semestral presentar el modelo establecido de carta para esa remuneración. Este modelo debe estar incorporado al sistema informático como un campo formalizado en este trámite. Este formulario deberá recoger el proyecto, con nombre y código, el trimestre o semestre que corresponde y el centro de costo al que está asociado. El punto central es la tabla que recoge todos los integrantes que forman parte del equipo, el monto monetario que le corresponde y las firmas autorizadas que lo aprueban.

Si este modelo está bien confeccionado se procede a la ejecución de ese pago sin importar la procedencia interna o externa de el o los especialistas en cuestión.

Este proceder es consecuente y ajustado a la Resolución del CITMA del año 2023 que se conoce como **MANUAL PARA LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN.**[9]

De esta manera ha sido posible para la Universidad establecer vínculos más estrechos entre las Empresas y la Academia para la introducción en la vida práctica de los resultados científicos más avanzados y fortalecer la economía nacional en consonancia con la política gubernamental establecida.

### 4.1 Validación

Se desarrollaron casos de prueba con el fin de asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Para su mejor comprensión se han montado en tablas particulares para cada uno de ellos. Por supuesto que en este reporte solo incluimos algunos que sirven como ejemplo del tratamiento dado a todos los posibles.

Tabla 1(a) y (b): Escenarios y respuestas del sistema al trámite autenticación de usuario

| Autenticar Usuario | |
|---|---|
| Escenario 1: El usuario introduce sus credenciales correctamente y accede al sistema | |
| Entradas | Se introduce usuario y contraseña correctas. |
| Respuesta del Sistema | Comprueba las credenciales introducidas e inicia sesión correctamente |
| Resultado esperado | Acceso a la pantalla principal |
| Resultado Obtenido | El sistema inicia con la pantalla principal asignada para el perfil |

| Autenticar Usuario | |
|---|---|
| Escenario 1: El usuario introduce sus credenciales correctamente y accede al sistema | |
| Entradas | Se introduce usuario y contraseña correctas. |
| Respuesta del Sistema | Comprueba las credenciales introducidas e inicia sesión correctamente |
| Resultado esperado | Acceso a la pantalla principal |
| Resultado Obtenido | El sistema inicia con la pantalla principal asignada para el perfil |

Tabla 2 (a) y (b): Escenarios y respuestas del sistema al trámite de solicitud de cita para contratación

| Solicitar cita para Contratación | |
|---|---|
| Escenario 1. El usuario accede al formulario de contratación y completa los campos con datos reales y válidos. | |
| Entradas | Se rellenan todos los campos del formulario con datos válidos y correctos |
| Respuesta del Sistema | El sistema envía el formulario al grupo asignado y muestra un mensaje de envío satisfactorio |
| Resultado esperado | Notificación de envío correcto del sistema |
| Resultado Obtenido | El sistema envió el formulario correctamente, mostró mensaje ¨ El formulario ha sido guardado exitosamente ¨ y aparece reflejado en el menú superior derecho (Peticionario) donde aparecen las 5 últimas peticiones realizadas por el solicitante. |

| Solicitar cita para Contratación | |
|---|---|
| Escenario 2. El usuario accede al formulario de contratación y al completar los campos se introducen caracteres no válidos para el tipo de campo establecido | |
| Entradas | En al menos un campo del formulario de solicitud de contratación se incorporan caracteres no válidos |
| Respuesta del Sistema | El sistema no envía la solicitud y notifica error |
| Resultado esperado | No ser enviada la solicitud y notificar error |
| Resultado Obtenido | El sistema no envía la solicitud y muestra mensaje de error en la esquina inferior derecha donde especifica el campo erróneo. |

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

Los cambios en la política económica del estado cubano y la creciente integración de la ciencia en el panorama industrial del país reclaman acciones nuevas para dar respuesta a estos impactos. El reforzamiento de las alianzas entre las Universidades y las Empresas para su fortalecimiento necesita de respuestas facilitadoras de la gestión universitaria, lo que se traduce en la dinamización de la Gestión de RRHH por la necesidad de mejora y de eficacia de algunos de sus procesos de trámites que desde esta dirección se ejecutan.

Se desarrolló un sistema que se encuentra en consonancia con las directivas establecidas a nivel de país y Universidad que permite dar atención a esas nuevas necesidades, y que al mismo tiempoes perfectible. Este sistema ha incorporado además la posibilidad de tener un mayor seguimiento a los trámites solicitados y evaluar así el funcionamiento del área, propiciando la mejora continua y el entrenamiento sistemático del personal que en él interviene.

Se ejecutaron acciones que permitieron la validación de los nuevos trámites y procesos asumidos demostrándose que se cumplen los requisitos establecidos y está apto para su implementación y utilización. Se escogió precisamente reflejar las actividades a desarrollar para la correcta consideración de los proyectos de Universidad Empresa que hoy se llevan a efecto con vistas a potenciar la ciencia y la innovación en el sector industrial del país.

## References

1. Martínez, J., De León, L. C., García, A. L., & Betancourt, N. (2018). Desarrollo de la informatización en la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas. RevistaMédicaElectrónica, 40(6), 1724-1728.
2. Delgado Dapena, M.; Güemes Esperón, A.M.; Varona de la Paz, J.A.; Bolaños Ruqué, J.L.; Soporte automatizado para la actividad de Relaciones Institucionales en la Cujae; Revista Cubana de Transformación Digital, Vol. 4 • Nro. 1 • enero-marzo 2023
3. Rosario, Y. (2019). Sistema de Inteligencia de Negocio como apoyo a las decisiones en Gestión de capital humano. Ventana Informática 40, 13-30. https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/view/4099
4. Cuesta-Santos, A., Valencia-Rodríguez, Marino; "Capital Humano: Contexto de su gestión. Desafíos para Cuba", Revista Ingeniería Industrial, ISSN1815-5936, Vol. XXXIV, No.2, mayo-agosto, p. 135-145, 2018
5. Rivas Vega, M. A., O´ Connor Núñez, I. y Escobedo Nicot, M. (2024). GDU-expediente: sistema de gestión de información de los expedientes laborales en la Universidad de Oriente. Maestro y Sociedad, (Número Especial Vinculación Sociedad y Educación), 33-40. https://maestroysociedad.uo.edu.cu
6. Bron Fonseca, B., Alonso Tejera, K., Puig Díaz P.M.; "Sistema informático para la gestión de los recursos humanos en instituciones cubanas"; Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, Vol. 10, No. 1, Mes Enero, 2017, ISSN: 2306-2495 | RNPS: 2343, Pág. 1-10; http://publicaciones.uci.cu
7. GLPI (2022). GLPI-project. https://glpi-project.org/
8. Varona de la Paz, J. A.; "Sistema de Gestión de Solicitudes de Acciones Específicas de Colaboración", Trabajo de Diploma en opción al título de Ing. Informático, 2022, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría
9. CITMA, http://redciencia.cu/uploads/CITMA%20INDICACIONES%20METODOLOGICAS%20SPP.pdf]

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# BUENAS PRÁCTICAS EMPRESARIALES EN EL SECTOR ESTATAL A TRAVÉS DE LA GESTIÓN DEL CAPITAL HUMANO

**Tema: La comunicación efectiva como herramienta para la gestión del Capital Humano.**

**Nombre y dos apellidos**, **Ingeniera, Directora de Capital Humano de la Empresa Eléctrica de La Habana, Cuba, sandy@eleclh.une.cu, +5352956970, Autor Ponente**

**Resumen:**

En los tiempos actuales las empresas eléctricas del sector Unión Eléctrica de Cuba, se caracterizan por la operatividad constante aparejado de un gran volumen de tareas a desarrollar, y compromisos que cumplir con los clientes.

Ofrecer un servicio eléctrico con la calidad requerida disminuyendo los índices de afectaciones a la población, implica no solo un gran número de recursos materiales, sino también la gestión acertada del Capital Humano de nuestras empresas sobre la base de una comunicación efectiva, lo anterior sin duda puede conducir al cumplimiento de indicadores de eficiencia en el sector.

Lograr la gestión del capital humano con las herramientas adecuadas de comunicación, resulta un factor clave para el éxito organizacional, es por ellos que el presente trabajo ejemplifica algunas de las buenas prácticas que en relación a este tema se están aplicando dentro de nuestra empresa, que va desde acertados procesos de reclutamiento de personal, capacitación, hasta la gestión del talento humano con estrategias de incentivos e inteligencia emocional.

**Palabras clave:**,CAPITAL, HUMANO, COMUNICACIÓN, EMPRESA, ELÉCTRICA.

## Introducción

La Empresa Eléctrica de la Habana dentro de sus indicadores de eficiencia que van relacionados a los procesos de distribución y comercialización de la energía eléctrica, está llevando muy de la mano la gestión del Capital Humano desde la dirección funcional que atiende el proceso. Es una entidad que cuenta con más de 3700 trabajadores que laboran en todos los municipios de la Habana, es la empresa más compleja del sector eléctrico, no solo por la cantidad de kilómetros de líneas eléctricas y la cantidad de clientes que son más de 858 mil, sino por radicar en la capital y ofrecer un servicio de vital importancia que decide a nivel de país.

El objetivo de este trabajo es exponer las buenas prácticas empresariales que con herramientas de comunicación efectiva están permitiendo hoy la gestión del Capital Humano con resultados tangibles dentro de la entidad.

## Desarrollo

El perfeccionamiento de la Gestión del Capital Humano (GCH) en las empresas estatales cubanas adquiere en la actualidad una elevada importancia, en un entorno profundamente marcado por la migración de fuerza joven calificada y las oportunidades laborales con ofertas salariales atractivas fundamentalmente en el sector privado. Como consecuencia el objetivo de la presente investigación es exponer buenas prácticas de estrategias que nos han permitido el perfeccionamiento de la GCH en la Empresa Eléctrica de La Habana (EELH).

En la práctica empresarial a nivel mundial, el Capital Humano es un elemento estratégico dentro de las empresas. Hoy en día se emplean en el mundo términos como las denominadas “empresas inteligentes” donde aprovechan las herramientas digitales, potencian los cargos de libre localización en cualquier lugar de la ciudad, país o el mundo, contratan trabajadores autónomos que desde su contrato se les deja claro qué deben hacer, cuándo; incorporan en el sistema de

trabajo los principios de comodidad, disponibilidad y movilidad del trabajador, identifican trabajadores con autonomía sobre su patrón laboral, potenciar jóvenes dentro de las empresas que quieran elegir la manera en que van a trabajar, lográndose convertir dichas empresas imán de talentos eso es igual a estabilidad en puestos vitales, entre otros.

En este contexto lasociedad cubanaestá enfrascada en el proceso de perfeccionamiento y actualización de su modelo económico y social,orientada para continuar avanzando de manera irreversible en el proceso de construcción del socialismo, lo señalado, aparece identificado en los documentos rectores del Plan Nacional de Desarrollo Social hasta el 2030 y en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Los referenciados al tema en cuestión en el lineamiento 146 se pronuncia en: “Proyectar la formación de fuerza de trabajo calificada en correspondencia con el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social, a mediano y largo plazos”. PCC, 2017. Para alcanzar tales propósitos en un corto período de tiempo se requiere la utilización y aprovechamiento de los recursos humanos, incentivándolos a la máxima productividad y al compromiso para así encausar las políticas, estrategias y programas de desarrollo económico y social de la nación.

La Empresa Eléctrica de La Habana tiene como misión: Brindar un servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica con calidad, eficiencia y profesionalidad, que garantice la satisfacción y el bienestar social de los clientes, sustentado en la capacitación, motivación permanente, valores personales y organizacionales, asegurando una gestión acertada de la protección de los recursos, cumpliendo con los principios básicos de seguridad y salud del trabajo y la conservación del medio ambiente.

Actualmente en la entidad urge perfeccionar todo lo relacionado con la GCH que va desde el completamiento de los puestos claves y decisorios, hasta maximizar estrategias de incentivos para la atención a los trabajadores, hoy la empresa cuenta con 3726 trabajadores de una plantilla de 4200, solo el 33% son jóvenes, y

técnicos superior hay 430, adicionalmente la fluctuación constante del personal técnico especializado está afectando el desarrollo de procesos vitales dentro de la organización.

La dirección funcional que atiende el proceso de Capital Humano dentro de la EELH trabaja sobre cinco líneas fundamentales:Seguridad y Salud del Trabajo, Administración del personal, Capacitación, Organización del Trabajo(OTS), Atención al Hombre.

La gestión de estos cinco ejes con la regulación y el control efectivo, sin duda durante los últimos cinco meses han permitido no solo transformar la realidad de los indicadores de: Accidentalidad, Salario Medio, Promedio de Trabajadores, Completamiento de los puestos claves y decisorios, Certificación de las competencias laborales establecidas para los puestos de trabajo, Productividad, Satisfacción del cliente interno.

Dentro de las estrategias de la alta dirección de la empresa para transformar este proceso, estuvo el cambio del directivo principal de dicha dirección quien ya llevaba diez años en la misma área, incorporando al puesto a una joven directiva de la propia empresa con experiencia en la dirección de áreas como: Comunicación Institucional, Atención al Cliente, además de que dentro de su ruta promocional está haber dirigido una de las Unidades Básicas Empresariales(UEBs)municipales, de las doce con que cuenta la empresa.

La nueva incorporación trajo consigo la implantación mensual de sistemas de trabajo que van desde:

- Planes de acogida para todo el personal que se incorpore a la organización.
- Comités de Capital Humano.
- Comité de Seguridad y Salud del Trabajo.
- Intercambios de Trabajo con el Consejo Técnico Asesor, Jefes de brigada, Jóvenes talentos, Ingenieros principales por procesos.

- Reunión de activistas de la Seguridad y Salud el Trabajo.
- Reunión de operarios de la guardia eléctrica en cada UEB municipal, Días de la Técnica, y encuentros interoficios.
- Ferias de empleo mensual en las propias instalaciones y lugares céntricos.
- Restructuración del programa de curso de la escuela de capacitación.
- Creación de un grupo de Formación y Desarrollo.
- Mejoras a los sistemas de pago dentro de la empresa con pagos adicionales por conceptos de mejores resultados en la productividad de los diferentes procesos.
- Actividades de esparcimiento que permitan el intercambio de trabajadores de las diferentes áreas.
- Ferias con venta de productos para los trabajadores.
- Vinculación de la familia con la empresa.
- Seguimiento a lo cumpleaños del día, atención a jubilados, accidentados y enfermos.

**Conclusiones**

Lograr ver la Gestión del Capital Humano como herramienta clave para el éxito organizacional debe ir más allá de lo aplicable dentro del sector eléctrico del país. Sin duda nuestra empresa marca un buen ritmo en este proceso, que es de mejora continua donde la fórmula no es la misma para aplicar en cada empresa, aunque si sirve de base para las transformaciones de entornos que se necesitan hoy en muchas de nuestras entidades. La inteligencia emocional y las estrategias de incentivos mueven la aguja hoy en el sector estatal.

**Referencias bibliográficas**


- Puentes, Victor, Los valores humanos en la formación empresarial, La Habana, Cuba, 2000.
- Goleman, Daniel, La inteligencia emocional en la empresa, España, 1999.

- Michaelson, Gerald A., Sun TZU El arte de la Guerra par Directivo, Ediciones Gestión 2000, Barcelona, 2000.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Rediseño del proceso de comercialización de servicios *científico-técnicos con implementación de ERP Odoo, en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Cujae.*

Primer Autor (Ing. Daniel García Martínez), Segundo Autor (Ing. Frank Alejandro Terrado Rosales, *Tercer Autor* (*Ing. Sajay Souchay Alzugaray), Cuarto Autor (Ing. Janett Rodríguez Acosta),* Quinto Autor *(***Dra. Vania García Fenton),** Sexto Autor **(***Dr. C Rogej A. Marrero Hernández).*

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba.

e-mail: danielgarmar@icloud.com

**Resumen:**

La investigación tiene como objetivo, proponer mejoras a los subprocesos de captación de la demanda, elaboración de la oferta y la ejecución de los servicios pertenecientes al proceso comercialización por ser los que se realizan en la misma, esto debido a que la facultad presenta un incumpliendo del plan económico global de los últimos años, entre las principales causas se encuentra la de no poseer una cartera de productos, falta de personal y no explotar todas las capacidades que pueden derivarse de este proceso.

**Palabras Claves: Proceso, ERP, Integrado, Informatización, Rediseño.**

**Abstact:**

The research aims to propose improvements to the sub-processes of capturing demand, elaboration of the offer and the execution of the services belonging to the marketing process because they are those that are carried out in it, this is because the faculty presents a breach of the global economic plan of recent years, among the main causes this, not having a portfolio of products, lack of staff and not exploiting all the capabilities that can derive from this process.

**Keywords:** Process, ERP, Integrated, Computerization, Redesign.

## Introducción

**Objetivo general de esta investigación:**

Proponer mejoras a los subprocesos de captación de la demanda, elaboración de la oferta y la ejecución de los servicios pertenecientes al proceso de gestión comercial.

**Objetivos específicos:**

**1.** Realizar un análisis bibliográfico sobre la comercialización de servicios científico-técnicos universitarios y otros conceptos asociados.

**2.** Diagnosticar el estado actual de la comercialización de productos científico-técnicos en la Facultad de Ingenieria Industrial.

**3.** Proponer mejoras al diseño de los subprocesos pertenecientes al proceso de comercialización.

**Métodos:**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizan métodos teóricos, empíricos y estadísticos. Entre los teóricos, se utiliza el análisis y síntesis de toda la información revisada en la literatura especializada, la inducción–deducción utilizada tanto para la realización del marco teórico de la investigación como para diagnosticar la situación actual de la comercialización de productos de la ciencia en la Facultad de Ingeniería Industrial, y la modelación para la elaboración de la propuesta de diseño del proceso de gestión comercial de productos de la ciencia.

Como métodos empíricos, se utilizan las encuestas, entrevistas, observación directa, consulta de la documentación técnica y los informes de reportes de los resultados; todos estos métodos se utilizan para el diagnóstico y la propuesta de diseño del proceso de gestión comercial. Los métodos estadísticos matemáticos, se utilizan para analizar datos y resultados en cada una de las etapas de la investigación.

## 1. Resultados.

### Caracterización de la Facultad de Ingeniería Industrial.

A partir de 1959 con el triunfo de la Revolución se inicia la potenciación de la formación de ingenieros y arquitectos a tono con el desarrollo económico y social que se desencadena en el país. En 1964 se inauguró por Fidel Castro la Ciudad Universitaria “José A. Echeverría (CUJAE) (como Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana donde se concentra la formación de ingeniería y arquitectura de esta última. En el 1976 se convierte en una universidad independiente bajo la denominación de Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría” que se especializa en la formación en ingeniería y arquitectura.

En la actualidad, es conocida como la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) manteniendo las siglas por las que popularmente se le conocía, la misma cuenta con cinco (5) procesos estratégicos, tres (3) claves y siete (7) de apoyo, en estos últimos se encuentra la contratación/comercialización en el cual participan las nueve (9) facultades que conforman la universidad, este proceso está definido a nivel central pero no así a nivel de facultad lo que crea un grupo de deficiencias en dicho proceso en los sus cimientos.

En la presente investigación se estará analizando de qué manera ocurre el proceso de comercialización de servicios científico técnicos en la facultad de Ingeniería Industrial (FII). Los procesos estratégicos se muestran en el mapa de proceso de la facultad, bajo el nombre de Relaciones Institucionales para ello comenzaremos con una descripción de la facultad.

La **misión** definida es: La facultad de Ingeniería Industrial de la CUJAE, mediante la formación continua e integral, la universalización de la enseñanza y la actividad científico-técnica prepara profesionales de excelencia contribuyendo a la transformación e integración sinérgica del Sistema de Dirección y Gestión para el desarrollo sostenible de la sociedad socialista cubana con liderazgo nacional y prestigio internacional en el campo de la Ingeniería Industrial.

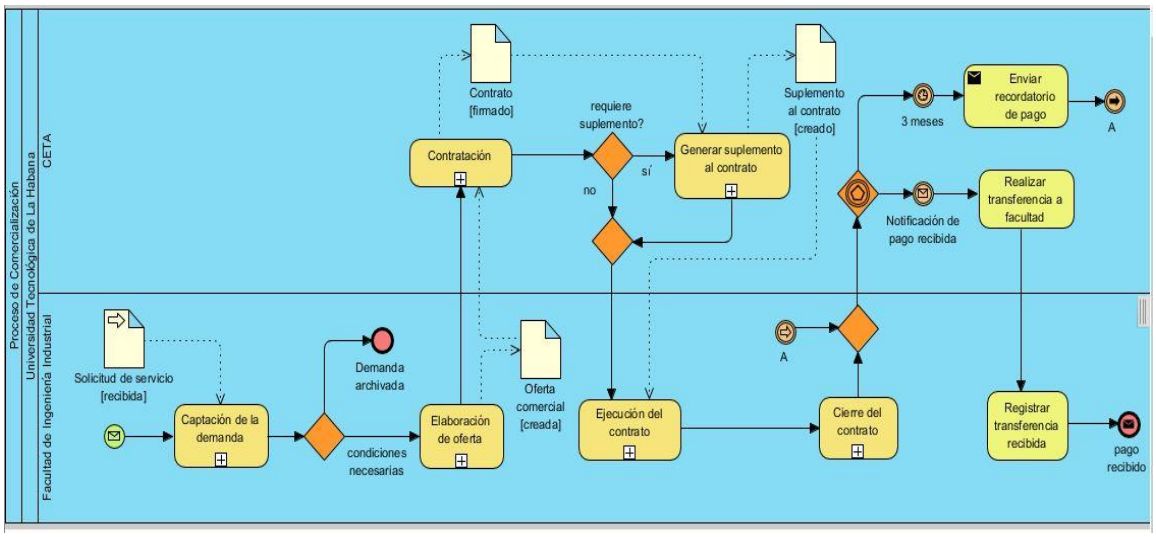
Su **visión** es ser (…) baluarte de la Revolución por su participación activa en el desarrollo de nuestra sociedad socialista y de otros pueblos; modelo de excelencia para Latinoamérica y profesionalidad de su claustro, estudiantes y egresados, el impacto de sus resultados científicos técnicos, la universalización

de su enseñanza y la formación continua de profesionales; que desarrolla sus procesos de gestión con gran integración, informatización y competencia.

**Caracterización general del proceso de comercialización de los servicios científico técnico de la Facultad de Ingeniería Industrial.**

Actualmente la comercialización de los servicios científico técnicos en la facultad comienzan con la captación de la demanda como se muestra en ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., Inicialmente las necesidades de los clientes quedan registradas en un banco de problemas, el cual brinda facilidades para que el profesor elabore el servicio a realizar. Con la necesidad presentada y teniendo en cuenta el banco de problemas, así como la opinión del profesor se elabora una oferta, apoyada en una ficha técnica. Posteriormente se procede a la contratación, de no realizarse esta se termina el proceso, si se acepta su realización se prepara el contrato con la creación de un suplemento. El suplemento se realiza cada tres meses sumando todos los contratos realizados en este periodo.

Una vez listo el contrato, tiene lugar la ejecución del servicio científico técnico y su posterior cierre. Por último, se realiza la transferencia del dinero a la o las facultades involucradas, así como a los ejecutores del contrato concluyendo el proceso.




**Deficiencias encontradas:**

Se realiza un análisis de los ingresos de la Facultad de Industrial por concepto de comercialización del año anterior, en el Gráfico 1 se observan a simple vista que el plan en mlc no llegan a cumplirse lo que conlleva al no cumplimiento del plan económico global, este se calcula sumando los ingresos en moneda nacional (mn) más los ingresos en mlc por $24, en este año la facultad ingreso en total $21.412.682,5 lo que solo representa un 79% del plan.




| | TOTAL | MLC | CUP |
|---|---|---|---|
| PLAN | 26940000 | 14400000 | 12540000 |
| REAL | 21412682,5 | 8004154,1 | 13408528,4 |

*Gráfico 1:Ventas acumuladas del año 2022. Fuente: Vicedecanato Económico de Ingeniería Industrial.*

Se continua con el análisis de los ingresos de año 2023, solo se consiguieron los datos hasta el mes de junio, se muestra la relación entre el plan y lo real en el Gráfico 2.



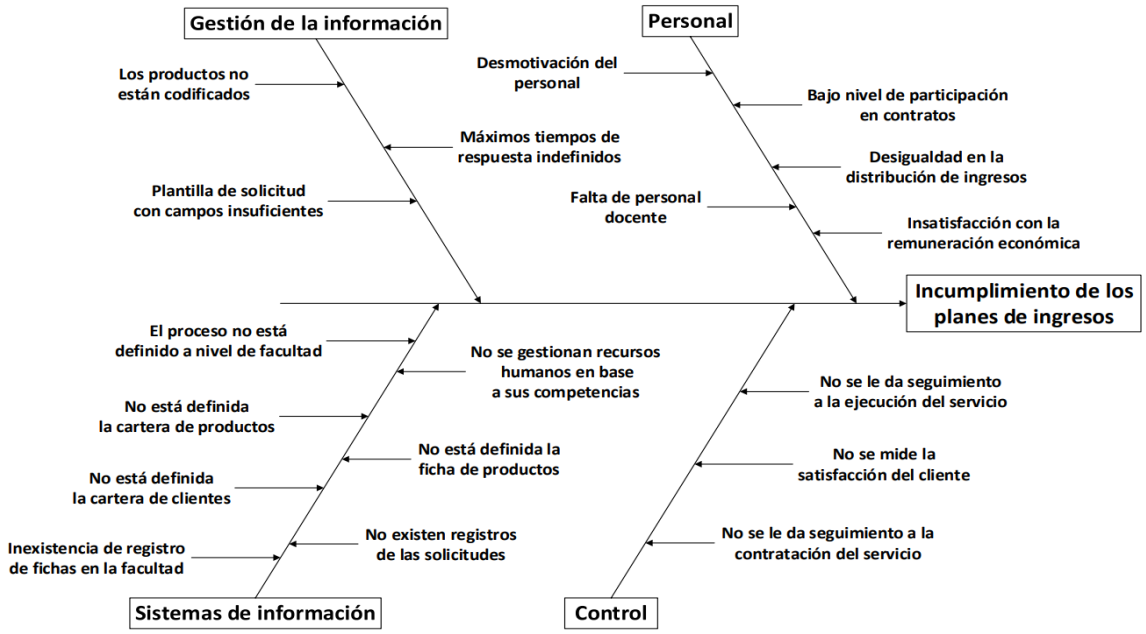

| | TOTAL | MLC | CUP |
|---|---|---|---|
| PLAN | 5302520 | 960000 | 4342520 |
| REAL Junio | 1453173,6 | 0 | 1453173,6 |

*Gráfico 2:Ventas acumuladas del año 2023. Fuente: Vicedecanato Económico de Ingeniería Industrial.*

Se proyecta que para este año no se cumpla el plan económico ya que en el primer semestre solo se logró contratar el 27% del plan total. El incumplimiento del plan económico del proceso de comercialización de los servicios científico técnicos de la Facultad de Ingeniería Industrial es el efecto percibido como evidencia de las deficiencias del proceso. Para comprender las causas de este incumplimiento, se analizaron las actividades asociadas a los tres subprocesos, ya que son en los que la facultad tiene una fuerte participación. Estos subprocesos son la captación de la demanda, la elaboración de la oferta y la ejecución de los servicios.

**Según el método de los expertos, análisis crítico, análisis documental, de indicadores entre otros se detectaron las siguientes causas:**

1. El proceso no está concebido a nivel de facultad.
2. No existe una cartera de productos.
3. No se gestiona a los recursos en base a sus conocimientos
4. Baja participación por parte del personal docente
5. No existe un registro de solicitudes
6. La plantilla de solicitud no abarca todos los campos necesarios.
7. Carece de un registro de incidencias en la ejecución de los servicios
8. No se mide el nivel de satisfacción del cliente.
9. Ausencia de una cartera de clientes
10. No se le da seguimiento a la solicitud luego de la elaboración de la ficha.
11. Los productos no están codificados.
12. Inexistencia de registro de fichas de producto en la facultad
13. Desmotivación del personal docente
14. Descontento con la remuneración económica
15. Mala gestión comercial del proceso de comercialización




**Mejora al proceso de proceso de comercialización de servicios científico técnicos.**

Se toma como base para la implementación del Odoo la metodología expuesta por (Teddy Siswanto 2023) que consta de seis (6) etapas, de esas etapas se utilizaran para la implementación del Odoo en la facultad de Ingeniería Industrial las siguientes:

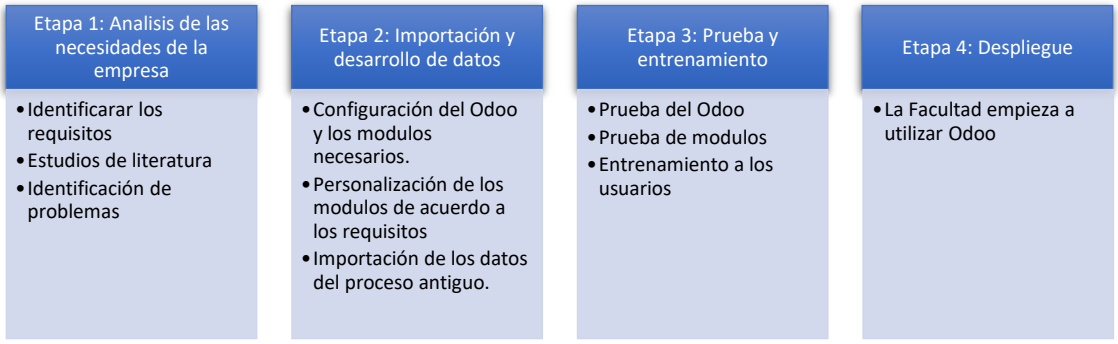



*Ilustración 1: Modelo propuesto para la implementación del ERP Odoo. Fuente: Elaboración Propia.*

La etapa 1 se realizó en el capítulo uno y dos donde se obtuvieron los problemas que presenta el proceso de comercialización de servicios científico técnicos de la facultad de ingeniería Industrial, por esto se continua con la etapa 2 y dentro de la etapa dos la identificación de los módulos necesarios y sus funcionalidades, Esto implica identificar los procesos y operaciones que se llevarán a cabo en el

sistema, como el manejo de inventario, ventas, compras, contabilidad, recursos humanos, entre otros. Una vez identificados los módulos requeridos, se procede a la instalación y configuración de cada uno de ellos para asegurar que cumplan con los requisitos del negocio. Este enfoque garantiza que Odoo esté adaptado a las necesidades particulares de la empresa, lo que facilita la gestión eficiente de sus operaciones y contribuye al éxito a largo plazo.

| No | Problemática | Requerimiento | Módulos | Funcionalidad |
|---|---|---|---|---|
| **2** | No hay definida una cartera de productos | Crear una cartera de productos | Inventario | Productos |
| **3** | No se gestiona el personal por su capacidad para realizar los servicios | Identificar las capacidades de cada docente para la toma de decisiones | Empleados | Capacidades |
| **5** | No existe un registro de solicitudes | Crear el registro de solicitudes | CRM, sitio web | Registro funcionalidades |
| **6** | No tienen una planilla funcional para recibir la información de la solicitud | Elaborar una planilla de solicitud de servicios | Sitio web + CRM | Registro de solicitud |
| **7** | No se lleva un control de incidencias en la ejecución de los servicios | Crear un registro de incidencias | Proyectos | notas |
| **8** | No se mide el nivel de satisfacción de los clientes | Medir la satisfacción del cliente con los proyectos | proyectos | Calificación de clientes |
| **9** | No hay definida una Cartera de clientes | Crear cartera de clientes | ventas | Registro de clientes |
| **10** | No se les da seguimiento a las solicitudes | Establecer un mecanismo de seguimiento a las solicitudes. | Ventas y proyectos | Tablero CRM<br>Informes de CRM |
| **11** | Los productos no están codificados | Codificar los productos | Productos | Referencia de producto |
| **12** | Inexistencia de registro de fichas en la facultad | Crear registro de solicitudes. | inventario | Variantes de productos |
| **15** | Mala gestión comercial del proceso de comercialización | Adoptar un plan de comercialización, marketing o campaña de divulgación | Sitio Web | |
| **16** | No están definidos los tiempos máximos de respuesta | Definir los tiempos máximos de respuesta | CRM | Tablero |

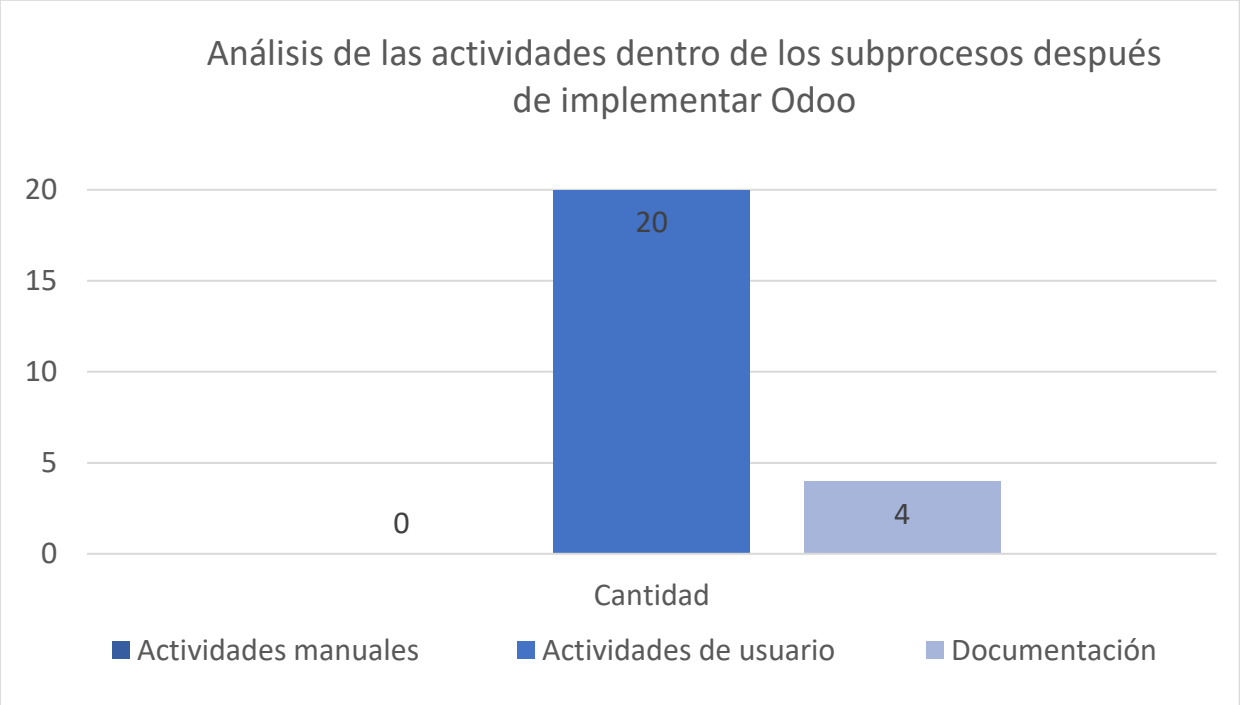
*Tabla 1: Levantamiento de los requerimientos, módulos y funcionalidades necesarias para la configuración del Odoo. Fuente: Elaboración Propia*

**Análisis del costo de oportunidad del ERP "Odoo" en su versión community.**

De la empresa Datys se obtiene una oferta por el servicio conjunto de mantenimiento de software y hardware además de un software de ciberseguridad, los tiempos de actividad se obtuvieron con entrevista directa con el decano el Dr. C Ing Yuniel Bolaño, el jefe de departamento el Dr. C Ing Igor Lopes, las adiestrados la Ing. Roxana Alemán y la Ing. Sheila Pedroso.

El análisis de costo de oportunidad sería el costo de no implementar la mejor alternativa posible **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, este se haya restándole a la ganancia de la mejor alternativa la ganancia de la alternativa elegida, en este caso el costo de no implementar Odoo Community sería de $ 63148 el primer año y a partir del segundo seria 63 731 $/año.

**Impacto de la implementación del Odoo Community en el proceso de comercialización**




- Se disminuyen las actividades manuales
- Se automatiza un total 17 actividades
- Se eliminan 3 actividades al realizarlas Odoo de forma automática

**Conclusiones**

1. Con la recuperación bibliográfica se evidenció que la comercialización de productos científico técnicos es un tema altamente investigado en los últimos 7 años, en este periodo fueron publicados el 85% de los documentos analizados.
2. En el diagnóstico realizado se evidenció que no se cumplen los planes de ingresos económicos de la facultad, eso debido a 18 problemas en los que resaltan, el proceso no está definido a nivel de facultad como problema más incidente, no hay definida una cartera de productos y no se gestionan los recursos en base a sus capacidades.
3. Se propone la implementación del sistema ERP Odoo como propuesta de solución a los problemas encontrados, esta resulta ser la más rentable en términos económicos. Para implementar dicho sistema, se diseñó una metodología que consta de cuatro (4) etapas fundamentales, con esta solución se resuelven todos los problemas de una forma integrada.

**Referencias:**

1. Aguirre Díaz, A. (2016). *Modelo de gestión comercial estratégico para el centro de llamadas de Plasticaucho Industrial S.A.* (Título de Magister), Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, Ecuador.
2. Albahari, A., Klofsten, M., & Rubio Romero, J. (2018). Science and Technology Parks: a study of value creation for park tenants. *Journal of Technology Transfer, 44*, 1256–1272. doi:https://doi.org/10.1007/s10961-018-9661-9
3. Alonso Becerra, A., Llanes Santiago, O., Michelena Fernández, E., Fleitas Triana, M., & Serra Toledo, R. (2017). Gestión de la ciencia en la universidad: caso de estudio CUJAE. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería,, 25*.
4. Bas, N., Jabonero, M., Capilla, A., Scasso, L., Albornoz, M., Barrere, R., . . . Sokil, J. (2020). Indicadores de vinculación de las universidades iberoamericanas con su entorno: Experiencias acumuladas y nuevos desafíos. Argentina: Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS) de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI).
5. Bellucci, A., & Pennacchio, L. (2014). University Knowledge and Firm Innovation – Evidence from European Countries. *IAW Discussion Papers*.

6. Bernal Rodríguez, J., & Ramos Iglesias, L. (2012). Procedimiento para el estudio de la organización del trabajo en empresas cubanas. *Revista Científica Avanzada, 15*.
7. Castrejón Mata, C., & Espinosa Mosqueda, R. (2012). Modelo de comercialización e centros de investigación en el Estado de Guanajuao, México. *E&A IIES, 3*.
8. Chang, X., Chen, Q., & Fong, P. (2016). Scientific disclosure and commercialization mode selection for university technology transfer. *Science and Public Policy,* 1-17.
9. Consuelo Bravo, C., Hernández Nariño, A., Negrin Sosa, E., Alexander Palacios, W., Sarmentero Bon, I., & Félix López, M. (2020). Mejora del desempeño de empresas comercializadoras basado en el comportamiento organizacional *Ingeniería Industrial, XLI,* 1-19.

**Sobre los autores:**

Ing. Daniel García Martínez

Ingeniero Industrial, con categoría docente de Instructor. Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae). Correo Electrónico: danielgarmar@icloud.com

Ing. Frank Alejandro Terrado Rosales

Ingeniero Industrial, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Correo Electrónico: frankterrado540@gmail.com

Dra. Vania García Fenton

Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Miembro del Comité Académico del Diplomado de Dirección y Gestión Empresarial. Jefa de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Profesora principal del tercer año de la carrera Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: vania@ind.cujae.edu.cu

Dr. Rogej A. Marrero Hernández

Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Vicedecano de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba.

Ing. Janett Rodríguez Acosta

Ingeniera Industrial, categoría docente de Instructor, profesora de Ingeniería de Métodos y Tiempos en la Facultad de Ingeniería. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba.

*Ing. Sajay Souchay Alzugaray*

Ingeniera Industrial, Profesora Auxiliar, Jefa de departamento de informatica empresarial de la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba. correo electrónico: ssouchaya@cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# "Inteligencia competitiva enlaProducción de Tabacos. Un Caso de Estudioenla Industria Cubana"

**Primer Autor (Estudiante Ing Industrial Melissa Martínez Taboada)[1],Segundo Autor (Estudiante Ing Industrial Javier Carballo Pérez)[2], Tercer Autor (Estudiante Ing Industrial Karina PeñaPargas)[3]**

Tutor: Dra. Ing. Vania García Fenton

[1,2,3]Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. Código Postal: 24150. Tel (537) 260-0641

Código ORCID: [1]https://orcid.org/0009-0009-7323-8435, [2]https://orcid.org/0009-0000-0908-136X, [3]https://orcid.org/0009-0001-9432-2662

**RESUMEN**

El artículo examina el proceso productivo de tabacos en una empresa de La Habana, identificando problemas de recursos y planificación que afectaban la producción. Se usaron técnicas como BAFI, DAFO y el Método General de Solución de Problemas para detectar debilidades. Aplicando Lean Manufacturing y muestreos de trabajo, se encontraron ineficiencias. La simulación en Arena mostró que automatizar el etiquetado y reubicar trabajadores mejoró la eficiencia. El estudio concluye que estas herramientas optimizan la gestión de recursos y aumentan la competitividad

**Palabras clave:** Competitividad, Lean Manufacturing, Productividad, Tabaco

**ABSTRACT**

The article examines the tobacco production process in a company in Havana, identifying resource and planning problems that affected production. Techniques such as BAFI, SWOT and the General Problem Solving Method were used to detect weaknesses. Applying Lean Manufacturing and work sampling, inefficiencies were found. Simulation in Arena showed that automating labeling and relocating workers improved efficiency. The study concludes that these tools optimize resource management and increase competitiveness

**Keywords:**Competitiveness, Lean Manufacturing, Productivity, Tobacco

## 1. INTRODUCCIÓN

En un entorno empresarial globalizado, la inteligencia competitiva es crucial para obtener y mantener ventajas estratégicas. Ayuda a las empresas a anticipar tendencias, identificar oportunidades y mitigar riesgos. En la industria del tabaco, con alta competencia y regulaciones estrictas, estas estrategias

Este artículo analiza un estudio en una empresa de tabaco mecanizado en La Habana, donde se aplican técnicas de inteligencia competitiva. A través de un diagnóstico integral, se evalúan las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (DAFO), junto con análisis de carga, capacidad y efectividad de máquinas, usando software Arena para optimizar el proceso.

Los hallazgos identifican ineficiencias críticas y cuellos de botella, proponiendo soluciones que mejoran significativamente la eficiencia operativa e integran la inteligencia competitiva con prácticas avanzadas de gestión y tecnología.

### Antecedentes del problema

Se determinaron a través de un estudio de organización del trabajo realizado durante las prácticas laborales de los estudiantes en la entidad, en la misma se observaba como trabajadores de oficina debian apoyar en las labores de producción para lograr el cumplimiento del plan de producción.

### Objetivo general de esta investigación

Proponer soluciones que permitan el cumplimiento del plan de producción de la empresa utilizando de forma mas eficiente los recursos disponibles

**Objetivos específicos**

Utilizar técnicas y herramientas estudiadas en la carrera.
Realizar un diagnóstico del proceso
Demostrar el aumento de la eficiencia resultado de las soluciones propuestas mediante simulaciones.

**Métodos**

Para abordar el primer objetivo de la investigación, detallando definiciones, variables, procedimientos y metodologías. Se siguió el "Método General de Solución de Problemas" (León, 2021), a incluir las primeras cinco etapas: definir el problema, identificar causas, generar y evaluar alternativas, y seleccionar la mejor opción. Para identificar problemas, se aplicó una matriz DAFO, que define estrategias basadas en factores internos y externos (Clavijo, 2023).
Un estudio de tiempos y métodos se realizó para simplificar procesos, reducir costos y tiempos, y mejorar la eficiencia (Andrade et al., 2019). El Diagrama OTIDA identificó cuellos de botella y se emplearon técnicas como muestreo estadístico y cronometraje para evaluar y optimizar el trabajo (Marsán, 2011). Entrevistas y observación continua proporcionanon información detallada (Bernal & Ramos, 2012).
Se utilizó el diagrama de causa-efecto para analizar causas del problema y un diagrama de actividades múltiples para visualizar el flujo y organización del trabajo. La filosofía Lean, junto con modelos Just in time y Just in secuencia, fue propuesta para minimizar desperdicios, mejorar flexibilidad y reducir tiempos de entrega (Lehyani&Zouari, 2023).

## 2. RESULTADOS

**Caracterización de la entidad**

La empresa produce tabaco mecanizado para mercados nacionales e internacionales, ubicada estratégicamente para acceder a materia prima de alta calidad. Su estructura organizativa es sólida, con departamentos bien definidos, aunque con oportunidades para mejorar la comunicación interdepartamental y la eficiencia operativa.

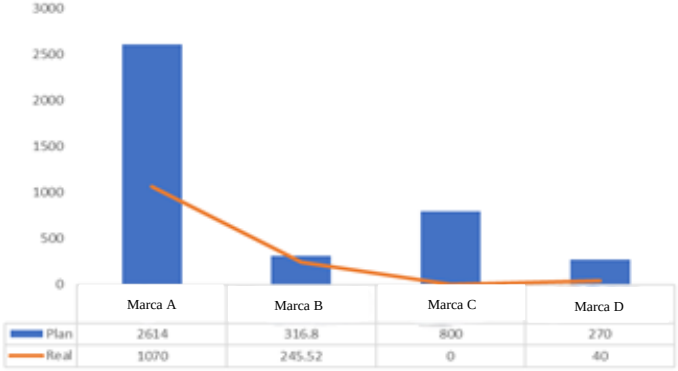
**Análisis competitivo**

La misión y visión de la empresa, centradas en la calidad y el crecimiento sostenible, necesitan integrar mejor los valores clave. Se recomienda actualizarlas para incluir un enfoque en sostenibilidad y responsabilidad social. Los procesos estratégicos, operativos y de soporte están bien definidos, pero la adopción de tecnologías avanzadas podría mejorar la coordinación y eficiencia. Un análisis DAFO identifica fortalezas en la calidad del producto y la reputación, pero también debilidades en el espacio físico y el uso de tecnologías. Existen oportunidades en la expansión de mercados y la digitalización, mientras que las amenazas principales son la competencia y las fluctuaciones económicas. El análisis BAFI indica que la empresa está en buena posición para aprovechar sus ventajas competitivas.

**Análisis de Debilidades**

Los principales problemas son la falta de mano de obra, limitaciones espaciales, dependencia de proveedores extranjeros y falta de tecnologías modernas. Estos factores impactan negativamente en la productividad, eficiencia, tiempos de producción y calidad del producto, como se refleja en el cumplimiento de los planes de producción.

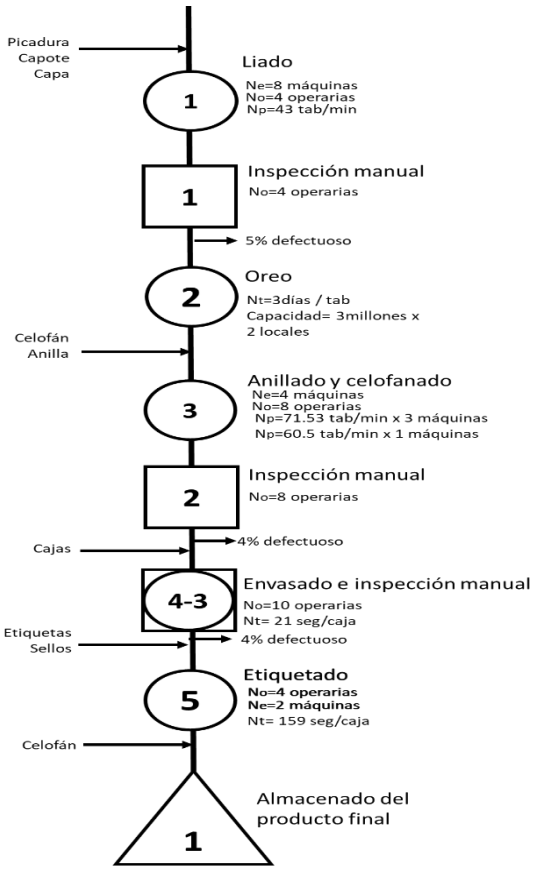
**Gráfico 1: Cumplimientodelplan de producciónmensualdel tabaco.*Elaboraciónpropia***



Se presenta un diagrama de barras que representa elcumplimientodelplan de producciónmensualdel tabaco en formato “1” a fecha del 30/11/23. El análisisreveló que el índice de cumplimiento de entrega de tabacos en formato “1”fue inferior al 35% de lo planificado ennoviembre de 2023, evidenciando unincumplimiento significativo. Enrespuesta, se han identificado causas subyacentes, incluyendolautilización de la jornada laboral, laprobabilidad de fallosenlas máquinas, y laefectividad total de las máquinas, mediante técnicas de normación y estudios de balance de carga.

**Análisisdelproceso de Fabricacióndel Tabaco en formato “1”**

**Figura 1: OTIDA delproceso de fabricacióndel tabaco. Elaboraciónpropia**




El proceso de producciónde tabaco en formato “1”incluyelas etapas de torcido, oreo, anillado y envasado. Ocho equipos automatizados enelTaller de Torcido fabricanel tabaco rústico, conunoperario por cada das máquinas. Luego, el tabaco se traslada a laCámara de Oreo para eliminar humedad y asegurarlacalidad. Enel área de envasado, el tabaco se anilla, celofana y se inspecciona. Enlasección de envasado manual, losoperariosusantranspaletas para llenar y etiquetar cajones, aunquela falta de etiquetadoras manualeshaforzadolaredistribución de tareas al personal de oficina. La empresa compra y almacena envases prediseñados, adaptándolossegúnlasnecesidadesdel cliente. Se cronometra elanillado y celofanado utilizando simulaciónen Arena para identificar ineficiencias y cuellos de botella, resumido enel OTIDA de la figura 1.

**Balance de Carga y Capacidad**

Se realizóun balance de carga y capacidaddelproceso de producción usando normas de producción previas. Los cálculos mostraron que las capacidades realesvariaban significativamente respecto a los planes de noviembre. Lasoperacionesmanuales (Operación 4 y 5) no fueroncuellos de botella, pero laOperación 3, conun 4% de defectos, fueel principal limitante. La baja capacidadenOperación 3 y una alta tasa de defectosenlaInspección 2 afectaron negativamente elcumplimientodelplan, como se muestraenla tabla 1.

**Tabla 1: Capacidadmensual de producción contra elplan. Elaboraciónpropia**

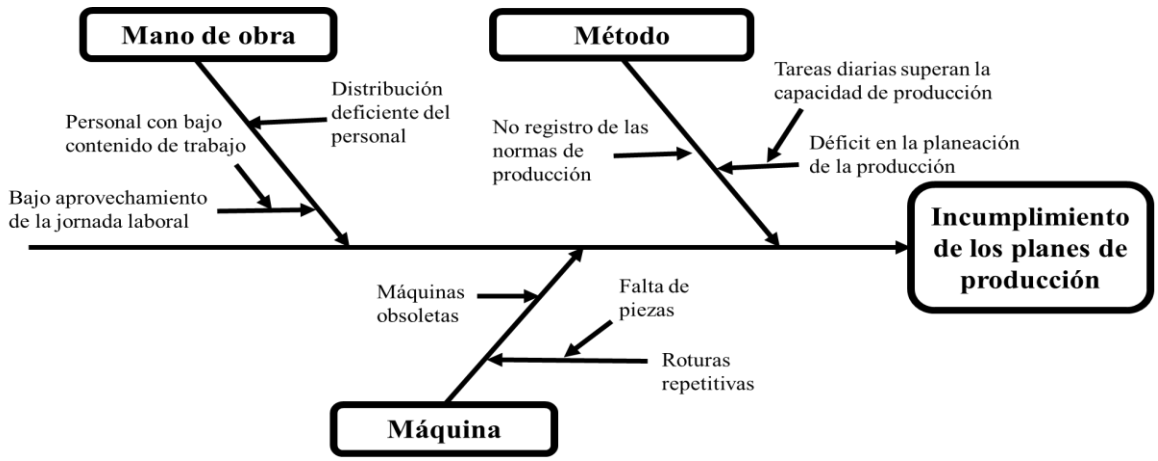
| Actividad | CT(Tabacos/mes) | PlanNov (tab/mes) |
|---|---|---|
| Operación 1 | 3962880 | 4486845 |
| Operación 3 | 2772907 | 4273185 |
| Operación 4 | 1170000 | 4108832 |
| Operación 5 | 61811 | 3950800 |

El análisis de lacapacidad total encomparaciónconelplan de producción de noviembrereveló una brecha significativa. Aunque se planificólaproducción de 3,950,800 tabacos en formato "1", lacapacidad real estimada (ver cuadro 1) mostródeficiencias, lo que explica el bajo cumplimientodelplan. Se recomienda redistribuir recursos, incluyendoel traslado temporal de personal administrativo a tareas de envasado y etiquetado, para mejorarlaeficiencia operativa y abordar lasdeficiencias detectadas.

**Estimación de laproporcióndeltiempoen que las máquinas de anillado y celofanado están rotas**

Se realizó una estimación de lainactividad de las máquinas de anillado y celofanado mediante unmuestreo de la jornada laboral, conun 95% de confianza y unerror máximo permisibledel 10%. El estudiorevelóun alto índice de rotura en estas máquinas, con una probabilidad de interrupción que supera el 20%, lo que indica unnivel significativo de inactividad. Aunqueelerrorpuede ser elevado debido al tamañoreducido de lamuestra, los resultados subrayanlanecesidad urgente de tomar medidas correctivas para reducirfallas y mejorarlaeficiencia de producción. Lasdeficiencias que causanelincumplimiento de los planes de producción se resumen y esquematizanenel diagrama causa-efecto presentado enla figura 3

**Figura 2: Diagrama causa-efecto sobre lasdeficiencias encontradas. Elaboraciónpropia**



**Propuestas de soluciones**

A continuación, se presentan alternativas de solución basadas en la filosofía Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia de los recursos disponibles a través de la reorganización y rediseño del proceso, considerando la llegada oportuna de suministros de envases y las capacidades de diseño calculadas en el capítulo anterior.

1. **Redistribución de los recursos humanos de la empresa**

- **Utilización de la capacidad de diseño calculada**: Se usará esta capacidad como referencia para ajustar los recursos necesarios en cada operación y establecer un nuevo plan de producción.

- **Eliminación de la operación de etiquetado (Operación 5):** Se propone adquirir una impresora digital de cartón corrugado de una sola pasada, marca Subliestar, para imprimir directamente las etiquetas en las cajas de tabaco. El costo de la impresora varía entre $5,000 y $8,000 dólares, aproximadamente 875,000 pesos cubanos. Esta inversión es menor al costo de contratar el personal adicional necesario para etiquetar manualmente. El salario base de las operarias es de unos 7,000 pesos mensuales.El cuadro 2 presenta las necesidades del nuevo plan y su comparación con el plan actual de la empresa

**Tabla 2:Comparación de necesidadesegúnelpunto limitante.** Elaboraciónpropia

| **Operación** | **Operariosactuales** | **Plan de la empresa** | **Operariosnecesarios** | **Nuevo PlanSegún PL** | **Operariosnecesarios** |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 4 | 4486844 | 5 | 2911552 | 4 |
| **3** | 8 | 4273185 | 10 | 2772907 | 6 |
| **4** | 10 | 4108832 | 30 | 2661990 | 22 |
| **5** | 4 | 3950800 | 223 | | |

Como se observa se elimina laoperación número 5 enelnuevoplansegúnelpunto limitante y la compra de laimpresorapropuesta

- **Estimación de lasnecesidades de mano de obra enlaoperación 3 "Anillado y celofanado" mediante undiagrama de actividadesmúltiples:**El análisis mostró que los intervalos de trabajo de la operaria 2 son cortos y dispersos. Se propone que cada dos máquinas de anillado y celofanado sean operadas por 3 operarias. Con 11 máquinas en total (4 para formato "1"), se reduciría el personal de 22 a 16 operarios.
- **Reubicación de operarias**: Se sugiere trasladar las operarias sobrantes de las operaciones 3 y 5 a la operación 4 "Envasado". Esto aumentará el número de operarios disponibles para la operación 4 a 20, incorporando las 4 operarias de envasado y las 6 provenientes de las 11 maquinas en anillado y celofanado total que posee la empresa.El cuadro 3 presenta la propuesta de redistribución de operarias en el proceso de producción de tabacos en formato "1".

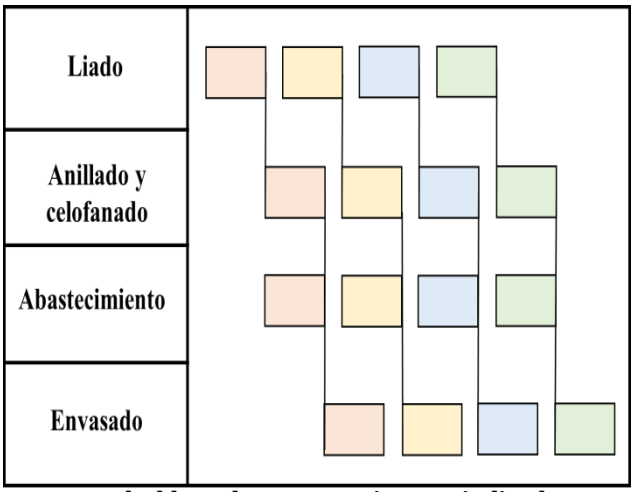
**Tabla 3: Propuesta de redistribución de operarios. Elaboraciónpropia**

| Operación | Obrerosactuales | Nuevo PlanSegún PL | Obrerosnecesarios | Redistribución |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 4 | 2911552 | 4 | 4 |
| **3** | 8 | 2772907 | 6 | 6 |
| **4** | 10 | 2661990 | 22 | 20 |

**2. Aplicación de lafilosofía Just In Time y Just in sequence**

Como alternativa a la compra de la impresora, se propone usar un modelo Just in Time (JIT) y Just in Sequence (JIS) para gestionar pedidos de envases. Esto implica solicitar envases con las especificaciones de los clientes y en el orden de uso para envasar tabacos, eliminando la operación de etiquetado. Actualmente, la empresa almacena envases predeterminados que modifica según las necesidades del cliente

**Figura 3: Modelo paralelo de desplazamiento de laproducciónde tabaco (*Just in sequence*). Elaboraciónpropia**




**3. Se proponecrear dashboards para monitorear indicadores entiempo real**, lo que permitirá a la empresa tomar decisiones informadas y optimizarel uso de recursos. Esto proporcionará ventajas competitivas al mejorarlaeficiencia, consolidar laposicionenel mercado y adaptarse a cambios.

## 3. CONCLUSIÓNES

**Redistribución de los recursos humanos de la empresa.**La simulaciónen Arena muestra que laspropuestas de soluciónmejoraríanlacapacidad de diseñoenun 70%, frente al 35% actual, manteniendolautilización de equipos y jornada laboral por encima del 75%. Eliminar laoperación de etiquetado permitirá redistribuir operarias a laoperación de envasado, aumentando lacapacidad de producción y laproductividad.

**Aplicación de la filosofia Just in time y Just in sequence**Comparandoelcosto de una impresora (7,000 dólares, 175,000 pesos anuales) conel de contratar 223 trabajadoresadicionales (1,567,000 pesos mensuales), se concluye que laimpresora es una opción más económica. La implementación de JIT y JIS también es rentable, con gastos mínimos, ya que elrediseño se realiza por especialistas internos. El cuadro 5 muestralacomparación de costosen pesos cubanos.

La aplicación de técnicas de inteligencia competitiva enla empresa tabacalera de La Habana ha sido efectiva para mejorarlaeficiencia operativa y lacompetitividad. El uso de herramientas como el software Arena y laredistribución de recursos aumentaronelcumplimientodelplan de producción al 70%. Este enfoque de inteligencia competitiva debe ser continuo, ayudando a las empresas a mantenersurelevancia y liderazgo. El estudioofreceun modelo replicable para el sector del tabaco y similares, reafirmando lainteligencia competitiva como clave para eléxitoenun mercado competitivo.

## 4. REFERENCIAS

Sánchez González, E., & Fernández Hernández, F. (2023). Tabaco y tabaquismo en Cuba: de laeconomía agrícola a laeconomía de lasalud. Facultad de Ciencias Médicas, 10 de Octubre. La Habana, Cuba.

León Rodríguez, I. X. (2021). Método general de solución de problemas y Diagrama de Ishikawa enelanálisis de losefectos de losfeticidiosenel entorno familiar. Conrado, 17(79), 252-260.

López, B. S. (2019). ¿Qué es elestudio de tiempos?.Ingeniería Industrial Online. Recuperado de https://ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/que-es-el-estudio-de-tiempos/#go-to-cual-es-el-objetivo-de-la-medicion-del-trabajo

Andrade, A. M., Del Río, C. A., & Alvear, D. L. (2019). Estudio de tiempos y movimientos para incrementar laeficienciaen una empresa de producción de calzado. Revista de Ingeniería Industrial, 30 (3), p. 83-94 Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.scielo.cl/scielo.php%3Fpid%3DS0718-07642019000300083%26script%3Dsci_abstract&ved=2ahUKEwj3vfqM68eHAxXTj4QIHeREDlMQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3RUDCFS9cidzrwc1ulYiEU

Clavijo, C. (2023). Cómohacerunanálisis DAFO (conejemplos y plantilla). Hubspot. Recuperado de (https://www.hubspot.com/ ).

Bernal Rodríguez, J., & Ramos Iglesias, L. (2012). Procedimiento para elestudio de laorganizacióndeltrabajoen empresas cubanas. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es

Marsán Castellanos, J. R. (2011). Organizacióndeltrabajo. Ingeniería de métodos, v. 1. Félix Varela.

Wang, C., & McKay, K. (2021). *The Pareto chartand its applications in manufacturing. JournalofQuality in MaintenanceEngineering, 27(3), 418-432. Recuperado de https://doi.org/10.1108/JQME-04-2020-0038*

Alguirat, I., Lehyani, F., &Zouari, A. (2023). Impact of lean management on work safety and operational excellence within Tunisian companies. *International Journal of Lean Six Sigma*. Recuperado de https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2023-0032

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ¨ MEJORAS AL PROCESO DE TRABAJO EN UNA LINEA DE ENSAMBLAJE DE LA EMPRESA GEDEME¨

# ¨IMPROVEMENTS TO THE WORK PROCESS IN AN ASSEMBLY LINE OF THE GEDEME COMPANY¨

**Lauren Amanda Díaz Blanco [1], Melissa González Rodríguez [2], Massiel Río Padrón[3], Hiram La O Hernández[4]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, laurenamandadiazblanco@gmail.com, [2]Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, melissagonzalesrodriguez32@gmail.com

,[3]Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, massielrio306@gmail.com

[4]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, Calle 7ma e/ Camilo Cienfuegos y Rosales edif 28 apto 17 Rpto Eléctrico. Arroyo Naranjo

**Resumen**

El principal problema identificado fue el bajo aprovechamiento de la capacidad instalada, con una cantidad de trabajadores que exceden lo necesario para la capacidad de producción que posee la línea, con consecuencias en la gestión económica-financiera de la organización. El objetivo del trabajo fue proponer mejoras a la organización del trabajo en el proceso de ensamblaje de las cajitas decodificadoras que tributen a incrementar el ACI y ajustar la plantilla a la carga de trabajo existente. La investigación se llevó a cabo según el método general de solución de problemas; empleando herramientas típicas del estudio del trabajo como son: diagrama OTIDA, examen crítico, normación, estudio de la jornada laboral. El trabajo se realizó en GEDEME, empresa nacional de ensamblaje electrónico. Entre los principales resultados se propone variar el método del trabajo en el proceso, eliminando derroches de tiempo y personal e incorporando la utilización de la estera móvil; proponiendo un ahorro de 7 trabajadores, un incremento del 30% del ACI, un incremento de la capacidad de 5856 unidades; lo que representa una disminución del gasto salarial de 27737.9 $/mes. El método utilizado en la investigación es aplicable en cualquier proceso de trabajo adaptando las herramientas; promueve la generación de alternativas para resolver problemas. El estudio del trabajo con estos métodos es trascendental en el contexto actual para ponderar el valor del trabajo como principal fuente de incremento de la productividad y del desarrollo humano; combatir problemas frecuentes como las plantillas infladas y eliminar derroches.

**Palabras Clave:**estudio del trabajo; organización del trabajo; método general de solución de problemas, productividad, ahorro.

**Abstract**

The main problem identified was the low utilization of installed capacity (Telecommunications), with a number of workers that exceed what is necessary for the production capacity of the line, with consequences

on the economic-financial management of the organization. The objective of the work was to propose improvements to the organization of work in the process of assembling the decoder boxes that contribute to increasing the ACI and adjusting the workforce to the existing workload. The research was carried out according to the general method of problem solving; using typical tools of the study of work such as: OTIDA diagram, critical examination, standardization, study of the working day. The work was carried out at GEDEME, a national electronic assembly company. Among the main results, it is proposed to vary the work method in the process, eliminating waste of time and personnel and incorporating the use of the moving mat; proposing a saving of 7 workers, a 30% increase in ACI, an increase in capacity of 5856 units; which represents a decrease in wage costs of $27,737.9/month. The method used in the research is applicable in any work process by adapting the tools; promotes the generation of alternatives to solve problems. The study of work with these methods is transcendental in the current context to weigh the value of work as the main source of increasing productivity and human development; combat frequent problems such as inflated templates and eliminate waste.

**Keywords:**workstudy; work organization; general method of problem solving, productivity, savings

## Introducción

La transición de la televisión analógica a la digital en Cuba inició en 2013 cuando alrededor de 45 mil hogares en La Habana recibieron cajitas decodificadoras (CD) donadas por el gobierno chino. En la actualidad unos 40 canales de alcance nacional, provincial y municipal emiten señales analógicas y digitales en Cuba. (Cubadebate, 2021)

Cuba realizará el apagado total de la televisión analógica durante el año 2026, según el cronograma establecido por el Ministerio de Comunicaciones (Mincom), informado el 19 de julio de 2023 en la segunda jornada de trabajo previo al Primer Periodo Ordinario de Sesiones de la X Legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular. El proceso se efectuará luego de que culmine la transición de la televisión analógica a la digital en la región central y oriental del país, previstas para el 2024 y 2025, respectivamente. (Tribuna, 2018)

La televisión digital consiste en introducir el concepto de interactividad en un medio pasivo como es la televisión, y a la interactividad se llega mediante el desarrollo de tecnologías que conviertan al receptor en un sujeto activo. Ofrece más calidad, más definición, más programas, más canales, la realidad puede ir mucho más allá de una simple mejora técnica; también tiene la posibilidad de convertir cualquier receptor de televisión en un emisor, a través del que los espectadores puedan participar activamente en los programas, proponer actividades, asuntos de debate e incluso tomar parte en la elaboración de contenidos. Representa un gran paso de avance hacia la ansiada Sociedad de la Información.

Entre las posibilidades que ofrece la televisión digital encontramos:

- Mayor número de programas y nuevas emisoras en la misma ocupación de espectro que la actual televisión analógica (varios canales de televisión digital en el mismo ancho de banda de un canal de televisión analógico). Además, puede coexistir con la televisión analógica
- Recepción en condiciones adversas (movilidad, interferencias, ruido, etc.)
- Posibilidad de uso de infraestructuras de televisión analógica ya existentes: antenas, emisores, instalaciones, etc. De hecho, se puede aprovechar la infraestructura televisión convencional para proporcionar múltiples canales de televisión a través de la misma antena de recepción.
- Escalabilidad de la resolución de las emisiones incluida la televisión de alta definición y formato panorámico de televisión (16:9).
- Sonido Digital Multicanal.
- Posibilidades de acceso condicional (abono, pago por visión y acceso personal).

Especialmente importantes son los servicios de televisión proporcionados, que gozan también de unas características innovadoras:

- Interactividad con el usuario por medios sencillos: Guías electrónicas de programación y posibilidad de uso intuitivo de los servicios interactivos
- Nuevas oportunidades para la oferta de contenidos y servicios interactivos adicionales

Caja decodificadora es el dispositivo receptor o decodificador de las señales de televisión analógica o digital, para luego ser mostrada o visualizada en el televisor u otro dispositivo de televisión. (PROCUBA)

La Empresa Industrial para la Informática, las Comunicaciones y la Electrónica, GEDEME, es una empresa estatal socialista, perteneciente al Grupo de la Electrónica(GELECT) del Ministerio de Industrias (MINDUS). (CUBATOTAL, 2017)

Las medidas dirigidas a incrementar la productividad del trabajo en Cuba como factor esencial para el crecimiento económico del país han sido variadas a lo largo de los años. En el país se ha desestimado el valor del trabajo los procesos de fabricación sufren grandes problemas técnico-organizativos como malos diseños de los puestos de trabajo, problemas con el suministro de materia prima, con el abastecimiento energético, plantillas infladas; solo dándole valor al proceso de trabajo puede existir crecimiento económico para satisfacer las necesidades y, por tanto, la escasez de recursos convierte la eficiencia en una necesidad para el país. El escenario impone la necesidad de un trabajo organizado para aprovechar al máximo los recursos, eliminar derroches y elevar la productividad del trabajo.

A partir de un análisis de las operaciones de una línea de ensamblaje de cajitas decodificadoras, se detecta baja utilización de la capacidad instalada. El análisis de todo el proceso para ensamblar una caja decodificadora y sus deficiencias es de lo que se ocupa este estudio que a su vez propone acciones para subvertir deficiencias que dependen en gran medida de los recursos humanos y de la falta de tecnología en el proceso. El objetivo trazado es proponer mejoras al proceso de ensamblaje de cajitas decodificadoras que contribuyan a incrementar la productividad del trabajo.

## Materiales y métodos

Se partió de una revisión de bibliografía especializada en el orden internacional y nacional referente al tema de investigación. Se estructuró en las principales categorías del tema objeto de estudio, para sentar las bases teóricas de la investigación.

Categorías de estudio:

- Organización del trabajo (OT): hace referencia a una actividad íntegra, que además de estudiar los métodos y tiempos de trabajo, se encarga de velar por el bienestar del hombre en su puesto laboral, por lo que persigue un objetivo social y otro económico. (Castellanos, 2008)
- Estudio de Métodos: aplicación de un procedimiento sistemático, científico y lógico de análisis e investigación adecuado al proceso de trabajo objeto de estudio (operación o proceso). (Castellanos, 2008)
  Fases del estudio de métodos: a) selección del trabajo a estudiar, b) registro de datos del estudio seleccionado, c) análisis objetivo del método actual para determinar los problemas existentes y posibles soluciones de mejora, c) di-seño de un nuevo método que permite la mejora, d) implementación del nuevo método. (Almeida Almeida, 2022)
- Estudio de tiempos: técnica de medición del trabajo para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea atendiendo a una norma de ejecución preestablecida. (Castellanos, 2008)

Etapas del estudio de tiempos: 1. ambientación, 2. diseño del estudio, 3. realización de las observaciones, 4. análisis de los resultados, 5. determinación de la norma de tiempo o tiempo tipo para la operación; siguiendo lo establecido en la literatura. (Marsán Catellanos, 2011)

- Puesto de trabajo: se refiere a la ubicación física o entorno en el que una persona lleva a cabo sus tareas laborales. Comprende aspectos físicos y sociales y elementos relacionados con la ergonomía, el diseño del espacio, la distribución de tareas y la organización del trabajo. (Vilán, 2023)
- Análisis y descripción de puestos de trabajo: consiste en examinar y entender en detalle las tareas, responsabilidades, cualificaciones y condiciones laborales asociadas a un puesto específico en una organización. Es fundamental en la gestión de recursos humanos. (Vilán, 2023)

**Técnicas de recogida y procesamiento de los datos:**

Las técnicas utilizadas en el estudio son la observación directa, incluyendo la observación continua individual, encuesta a trabajadores y herramientas como el Diagrama OTIDA, Balance de carga y capacidad, Normación, Cronometraje con procesamiento estadístico, Diagrama causa-efecto.

Para el caso de las encuestas, de los 12 trabajadores de esta línea de producción, solo se les aplicó este instrumento, a los que operaban en los puestos objeto de análisis: etiquetado, atornillado, control de calidad, calentamiento y jefe de producción, lo que responde a un 40 %.Para el Balance de carga y capacidad se utilizaron las expresiones que aparecen en la literatura. (Marsán Castellanos, 2011)

## Resultados y discusión

**Caracterización de la línea de ensamblaje de la empresa**

Las cajas decodificadoras se ensamblan con componentes de diversas procedencias. En ellas se utilizan tecnología china y japonesa fundamentalmente. [4]. El proceso de ensamblaje de cajitas decodificadoras comenzó su producción hace solo 5 meses. La distribución en planta del local donde se desarrolla se muestra en la figura 1.

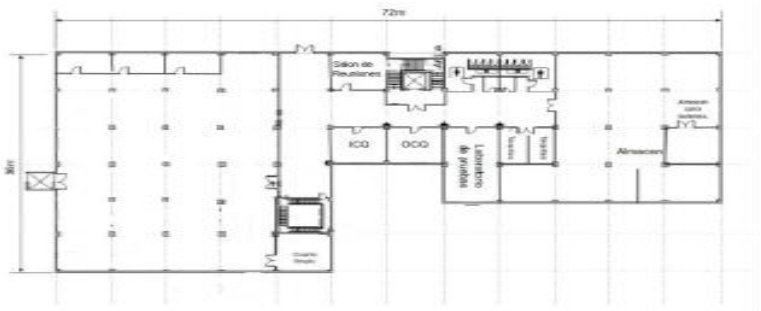



Figura 1. Distribución en planta del taller. Fuente: UEB Servimática, GEDEME

La línea es flexible, montada para producir una amplia gama de productos electrónicos (celulares, PC y Tablet). Las áreas se encuentran delimitadas por una línea amarrilla identificando las áreas de desechos y de tránsito dentro del local.

Los puestos de trabajo no se definen si son parados, sentados o parados-sentados, pero la mayoría de las actividades se realizan sentados.Las partes y piezas son clasificadas y preparadas en bandejas, dividiéndose de acuerdo a cada puesto: accesorios, tornillos, tapa, placa electrónica, puerto de memorias, sello de seguridad, etiquetas y base. La jornada laboral es de 8 horas, comienza a las 8:00 am, con 30 minutos de descanso y finaliza a las 4:30 pm.

**Identificación de problemáticas**

Con la observación directa y entrevistas aplicadas a trabajadores se detectan diversas problemáticas que se describen a continuación. Predominan las insuficientes cantidades de materia prima importada, por la falta de proveedores variados, crea incertidumbre en la línea de producción, y la carga de trabajo en tiempo no se corresponde con la duración de la jornada laboral. Existe un bajo nivel de automatización, falta de instrumentos de trabajo y la estera móvil instalada no es utilizada completamente. No se disponen de normas técnicas dado el corto tiempo que lleva este proceso en la empresa, la inestabilidad del personal y

estructuración en los puestos de trabajo por la intermitente entrada de materia prima, no permite realizar las mediciones adecuadas, evidenciándose falta de organización. El proceso es manual casi en su totalidad, poco grado de tecnificación.

En La figura. 3 se plasma el diagrama OTIDA como uno de los resultados de la observación directa el proceso productivo.

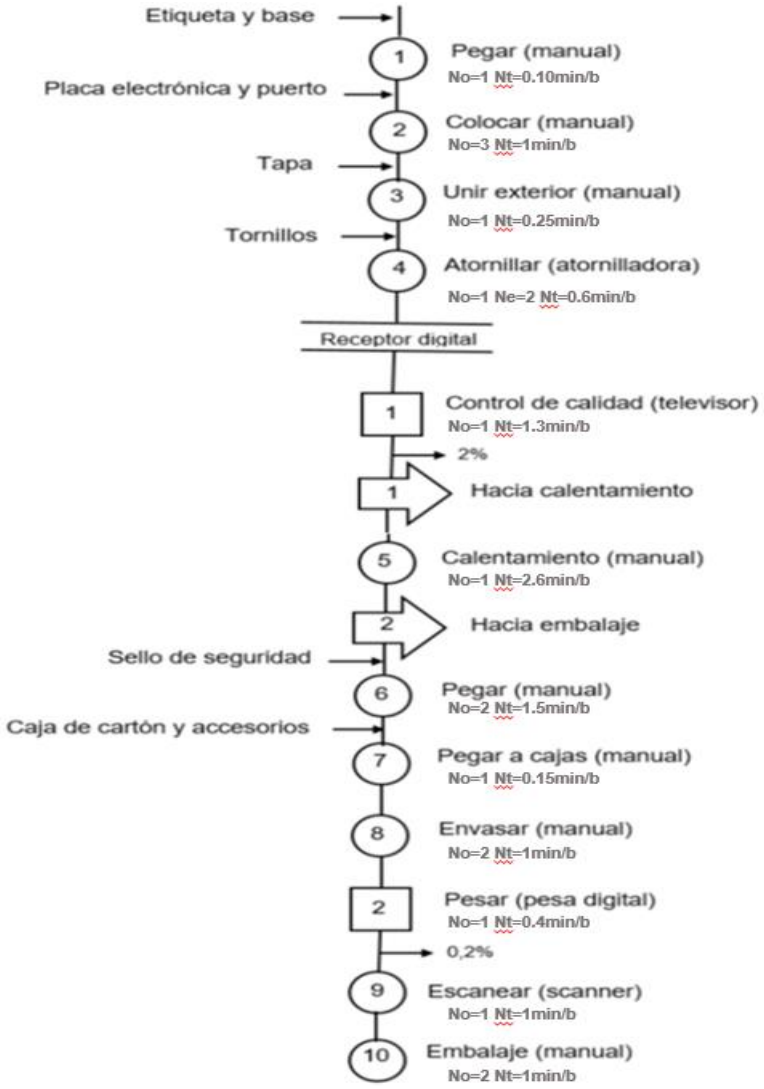



Figura 3. OTIDA (proceso actual). Fuente: Elaboración propia

Las materias primas, productos en proceso y terminados pasan al almacén en planta, al finalizar la jornada laboral. Luego de completada la orden de producción, los productos son bajados hacia otro local y almacenados por zona, son registrados en tarjeta de estiba, hasta que el cliente viene a buscarlos y se realiza la inspección de cada uno.

**Balance de carga y capacidad**

Se realiza un balance previo con la utilización de la capacidad instalada real, del proceso productivo, es decir, tomando en cuenta un solo operario, donde solo se aprovecha el 50 % de la capacidad instalada.

Datos:

Existen 10 operaciones y 2 inspecciones. Los días laborables al mes son 24; se trabaja en turnos de 8 horas, con una producción diaria de 400 CD y un índice de ausentismo de 3%. Como datos adicionales, las equivalencias: 1 bandeja = 4CD; 1 carro = 3 bandejas; 1 envase= 1CD; 1 caja = 10 CD

El procesamiento de estos datos permitió obtener que la cantidad de cajas decodificadoras al día es de 1564, y recordando que estas son transportadas en bandejas de 4 CD entonces tenemos un total de 6256 cajas decodificadoras al día; siendo al mes, por los 24 días que se trabajan, un total de 150144 CD.

También se pueden sacar conclusiones sobre el aprovechamiento de la jornada laboral, donde se muestran valores buenos de aprovechamiento, pero esto es debido a que no existen métodos de trabajo en cada puesto, permitiendo así que cada operario trabaje a su ritmo y distribuya su carga de trabajo, además, de los tiempos por deficiencias tecnológicas, indisciplinas laborales.

**Diagrama Ishikawa**

Existen varias causas que influyen en el problema principal estas son la inexistencia de maquinarias, materias primas insuficientes, métodos de trabajos no establecidos correctamente y desaprovechamiento de la jornada laboral que a su vez traen consigo varios problemas asociados como la falta de diversificación de proveedores, que el área de producción posea dimensiones mayores a las necesarias, la falta de organización del proceso productivo y el uso del teléfono y conversaciones indiscriminadas por parte de los trabajadores, dando lugar así a la baja utilización de la capacidad instalada de la línea de producción.

Al analizar detenidamente las diversas variables que pueden influir en un resultado no deseado, el diagrama de Ishikawa permite a las empresas comprender mejor sus áreas de mejora, así como sus principales debilidades y ayuda a tomar medidas correctivas efectivas.

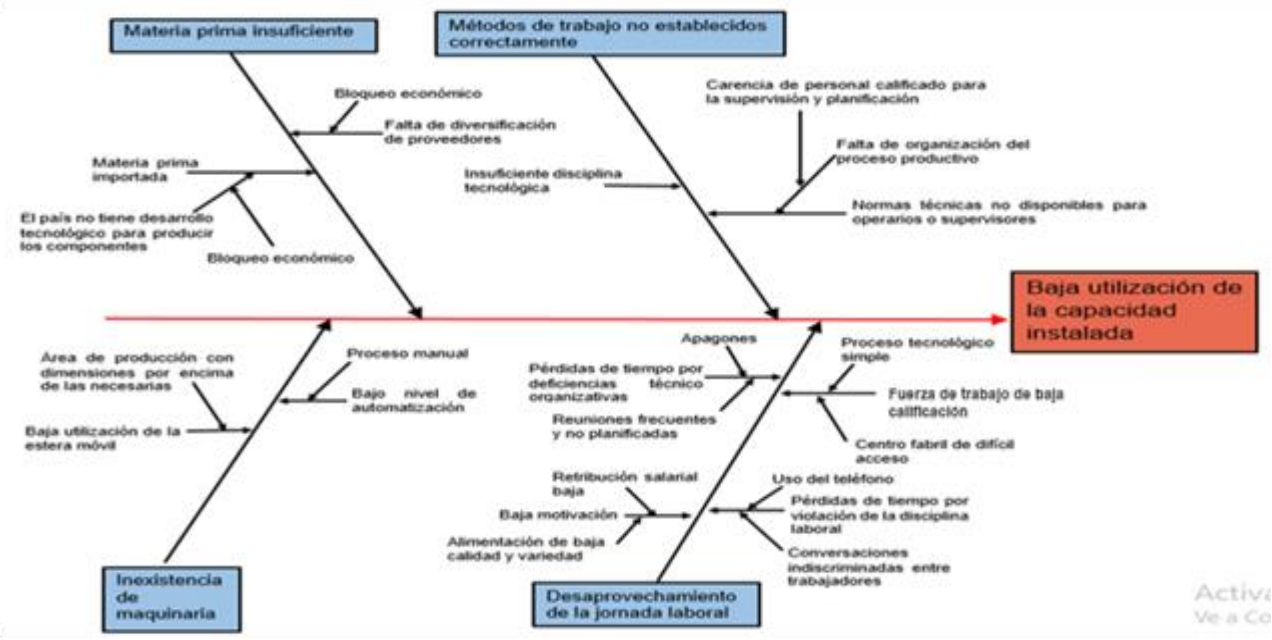



Figura 4. Diagrama Causa-Efecto de los problemas detectados en el proceso de trabajo. Fuente: Elaboración propia

**Propuestas de solución**

**Solución 1:** Unificar microperaciones que pueden ser realizadas en conjunto.

Con la realización del diagrama OTIDA original del proceso por los autores, se detectaron en un principio que existen 10 operaciones de las cuales solo agregan valor 5 de estas, pues las demás son microperaciones, es decir, operaciones muy pequeñas que realizarlas por separado y asignarlas a uno o más operarios hace que exista una plantilla con una cantidad de personal que no está agregando valor ni está aprovechando al máximo posible su jornada laboral, para poner más contexto hay operaciones que solo consisten en pegar una etiqueta, poner una cubierta o cubrir la caja decodificadora con un nylon. Es por ello que se decide unificar las denominadas microperaciones a las que, si agregan valor, con 2 objetivos primordiales: disminuir la plantilla, para solo contar con los operarios necesarios y disminuir el ciclo productivo en cuanto a operaciones, las operaciones 1-2-3 se unificaron para formar la propuesta operación 1(ensamblar), 6-7-8 en 4(envasar), y 9-10 en 5(embalaje), la figura 3 se muestra el OTIDA de la solución.

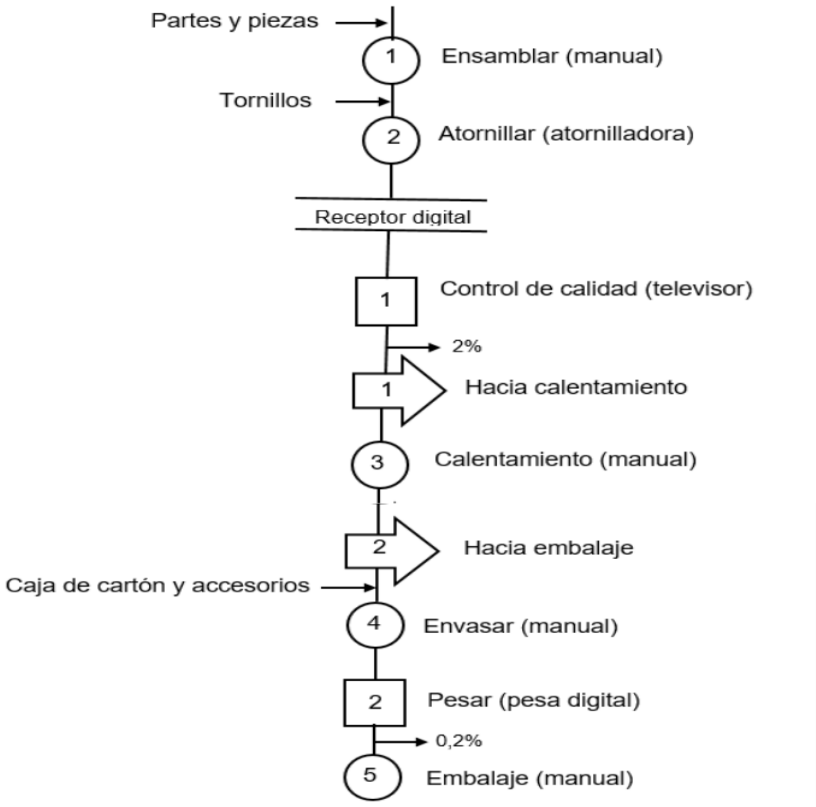



Figura 5. Diagrama OTIDA del proceso sin derroches. Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- Trabj: trabajadores
- Est.mov: estera móvil
- PT: puestos de trabajo
- Op: operaciones

Tabla 2. Derroches

| | Actual | | Propuesta | |
|---|---|---|---|---|
| **Personas (trabj)** | 13 | ACL 60% | 6 | ACL 90% |
| **Recursos (est.mov—PT)** | Poco utilizada | Distantes | Totalmente utilizados | Consecutivos |
| **Métodos (op)** | Demasiadas microperaciones | | Operaciones que agregan valor | |
| **Capacidad (CD/día)** | 400 | | 6256 | |

Fuente: Elaboración propia

Como parte de esta solución es necesario establecer un método de trabajo en los puestos de trabajo donde se realizarán estas operaciones unificadas, en pos de eliminar tiempos innecesarios y cansancio tanto físico como psicológico de los operarios por la falta de organización. Para registrar el modelo propuesto se emplearon diagramas bimanuales (3), los que se muestran en las siguientes figuras.

| Mano Izquierda | Símbolo | Símbolo | Mano Derecha |
|---|---|---|---|
| Hacia base | ⇨ | ⇨ | Hacia etiqueta |
| Obtiene base | ○ | ○ | Obtiene etiqueta |
| Trae base | ⇨ | ⇨ | Trae etiqueta |
| Sostiene base | ○ | ○ | Pega etiqueta en base |
| Hacia placa | ⇨ | △ | Sostiene base |
| Obtiene placa | ○ | △ | Sostiene base |
| Trae placa | ⇨ | ○ | Coloca placa en base |
| Hacia tapa | ⇨ | △ | Sostiene base |
| Obtiene tapa | ○ | △ | Sostiene base |
| Trae tapa | ⇨ | ○ | Coloca tapa |
| | | ○ | Coloca dispositivo en bandeja |

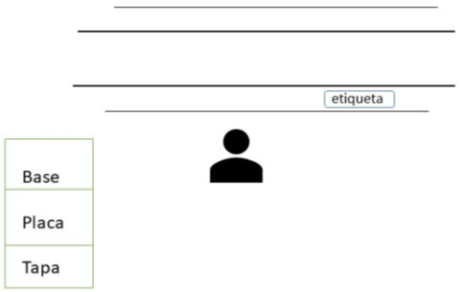



Figura 6. Diagrama bimanual operación Ensamblar

El operario dirige su mano izquierda a la caja que contiene las bases de los dispositivos, toma una y automáticamente su mano derecha la lleva hacia la etiqueta que pega en la base. Mientras que con su mano derecha sostiene la base, dirige la mano izquierda a la caja de las placas para adquirir una y llevarla a la base y colocarla con la mano derecha. Luego lleva su mano izquierda a la caja que contiene las tapas para tomar una y dirigirla a la base para ser puesta con su mano derecha. Una vez conformado el dispositivo se ubica en una bandeja para pasar a la siguiente operación.

| Mano Izquierda | Símbolo | Símbolo | Mano Derecha |
|---|---|---|---|
| Hacia dispositivo | ⇨ | ⇨ | Hacia sello |
| Obtiene dispositivo | ○ | ○ | Obtiene sello |
| Trae dispositivo | ⇨ | ⇨ | Trae sello |
| Sostiene dispositivo | △ | ○ | Pega sello |
| Sostiene dispositivo | △ | ⇨ | Hacia envase |
| Sostiene dispositivo | △ | ○ | Obtiene envase |
| Colocar dispositivo | ○ | ⇨ | Trae envase |
| Hacia accesorios | ⇨ | ⇨ | Hacia accesprios |
| Obtener accesorios | ○ | ○ | Obtiene accesorios |
| Trae accesorios | ⇨ | ⇨ | Trae accesorios |
| | | ○ | Coloca envase en estera |

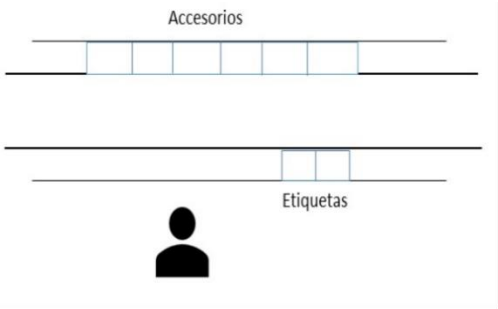



Figura 7. Diagrama bimanual operación Envasar

El trabajador dirige su mano izquierda hacia el dispositivo y sosteniéndolo, lleva su mano derecha a la etiqueta, que obtiene y pega sobre el mismo. Luego dirige la mano derecha al envase, lo obtiene y lo lleva a la mesa para colocar con la mano izquierda el dispositivo en su interior. A continuación, lleva ambas manos a la caja de accesorios para colocarlos en el envase e incorporarlo a la estera.

| Mano Izquierda | Símbolo | Símbolo | Mano Derecha |
|---|---|---|---|
| Hacia envase | ⇨ | | |
| Obtiene envase | ○ | | |
| Trae envase | ⇨ | | |
| Coloca en pesa | ○ | | |
| | | ⇨ | Hacia envase en pesa |
| | | ○ | Obtiene envase |
| | | ⇨ | Escanea código envase |
| | | ⇨ | Hacia embalaje |

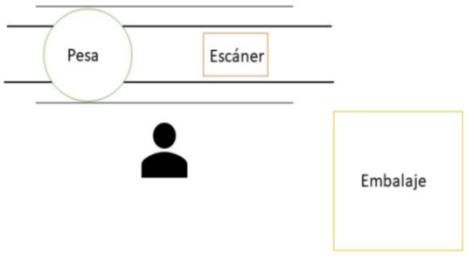



Figura 8. Diagrama bimanual operación Pesar

El operario dirige su mano izquierda al envase para obtenerlo y llevarlo hasta la pesa donde es ubicado, con su mano derecha lo obtiene después de realizada la operación para escanear el código de su etiqueta y depositarlo en el embalaje correspondiente.

**Solución 2: Rediseño de la distribución en planta**

Esta solución también se deriva de la anterior pues como producto de ese nexo de operaciones es necesario una nueva distribución en planta para lograr la mayor utilización posible de su capacidad instalada, es decir, la estera móvil. En las figuras 7 y 8 se pueden ver la distribución actual y propuesta respectivamente.

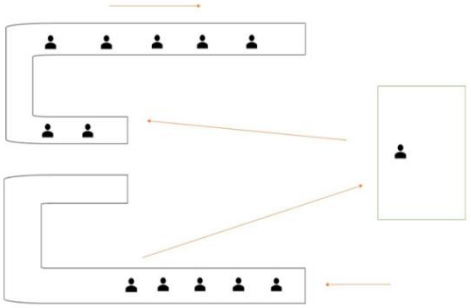


Figura 9. Distribución en Actual



Figura 10. Distribución en Propuesta.

Evaluación de las soluciones:

Al ser la capacidad de la línea de 6256 CD/día, siendo su ingreso de 967.36 pesos/CD, pudiera obtenerse un total de 6,051,804.16 $/día y 145,243,299.84 $/mes.

Incrementar en 5856 CD/día la producción actual, implicaría un gasto, pero a la vez los ingresos serían superiores a los obtenidos hasta ahora. El costo de realización de una cajita en GEDEME es de 833.93 pesos teniendo en cuenta los costos totales y gastos totales unitarios, por tanto, se incurriría en un gasto de 125,209,585.92 $/mes.

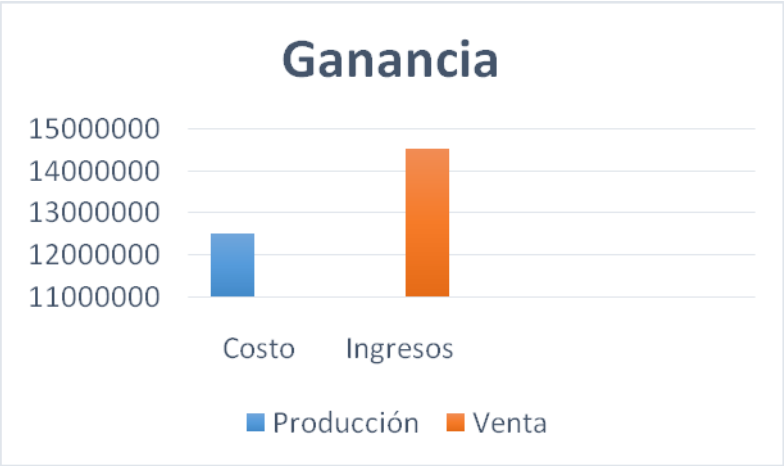



Figura 12. Gráfico de ingresos frente a costos, obteniendo las ganancias de la empresa.Fuente: Elaboración propia

Siendo así que la empresa GEDEME, tendría una ganancia mensual de 20,033,713.9 $

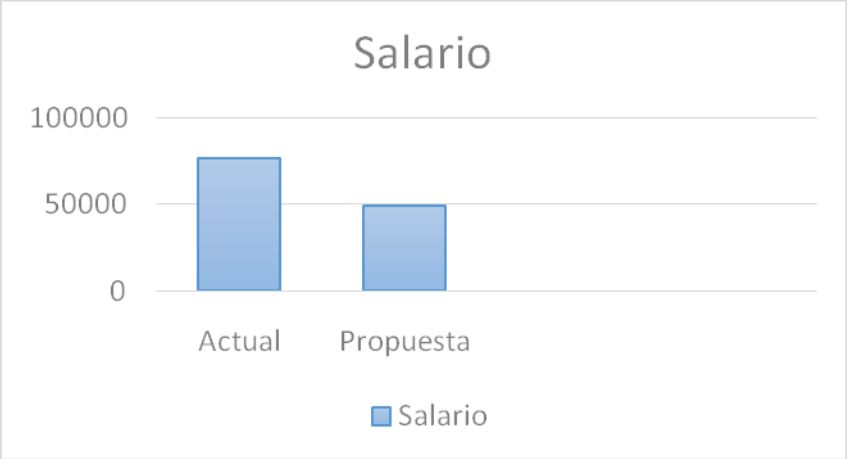



Figura 13. Gráfico de comparación de gasto salarial de la empresa. Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico podemos obtener que con la aplicación de las soluciones propuestas se logra un ahorro de 27,737.9 $/mes debido a la disminución de plantilla, es decir con los trabajadores necesarios (6).Entonces la empresa en total tendría una ganancia mensual de 20,061,451.8 $.

**Conclusiones**

El diagnostico demostró que el AJL era de un 60%, la cantidad de trabajadores es mayor que la necesaria, múltiples derroches en el método de trabajo y capacidad instalada inutilizada. El diseño organizativo del puesto de trabajo que se propone, disminuye la cantidad de trabajadores en 7, aumenta la producción diaria en 5856 unidades, se eliminan derroche; esto representa un incremento de la productividad del trabajo de 32,90% y de la AJL en un 30%.El diseño propuesto representa una ganancia mensual estimada de 20,033,713.9 CUP, y un ahorro salarial de 27,737.9 CUP/mes.

**Referencias bibliográficas**

Almeida Almeida, J. R. (2022). Estudio de tiempo en el area de post cosecha para la finca florícola GENOVA FARMS. Universidad Técnica de Ambato.

Castellanos, J. M. (2008). Organización del trabajo Estudio de Métodos (Vol. 1). La Habana Félix Varela.

Cubadebate. (2021). “Cuba producirá este año 318 000 cajas decodificadoras para TV digital”. Cubadebate, Por la Verdad y las Ideas.

CUBATOTAL. (2017). “Ensamblando la ‘cajita’ decodificadora Ma-de in Cuba”. Retrieved from https://cubatotal.wordpress.com/2017/04/18/ensamblando-la-cajita-decodificadora-made-in-cuba/

Marsán Catellanos, J. C. S., A; Fleita Triana,S. (2011). Organización del Trabajo Estudio de Tiempos (Vol. 2). La Habana: Félix Varela.

PROCUBA. “Empresa Industrial para la Informática, las Comunicaciones y la Electrónica”. Retrieved from https://procuba.pyxelsolution.com/empresa/empresa-industrial-para-la-informatica-las-comunicaciones-y-la-electronica/

Telecomunicaciones, U. I. d. (2006). Recomendacion: UIT-R BT.500-11 Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión. http://uit.int/sec/R-REC-CT.500/es.

Tribuna. (2018). “Prevén apagado total de la televisón analógica en Cuba en 2026”.

Vilán, Y. R. (2023). "Procedimiento para el diseño de los pues-tos de trabajo del laboratorio de Ingeniería Industrial". Universidad Tecnológica de la Habana, La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# *MÉTODO DE TRABAJO BASADO EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO*

## *WORK METHOD BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE MAINTENANCE PLANNING*

**Primer Autor (Dr. C. Rogej A. Marrero Hernández)[1], Segundo Autor (Guillermo Arteaga Piedra)[2], Tercer Autor (Dra. Vania García Fenton)[3], Cuarto Autor (Gretel Robert Santos)[4]**

rmhernande@ind.cujae.edu.cu

[1] Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Calle 114 # 11901, e/ Ciclo vía y Rotonda. Marianao

guillermo@gmail.com

[2] Empresa laboratorios farmacéuticos AICA, Ave. 23 s/n entre 268 y 270. La Lisa. La Habana; (07) 2712576

vania@ind.cujae.edu.cu

[3]Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Calle 114 # 11901, e/ Ciclo vía y Rotonda. Marianao

gsatos@ecg.co.cu

[4] Empresas de canteras y grúas torres Unión de construcciones militares (UCM), calle oncena entre 5ta y D, parcelación moderna, Arroyo Naranjo

**RESUMEN**

La Inteligencia Artificial (IA) se ha desarrollado rápidamente dada la disponibilidad de grandes cantidades de datos, del aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores y del desarrollo de técnicas de aprendizaje automático, entre otras cosas. Por la importancia que refiere la planificación del proceso de mantenimiento, para contribuir al desarrollo y la competitividad empresarial se hace necesario, utilizar una herramienta de IA, que facilite la captación de los datos primarios para agilizar la toma de decisiones. El objetivo es desarrollar un método de trabajo basado en inteligencia artificial para la planificación del proceso mantenimiento. Del trabajo y la captación y procesamiento de los datos primarios se utilizan Métodos empíricos: para el estudio del sistema experto utiliza los lenguajes LISP y CLIPS, el primero destaca su facilidad de uso y la capacidad de realizar definiciones recursivas de funciones. El segundo, ofrece herramientas especializadas para la definición de reglas y el razonamiento basado en conocimiento , aspecto importante para el sistema experto.

**Palabras claves:** Planificación del proceso de mantenimiento, Inteligencia Artificial

***Abstract***

*AI has developed rapidly given the availability of large amounts of data, the increase in computer processing power and the development of machine learning techniques, among other things. Due to the importance of planning the maintenance process, to contribute to business development and competitiveness. It is necessary to use an AI tool that facilitates the capture of primary data to speed up decision-making. The objective is to develop a work method based on artificial intelligence for planning the maintenance process. Empirical methods are used for the work and the collection and processing of primary data: for the study of the expert system, the LISP and CLIPS languages are used, the former highlights its ease of use and the ability to make recursive definitions of functions. The second offers specialized tools for the definition of rules and knowledge-based reasoning (Escobar, 2008), an important aspect for the expert system.*

***Keywords:*** *Maintenance process planning, Artificial Intelligence*

## Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una ciencia transformadora que ha capturado la atención del mundo en los últimos años. Se refiere a la capacidad de las máquinas para realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la percepción, la resolución de problemas y el lenguaje. Con cantidades de datos, mejora de las capacidades de procesamiento de los mismos y del desarrollo de técnicas de aprendizaje automático. La mejora de estas tecnologías aporta beneficios en diferentes campos de la ciencia, también plantea importantes cuestiones éticas y sociales, como el impacto en el mercado laboral, la privacidad y la transparencia de los datos .

La dinámica del sector productivo a nivel internacional, está caracterizada por el aumento de la complejidad de los sistemas mecánicos involucrados y la interacción que estos tienen con los diferentes componentes electrónicos a los que se vincula . El panorama mundial exige políticas de mantenimiento que permitan garantizar una mayor precisión en la detección de fallas, con el objetivo de aumentar las ganancias y mejorar los niveles de fiabilidad y rendimiento de los activos.

La pérdida de conocimiento y experiencia puede dificultar la innovación y el desarrollo de nuevas soluciones. En particular, la planificación del proceso de mantenimiento a los activos se ha visto afectada por esta escasez de personal capacitado y sus conocimientos en el área, lo que ha llevado a una disminución en la calidad de las tareas de mantenimiento y a un mayor tiempo de inactividad no planificado. La inadecuada transferencia del conocimiento produce situaciones de ineficiencia, que afectan directamente a las acciones estratégicas de las empresas.

En la presente investigación se analiza esta situación y se propone la utilización de la herramienta de Inteligencia Artificial, Sistema Experto, como una solución para abordar este problema. Un sistema experto teniendo en cuenta la Inteligencia Artificial (IA) puede ayudar a retener el conocimiento y la experiencia de los empleados más talentosos al capturar, almacenar y compartir su conocimiento y habilidades en una base de conocimientos , , .

El sistema puede ser programado para analizar y aprender de los datos recopilados, lo que permitiría una identificación más precisa de las causas de las fallas y la toma de decisiones en tiempo real. Además, un sistema experto de IA puede ser utilizado para la capacitación de nuevos empleados y para la toma de decisiones en la resolución de problemas complejos de mantenimiento, lo que puede mejorar la eficiencia del proceso y reducir los costos operativos .

La entidad objeto de estudio viene presentando problemas con las averías de los activos, las cuales han aumentado en un 20% con respecto al año anterior. Estas averías han aumentado en cantidad y en el tiempo de solución de las mismas debido a la falta de realización de las tareas de mantenimiento a los activos en el tiempo adecuado, producto a la escasez de partes y piezas. Se afecta, además, por la alta fluctuación laboral de los

mecánicos y electricistas, así como por la falta de capacitación. Lo que provoca una falta de conocimiento y habilidad en los trabajadores.

Teniendo en cuenta la problemática asociada a la fluctuación del personal calificado, en la actividad de mantenimiento y su impacto negativo en los procesos de producción y servicio, se plantea como problema de la investigación **¿Cómo contribuir a la mejora de la planificación del proceso de mantenimiento al activo en la entidad?**

Se define como **objetivo general de la investigación:** Desarrollar un método de trabajo apoyado en la inteligencia artificial, con retroalimentación hacia la planificación del mantenimiento.

Para la captación y procesamiento de los datos primarios se utilizan y aplican técnicas y herramientas propias del campo de la ingeniería tales como: entrevistas, observación directa, herramienta de inteligencia artificial, entre otras.

## 2. Desarrollo de la investigación.

Se diseña el procedimiento para la mejora del proceso de planificación del mantenimiento del activo, a lo largo de su ciclo de vida, basado en la herramienta de Inteligencia Artificial, Sistema Experto. Con el objetivo de recoger los conocimientos de los Expertos más aventajados y con más experiencia en el área de aplicación y a su vez, dicho conocimiento quede plasmado en la Base de Conocimientos del Sistema.

### 2.1 La gestión del conocimiento en el proceso de planificación del mantenimiento y su importancia en el desarrollo del sistema de expertos (SE).

La integración exitosa de un SE de Inteligencia Artificial en el proceso de planificación del mantenimiento depende en gran medida del conocimiento profundo del proceso en sí. El conocimiento del proceso de planificación es un activo valioso que se traduce en decisiones precisas, una alineación efectiva con las prácticas de la organización y la capacidad de adaptarse a los cambios en el entorno empresarial.

Este conocimiento es la base sobre el cual se construye la base de conocimiento del SE, proporcionando reglas, pautas y mejores prácticas que reflejan la experiencia y la sabiduría acumulada a lo largo de los años. Además, se convierte en una herramienta esencial para gestionar el desempeño del SE, asegurando que las decisiones automatizadas estén en línea con las expectativas de los expertos en mantenimiento.

La importancia de la gestión del conocimiento en el proceso, no se detiene en la eficiencia operativa; también es un impulsor de la resiliencia empresarial al abordar riesgos relacionados con la calidad, la seguridad, el medio ambiente y la gestión de activos. Esto se traduce en una mayor capacidad de la organización para enfrentar situaciones extraordinarias.

### 2.2 Describir el procedimiento

El procedimiento cuenta con 5 etapas, se define una etapa de ambientación para sentar las bases al proporcionar un entendimiento integral del entorno actual de planificación del mantenimiento y la posibilidad de implementación de un SE en la entidad objeto de estudio. Se definen 4 etapas del ciclo de mejora continua (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) y se basa en el método general para la solución de problemas. Estas etapas cuentan con sus actividades, las que serán cumplidas para garantizar las mejoras al

proceso de planificación de mantenimiento, el procedimiento propuesto se muestra en la figura 1, se apoya en el modelo de la tesis doctoral de Marrero (2022).

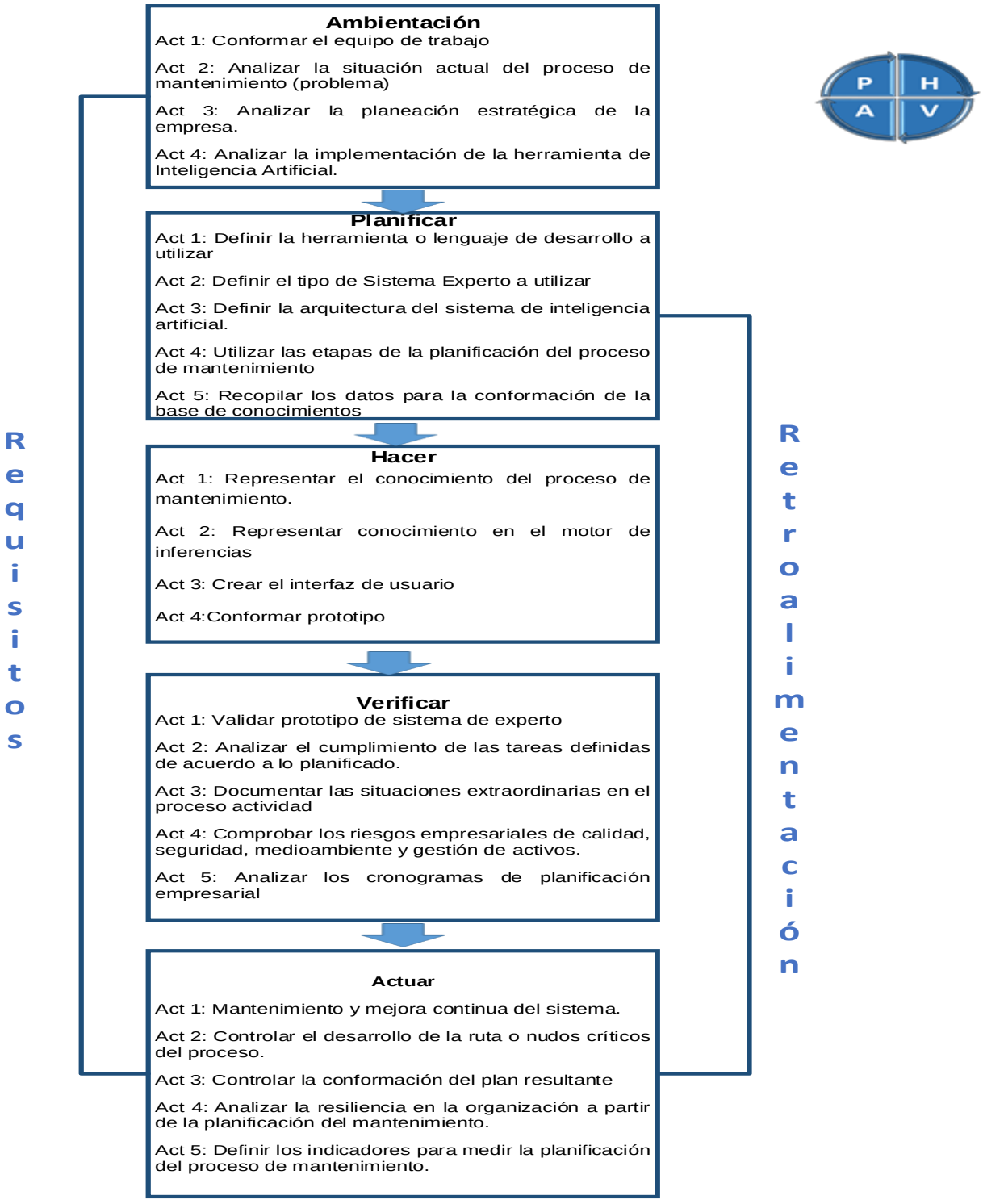



**Figura 1: Procedimiento para la mejora del proceso de planificación del mantenimiento, a través de la herramienta Sistema Experto de IA. Fuente**

### 2.3 Desarrollo de las actividades del procedimiento propuesto

Las actividades diseñadas para implementar el Sistema Experto de Inteligencia Artificial (IA) en el proceso de planificación de mantenimiento se llevan a cabo en el puesto de

trabajo del técnico en la entidad objeto de estudio. En esta investigación se define como fuerza de trabajo al técnico en mantenimiento, el método de trabajo será el procedimiento propuesto y el objeto de trabajo es la planificación del proceso de mantenimiento y la resolución de averías.

**Etapa 1: Ambientación**

Esta etapa tiene como objetivo, establecer una interacción con el entorno actual de la planificación del mantenimiento en la organización, identificando los desafíos, oportunidades y requisitos específicos que servirán de base para el diseño y la implementación efectiva del Sistema Experto de IA. La misma está compuesta por 4 actividades, teniendo en cuenta las herramientas y técnicas utilizadas, para la captación y procesamiento de los datos primarios. Se define como responsable de la etapa al **grupo experto en mantenimiento,** a continuación, se detallan cada una de estas actividades.

**Actividad 1: Conformar el equipo de trabajo**

Para desarrollar un Sistema Experto se debe conformar el equipo de desarrollo necesario. Donde las personas que lo componen, como en todos los ámbitos deben cumplir ciertas características y cada uno de ellos desarrolla un papel distinto.

Los principales protagonistas en el desarrollo de un SE, se pueden clasificar básicamente en: Usuario (s), Desarrollador (es) y Experto (s) y Administrador. Cada uno de estos roles aporta una perspectiva única y habilidades necesarias para el éxito del proyecto. La colaboración y comunicación entre estos actores garantizan que el SE, se ajuste a los requerimientos del usuario, capture con precisión el conocimiento del experto, se desarrolle con calidad y se mantenga en funcionamiento de manera confiable.

**Actividad 2: Analizar la situación actual del proceso de mantenimiento (problema)**

En esta actividad, se llevará a cabo un análisis de la situación actual del proceso de mantenimiento en la empresa, específicamente en la etapa de planificación. En esta se examinarán los aspectos clave del proceso, como la programación de tareas, la gestión de recursos, la coordinación de actividades y la optimización de los tiempos de inactividad. Se recopilarán datos, se identificarán los desafíos, las deficiencias existentes y se determinarán las brechas de conocimiento. Esta actividad proporcionará una comprensión completa de la situación actual, sentando las bases para futuras decisiones y mejoras en el proceso de mantenimiento. Por lo que una vez analizada la situación actual del proceso de mantenimiento se procede a analizar la planificación estratégica de la empresa.

**Actividad 3: Analizar la planificación estratégica de la empresa.**

Con el análisis de la planificación estratégica se pretende conocer los objetivos y política de la organización. Esa actividad es necesaria para conocer cómo se relaciona el activo a nivel operativo con la planificación a nivel estratégico de la entidad. La gestión de la planificación del mantenimiento tiene una estrecha relación con el ciclo de gestión de la organización.

Una vez analizado la planificación estratégica de la empresa y como se alinean los objetivos de esta con el proceso de planificación del mantenimiento, es necesario analizar la implementación de la herramienta de IA en la entidad, realizando un análisis costo-beneficio, justificando las razones que hacen necesarias la automatización del proceso y

respondiendo una serie de preguntas necesarias para la implementación de la herramienta. Responsable: **grupo experto en mantenimiento**

Después de analizado la implementación de la herramienta de IA en la empresa, se pasa a la etapa "Planificar", donde se sentarán las bases para el posterior desarrollo del SE, así como la persona encargada de ejecutar cada actividad.

**Etapa 2: Planificar el estudio**

El objetivo de esta etapa es establecer un enfoque estratégico y detallado para la implementación del Sistema Experto (SE) en el proceso de planificación del mantenimiento. Esta etapa busca definir los parámetros esenciales para garantizar el éxito en la integración del SE, es esencial la gestión del conocimiento del proceso, incluyendo la selección de herramientas de desarrollo, la determinación del tipo de SE a utilizar, la configuración de la arquitectura del sistema y la preparación para adquirir el conocimiento necesario. El responsable de la aplicación de la etapa será el operario de mantenimiento junto los informáticos definidos en el equipo de desarrollo, a continuación, se detallan cada una de estas actividades.

**Actividad 1: Definir la herramienta o lenguaje de desarrollo**

Esta actividad implica investigar y evaluar diferentes herramientas y lenguajes de programación que sean adecuados para el desarrollo del Sistema Experto de IA. Un factor determinante a la hora de elegir es experiencia del equipo, se considera la experiencia y competencia del equipo de desarrollo en relación con las herramientas o lenguajes de programación disponibles.

Después de definir la herramienta o lenguaje de desarrollo que se utilizará para construir el sistema, el siguiente paso crucial es determinar el tipo de SE que mejor se adapte a tus necesidades y objetivos. Esta elección estratégica guiará el enfoque tecnológico y funcional del proyecto, asegurando que el SE esté alineado de manera óptima con los requisitos de tu empresa en el campo del mantenimiento. Para el desarrollo de esta actividad se define un responsable: **Analista de mantenimiento con el programador del proceso,** a continuación, se detallan cada una de estas actividades.

**Actividad 2: Definir el tipo de sistema experto a utilizar**

La actividad de definir el tipo de Sistema Experto a utilizar es fundamental ya que determina la estrategia tecnológica que guiará el desarrollo del sistema. Elegir el enfoque correcto asegura que el SE sea eficiente, efectivo y se adapte adecuadamente al dominio y los objetivos del proyecto. Además, esta elección influye en la calidad de las decisiones que el Sistema Experto tomará y en su capacidad para resolver problemas específicos. Responsable: **Analista**

**Actividad 3. Definir la arquitectura del sistema**

La definición de la arquitectura y componentes de un SE, es un paso fundamental en el desarrollo de estos, pues es la base sobre la cual trabajaran los desarrolladores del programa. En esta actividad se definen los componentes principales, esto puede incluir el módulo de adquisición de conocimiento, motor de inferencias, la interfaz de usuario, la base de conocimiento y demás módulos necesarios para el correcto funcionamiento del

sistema. Esta arquitectura puede variar en dependencia del alcance del proyecto y las propias necesidades de éste. Responsable: **Diseñador y Arquitecto de software.**

Una vez sentada las bases de la planificación para la implementación del software, el siguiente paso será el uso de las etapas de planificación del proceso de mantenimiento.

**Actividad 4: Utilizar las etapas de la planificación del proceso de mantenimiento**

Para el desarrollo de esta actividad se utilizarán la **Etapa 2: Organización de la planificación del mantenimiento y Etapa 3: Hacer de la planificación,** del Procedimiento para la Gestión de la Planificación del Proceso de Mantenimiento, perteneciente a la Tesis Doctoral de .

La etapa de organización de la planificación del mantenimiento tiene como objetivo principal la caracterización de la organización objeto de estudio con respecto al proceso de planificación de mantenimiento. En esta etapa se unifican criterios, se clarifican los procesos, la información y se produce una motivación en los participantes como gestores de conocimiento. Lo que constituirá una de las entradas principales de datos al sistema es precisamente el conocimiento que se extraerá de la aplicación de estas etapas. Posteriormente se detalla el proceso de recopilación de datos para conformar la base de conocimiento del Sistema Experto para mejorar el proceso de planificación del mantenimiento.

**Actividad 5: Recopilar los datos para la conformación de la base de conocimientos**

La recopilación de datos es una etapa crucial en el proceso de conformación de la base de conocimiento de un Sistema Experto. Esta actividad implica la recopilación, organización y almacenamiento de información relevante que servirá como base para el sistema. El proceso de adquisición del conocimiento, con frecuencia es el componente más difícil en el proceso de desarrollo de un SE. Por esta razón es común que se presente como el cuello de botella en este proceso. En esta actividad se hace necesario la estructuración e implementación del conocimiento del equipo de expertos humanos, esto trae consigo una gran cantidad de trabajo, así como el establecimiento de comunicaciones ampliadas entre los expertos y el equipo de desarrollo. Esto constituirá la entrada para la etapa 3.

**Etapa 3: Hacer**

El objetivo de esta fase es materializar la visión estratégica establecida en las etapas anteriores. Esto implica la representación del conocimiento, donde se traslada todo el conocimiento definido anteriormente, permitiendo que este tome decisiones informadas. También se aborda la representación del motor de inferencias, esencial para el procesamiento de datos y la toma de decisiones automatizadas. Además, se crea la interfaz de usuario que facilitará la interacción del personal con el SE, asegurando que sea intuitiva y eficiente. Y se concluye con la conformación de un primer prototipo de SE, donde se integrarán cada uno de sus componentes.

**Actividad 1: Representar el conocimiento del proceso de mantenimiento**

La representación del **conocimiento profundo** es la encargada de dar solución a los problemas humanos, se refiere a la estructura interna y causal de un sistema y considera la interacción entre los componentes del sistema. El conocimiento profundo puede ser aplicado en diferentes tareas y situaciones, Se basa en la integración coherente de la

consciencia humana que incluye ideas, sentido común, intuición, etc. Este tipo de conocimiento es difícil de computarizar.

Para la implementación del SE, se propone utilizar código procedural, el cual contiene secuencias de operaciones para usar y manipular hechos (constantes o variables acotadas), por lo que si se parte de que las estructuras de datos y los objetos son formas de modelar un problema (sistema) y la forma de dar solución al problema es una Representación del conocimiento, entonces los programas escritos haciendo uso de los lenguajes de programación como Java, C++, Python son ejemplos de la representación procedural. Responsable: **Programador**

**Actividad 2. Representar el motor de inferencia**

La representación de un motor de inferencia parte de entender el dominio del problema en el que trabajara el SE. Definiendo las reglas y el conocimiento experto que se aplicarán en ese dominio. La implementación de dicho motor de inferencia se basa en aplicar algoritmos basados en la lógica proposicional y la lógica de predicados (Condicionales) que evalúen las reglas y el conocimiento almacenado en la base de conocimiento para tomar decisiones. Responsable: **Programador**

**Actividad 3: Crear el interfaz de usuario**

Para comenzar con la elaboración de una interfaz de usuario debemos comprender las necesidades y requisitos del proyecto. Esto implica investigar y recopilar información sobre el público objetivo, los objetivos del proyecto y las funcionalidades requeridas. La claridad sobre los requisitos es fundamental para diseñar una interfaz de usuario efectiva. Se deben realizar investigaciones, encuestas o entrevistas con los usuarios para obtener información sobre sus necesidades, habilidades, preferencias y demografía.

Pasada esta parte del diseño, comienza la creación de prototipos, donde se convierten los wireframes de baja fidelidad en prototipos de alta fidelidad. Utiliza herramientas de diseño como Sketch, Figma o Adobe XD para crear versiones interactivas de la interfaz o herramientas de desarrollo web como HTML, CSS, JavaScript para crear una interfaz de usuario donde nos aseguraremos que sea reponsive, es decir que se adapte a la pantalla. Se interrelacionan los usuarios con la interfaz, para ver si encuentran dificultades o confusiones, y toma nota de sus comentarios.

Una vez que el interfaz ha sido probado y refinado se puede comenzar con la implementación y el desarrollo. Se debe trabajar en estrecha colaboración con los programadores para garantizar que la interfaz se implemente correctamente y cumpla con los estándares de diseño y funcionalidad. Antes de lanzar la interfaz, se realiza pruebas finales para asegurarte de que todo funcione correctamente, se verifica la compatibilidad del sistema en diferentes dispositivos. Responsable: **Diseñador de Interfaz de Usuario, Programador, Usuario.**

**Actividad 4: Conformar prototipo de Sistema Experto**

El objetivo de esta actividad es conformar el prototipo funcional del Sistema Experto que integre y demuestre la operación conjunta de los componentes previamente desarrollados. Esto implica la reunión de componentes como el motor de inferencia, la base de conocimiento y la interfaz de usuario, asegurando su operación conjuntan. El prototipo se

somete a validación, verificando que cumple con los requisitos y objetivos establecidos. Posteriormente, se presenta a los interesados para obtener retroalimentación y se documenta el proceso de conformación del prototipo, incluyendo la estructura y funcionalidad integradas. Responsable: **Todo el Equipo de Desarrollo**

**Etapa 4: Verificar**

El objetivo principal de esta etapa es garantizar que el Sistema Experto diseñado para mejorar el proceso de planificación del mantenimiento cumple con los estándares y requisitos establecidos. Para lograr esto, se llevan a cabo diversas actividades. En primer lugar, se valida el prototipo del SE a través de la retroalimentación del grupo del grupo de expertos del proceso de mantenimiento, además se desarrollan actividades típicas del proceso de planificación del mantenimiento como se muestran a continuación. Responsable: **Grupo Experto en Mantenimiento.**

**Actividad 1: Validar prototipo de Sistema de Experto**

La última etapa del desarrollo de un SE, es precisamente la validación de sistema de mantenimiento en tiempo real. La verificación la realiza el desarrollador conjuntamente con el experto de mantenimiento. Esto se hace con el fin de probar las respuestas generadas por el sistema concuerdan con las brindadas por el grupo experto.

Para la verificación correcta del sistema se deben revisar un grupo de características:

- Si se ha empleado un razonamiento correcto
- Si el programa es sencillo de entender y operar
- Si el diseño e implementación permiten una conexión externa con otro software externo
- Si cumple con los protocolos de seguridad de la entidad
- Si la interfaz cumple con los requisitos mínimos

Para la ejecución de esta actividad se definen como responsables a **todos los roles involucrados en el desarrollo del SE**, ya que todos juegan un papel fundamental en la aprobación de su funcionamiento. Una vez verificados todos los aspectos relacionados con la implementación y puesta en marcha del sistema, se procede a analizar el cumplimiento de las principales acciones relacionadas con la planificación del proceso de mantenimiento.

**Actividad 2. Analizar el cumplimiento de las tareas definidas de acuerdo a lo planificado.**

En esta etapa se analizan el cumplimiento de las tareas definidas en la actividad 4 de la etapa de planificación (Utilizar las etapas de la planificación del proceso de mantenimiento). Además, se debe verificar que se analizaran la planeación estratégica de la entidad, con el objetivo de asumir el nuevo compromiso de los clientes con sus especificaciones para el nuevo periodo.

**Actividad 3: Documentar las situaciones extraordinarias en el proceso de actividad**

El objetivo de esta actividad es dejar evidencias de las deficiencias del activo para marcar lecciones aprendidas y las insatisfacciones del proceso, con el objetivo de no volverlas a cometer. Esta evidencia será detectada por el grupo de expertos y serán informadas al desarrollador, el cual las introducirá en la base de conocimientos del sistema, para no caer

en las mismas deficiencias posteriormente. Este proceso permitirá que los miembros del grupo experto tengan la oportunidad de conciliar la información a tiempo para tomar decisiones oportunamente, ya que en caso de no realizarse alguna de las la planificación no cumpliría su objetivo. Ya documentadas las situaciones extraordinarias, se procede a la comprobación de los riesgos empresariales de calidad, seguridad, medioambiente y de gestión de activos.

**Actividad 4: Comprobar los riesgos empresariales de calidad, seguridad, medioambiente y gestión de activos.**

En esta actividad se verifica que, para el mantenimiento del activo en cuestión, se han realizado cada una de las actividades según los requisitos y las normativas vigentes. Se tienen en cuenta estudios de riesgos como: incumplimiento de los planes de mantenimiento, intervenciones aplazadas sin justificación técnicamente argumentada, al coincidir una actividad productiva y una de mantenimiento sobre el mismo equipo . El resultado de esta actividad contribuirá a la organización de toda la documentación según la Resolución 66 (2021), permitiendo que los trabajadores puedan consultarla para posteriores estudios. Al ser comprobados los riesgos empresariales se deben analizar los cronogramas de planificación empresarial con el Grupo Experto en Mantenimiento como responsable.

**Actividad 5: Analizar los cronogramas de planificación empresarial**

En el país la organización de los cronogramas de planificación empresarial se realiza todos los años. Este proceso consiste en la entrega de las necesidades de mantenimiento de los activos según las condiciones técnico-organizativas de cada entidad. Las decisiones influyen directamente en que las necesidades estén o no, para incluirlas en el plan de la economía nacional, desde el punto de vista del nivel estratégico.

El plan de mantenimiento se dirige según las indicaciones anuales del Ministerio de Economía y Planificación, Resolución No. 53 / 2021 y Resolución No.15/2022 por lo que el plan de mantenimiento debe estar listo en el primer trimestre del año, ya que es la etapa en la cual se elaboran el presupuesto de gastos de capacitación, mantenimiento, salarios, materias primas e inversiones.

**Etapa 5: Actuar**

La quinta y última etapa del procedimiento, cuenta con cinco actividades que tienen como objetivo, ejecutar de forma eficiente el ciclo de mejora continua. Además, se controla el desarrollo de rutas críticas o nudos en el proceso de planificación del mantenimiento, se controla el plan de mantenimiento resultante, y se calcula la resiliencia del proceso de mantenimiento, como indicadores del proceso.

**Actividad 1: Mantenimiento y mejora continua del Sistema Experto**

En la etapa de mantenimiento del sistema deben estar presentes todos los protagonistas del desarrollo. El usuario detecta la falla en el sistema al este no encontrar una respuesta en su base de conocimientos. El usuario le informa a la administración quien decide si se debe actualizar la base de conocimientos y contacta al experto y al desarrollador. Al ser un problema nuevo del sistema, el cual no tiene respuesta, se debe realizar una nueva adquisición de conocimientos para el experto y el desarrollador y traducirlo a reglas, para

así ampliar la base con la que se cuenta. De esta manera el sistema puede estar en capacidad de generar mejores y mayor número de respuestas.

Algunas actividades del proceso de mantenimiento de un Sistema Experto son:

- **Actualización del conocimiento:** los SE dependen en gran medida del conocimiento, que puede volverse obsoleto con el tiempo. Se deben establecer procedimientos para adquirir y agregar nuevos conocimientos al sistema, ya sea a través de expertos humanos, fuentes de datos externas o procesos de aprendizaje automático.
- **Validación y verificación continua:** se deben realizar pruebas y evaluaciones periódicas para asegurarse de que el sistema tome decisiones precisas y efectivas.
- **Mejora de la interfaz de usuario:** a medida que evolucionan las tecnologías y las expectativas de los usuarios, es importante mejorar la interfaz de usuario del sistema para que sea más amigable y eficiente.
- **Optimización del rendimiento:** el mantenimiento debe abordar el rendimiento del sistema, incluida su velocidad y eficiencia. Se pueden realizar ajustes en el motor de inferencia o en los algoritmos subyacentes para mejorar el tiempo de respuesta y la capacidad de manejo de carga.
- **Seguridad y cumplimiento:** el mantenimiento debe abordar la seguridad y el cumplimiento de regulaciones relevantes. Esto incluye la protección de datos sensibles, la gestión de riesgos y la adaptación a cambios en la legislación o políticas de seguridad.
- **Capacitación de usuarios y personal:** a medida que el sistema evoluciona, es esencial proporcionar capacitación continua tanto a los usuarios finales como al personal que mantendrá y operará el sistema. Se definen como responsable de esta etapa a todo el equipo de desarrollo del sistema.

**Actividad 2: Controlar el desarrollo de la ruta o nudos críticos del proceso**

La identificación de puntos críticos en la gestión de la planificación del proceso de mantenimiento se lleva a cabo en cada etapa del proceso, y su importancia radica en la entrega oportuna de información necesaria en las fases de organización y ejecución de la planificación. Estas metodologías ayudan a evaluar el estado actual de los activos que se van a planificar y permiten tomar decisiones informadas sobre las prioridades y la asignación de recursos en el proceso de mantenimiento. El responsable es el grupo experto en mantenimiento.

Una vez controladas las rutas o nudos críticos del proceso de planificación del mantenimiento se debe controlar también la conformación del plan resultante.

**Actividad 3: Controlar la conformación del plan resultante**

Para el desarrollo de esta actividad se deben cumplir las actividades siguientes:

- Analizar que el plan cuente con todos los activos o familia de ellos que necesiten acciones de mantenimiento en el período establecido.
- Comprobar que el plan elaborado haya teniendo en cuenta el estudio de criticidad comenzado con el activo más crítico del proceso productivo.

- Verificar que en el plan todas las actividades para las intervenciones, cuenten con los recursos e insumos necesarios para su realización.
- Evaluar el margen de error en función del cálculo de los recursos, para apoyar la resiliencia de la planificación del mantenimiento.

Se define como responsable de la aplicación de la actividad al grupo experto en mantenimiento.

**Actividad 4: Analizar la resiliencia en la organización a partir de la planificación del mantenimiento**

El análisis de resiliencia se realiza con el objetivo de conocer las capacidades de reacción del proceso de mantenimiento de la entidad, con el objetivo de disminuir las afectaciones al proceso productivo de la empresa. El éxito radica, en la rapidez con que se atiendan las demandas de mantenimiento. En este análisis se consideran las pérdidas económicas por mantenimiento, cuando exceda el tiempo de parada y se deseche el producto. El cálculo del grado de resiliencia se analizará según la ecuación propuesta por . El responsable de esta actividad es el grupo experto en mantenimiento.

**Actividad 5: Definir los indicadores para medir la planificación del proceso de mantenimiento.**

Para medir el nivel de comportamiento del proceso de planificación del mantenimiento en la entidad objeto de estudio, se utilizarán los indicadores propuestos por , a partir de cada una de las etapas definidas del proceso. Estos datos son esenciales para generar planes de acción y mantenimiento efectivos. Los expertos y trabajadores de las áreas pertinentes proporcionan esta información, que se utiliza en la creación del plan de mantenimiento. Se define como responsable de la actividad al grupo experto en mantenimiento.

## 3. Beneficio de la propuesta de solución

Con la implementación de la propuesta se fortalece el conocimiento, la toma de decisiones y se contribuye a la resiliencia del proceso de entidad en el puesto de trabajo. Queda definido como fuerza de trabajo el técnico en la entidad, el método de trabajo será el procedimiento propuesto y el objeto de trabajo será la planificación del proceso de mantenimiento y la resolución de averías.

Actualmente, cuando ocurre una avería en la planta, el técnico del turno tarda como promedio entre 23 a 27 minutos para la resolución de esta y la puesta en marcha del sistema, con el objetivo de que el producto no pierda sus características técnicas. En la mayoría de los casos debido a que, al no poseer el conocimiento necesario para ejecutar las labores correspondientes, necesita la consulta del especialista principal de la planta, esta consulta se hace vía telefónica ya que el especialista termina sus funciones con el cierre de la jornada laboral (4:30 pm).

Con la implementación de la propuesta se estima que el tiempo de resolución de la avería disminuya a aproximadamente entre 10 y 15 minutos, ya que el sistema tendrá almacenado todo el conocimiento del propio experto y el técnico a través de llamadas al sistema será retroalimentado con el conocimiento simulado para resolver la avería.

## 4. Conclusión

1. Se conformó un método, apoyado en inteligencia artificial, con la herramienta: Sistema Experto, para la agrupación del conocimiento sobre la planificación del proceso de mantenimiento y con retroalimentación del proceso de planificación del mantenimiento empresarial.
2. El procedimiento desarrollado es el resultado de un diseño integral que combina elementos clave de la planificación del mantenimiento y la resolución de averías y la implementación de un Sistema Experto de Inteligencia Artificial. Esta fusión estratégica ofrece un enfoque robusto para mejorar la eficiencia y la efectividad del proceso de mantenimiento.
3. Con la implementación de la propuesta se evidencia la mejora en el puesto de trabajo del técnico en la entidad ya que se proporciona una herramienta con conocimientos, que aumenta la capacidad de reacción del técnico ante una avería y disminuye el tiempo de resolución de estas en un tiempo aproximado entre 10 y 15 minutos.

## 5. Referencias bibliográficas

# El Logístico y su Panel de Mando, herramientas para la gestión del inventario.

# *The Logistics and its Control Panel, tools for inventory management.*

**Alexis Benitez Soriano**[1*]
**Joaquin Veranes Pérez** [2]
**Igor Lopes Martínez** [3]
**Legna Díaz Oliva** [4]
**Amanda García Marichal** [5]

[1*]Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA), Grupo de Logística Guantánamo, Móvil: 52880818, alexy.benitez@etecsa.cu,

[2]Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA), Grupo de Logística Guantánamo, Móvil: 52186547, joaquin.veranes@etecsa.cu

[3] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) *"José Antonio Echeverría",* Facultad Ingeniería Industrial, CUJAE, ilopes@ind.cujae.edu.cu

[4] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) *"José Antonio Echeverría"*, Facultad Ingeniería Industrial, CUJAE, legnadi@tesla.cujae.edu.cu

[5] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) *"José Antonio Echeverría"*, Facultad Ingeniería Industrial, CUJAE, amandaga@ind.cujae.edu.cu

---

**Resumen:**
La administración correcta de los inventarios resulta clave para el funcionamiento exitoso de cualquier empresa, es por ello que la gestión de inventarios se ha convertido en un tema crucial a nivel mundial, ya que permite llevar un control adecuado de los productos o materiales disponibles, su almacenamiento, movimiento y uso eficiente, que a partir del monitoreo de indicadores logísticos y la ayuda de métodos como ABC posibilitan evaluar el desempeño de la gestión de los inventarios, para su optimización, reducción de costos y mejora en la toma de decisiones, y garantizar la satisfacción de la demanda de los clientes. En este sentido, la presente investigación, tiene como objetivo crear dos herramientas que posibilitan un análisis cuantitativo y cualitativo de la gestión del inventario; para ello, se utilizaron métodos como análisis y síntesis, observación directa, entrevistas y recopilación de datos. La implementación de estas herramientas contribuyen positivamente en la calidad de la información que se le ofrece a los directivos y trabajadores sobre el cumplimiento mensual de los

indicadores de inventario como son: el valor de inventario, su movimiento y rotación, las fluctuaciones de las cuentas, entre otras informaciones para aumentar la eficiencia y eficacia en la toma de decisiones en la División territorial en Guantánamo, perteneciente a la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba Sociedad Anónima (ETECSA S.A).

**Palabras clave:** indicador; gestión de inventario, ABC

***Abstract**: The correct inventory management is key to the successful operation of any company, which is why inventory management has become a crucial issue worldwide, since it allows for adequate control of the products or materials available, their storage, movement and efficient use, which from the monitoring of indicators and the help of methods such as ABC make it possible to evaluate the performance of inventory management, for its optimization, cost reduction and improvement in decision making, and ensure satisfaction of customer demand. In this sense, the present research aims to create two tools that enable a quantitative and qualitative analysis of inventory management; for this, methods such as analysis and synthesis were used, direct observation, interviews and data collection. The implementation of these tools contributes positively to the quality of information offered to managers and workers on the monthly compliance of inventory indicators such as: inventory value, its movement and rotation, the fluctuations of the accounts, among other information to increase the efficiency and effectiveness in the decision-making in the territorial division in Guantanamo, belonging to the Telecommunications Company of Cuba Sociedad Anónima (ETECSA S.A).*

***Keywords:** indicator, inventory management, ABC*

---

# Introducción

En la actualidad no existe ninguna empresa que persiga el éxito en su desarrollo sin que incorpore a sus procesos elementos de gestión que le permitan monitorear su desempeño, estudiar el camino transitado, aplicar correctivos de ser necesarios cuando ha detectado desviaciones incorrectas y permitirle evaluar sus logros. Para llevar ese monitoreo y control de los inventarios, se suelen utilizar indicadores que permitan visualizar el estado actual de los inventarios y medir de manera objetiva y precisa el desempeño y la eficiencia en la administración de los inventarios, proporcionando información clave para tomar decisiones estratégicas y operativas. Para ello, estos indicadores (Johnson, 2020), deben de establecerse desde el mismo momento en que se elabora el plan de desarrollo estratégico de la empresa.

Actualmente, la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A en la División Territorial de ETECSA de la provincia de Guantánamo, cuenta con SAP-MM un sistema MRP donde se realizan todas las operaciones relacionadas con los inventarios, pero tiene como deficiencia que no cuenta con un panel de mando dedicado

específicamente al seguimiento de indicadores, de esta forma se generan problemas en la visibilidad de los datos que dificulta que la información que se le brinda al Consejo de Dirección no esté centrada en un lugar lo que conlleva a una la manipulación de gran cantidad de datos obtenidos de forma independiente donde puede existir errores humanos. Para el Consejo de Dirección es esencial contar con un sistema de evaluación efectivo de estos indicadores, para así analizar los datos pertinentes, pronosticar ventas, resultados, eliminar las apreciaciones subjetivas y fomentar la participación de los trabajadores.

Ante esta situación, se crea un panel de control que permita realizar un análisis cuantitativo de la actividad logística, y la confección de una revista que lleva como nombre "El Logístico", analizando desde el punto de vista cualitativo toda la información brindada en ese panel, lo que permite influir positivamente en la calidad de la información que se le ofrece a los directivos y trabajadores sobre el seguimiento al cumplimiento de los indicadores de inventario para aumentar la eficiencia y eficacia en la toma de decisiones en la División territorial en Guantánamo.

## Materiales y métodos

Para el estudio y confección de la investigación se utiliza el métodos de observación directa, entrevistas efectuadas con cada especialista principal de las áreas que consumen el inventario, además del especialista de calidad que presenta el cumplimiento de los indicadores de desempeño en los concejos de dirección para conocer la estructura de los informes, criterios y sugerencias; estas entrevista contaban con preguntas abiertas, con el fin de que el entrevistado pudiera dar su opinión y comentarios libremente sobre la presentación de los datos. Se realizó un análisis y síntesis de los concentos relacionados con la logística y el Excel como herramienta en la presentación de informes a la administración de empresa accediendo a los trabajos de investigación, tesis y artículos publicados en la bases de datos del Google académico, Scielo (Figura 1), además fueron visitados el Repositorio de la Sociedad Cubana de Logística-ANEC y Repositorio digital e institucional Universidad Cesar Vallejo, se preparó un fichero Excel con dos hojas fundamentales, en la primera hoja se crearon tablas anuales donde se ordenaron los indicadores en una columna única y seguido de los meses de Enero-Diciembre ordenado de una forma homogéneo que permitiera agrupar los resultados mediante fórmulas arrastrar los valores tomados de ficheros de tipo .xlsx grabados de forma independiente del sistema SAP-MM, un sistema MRP (en inglés: Materials Requirements Planning).

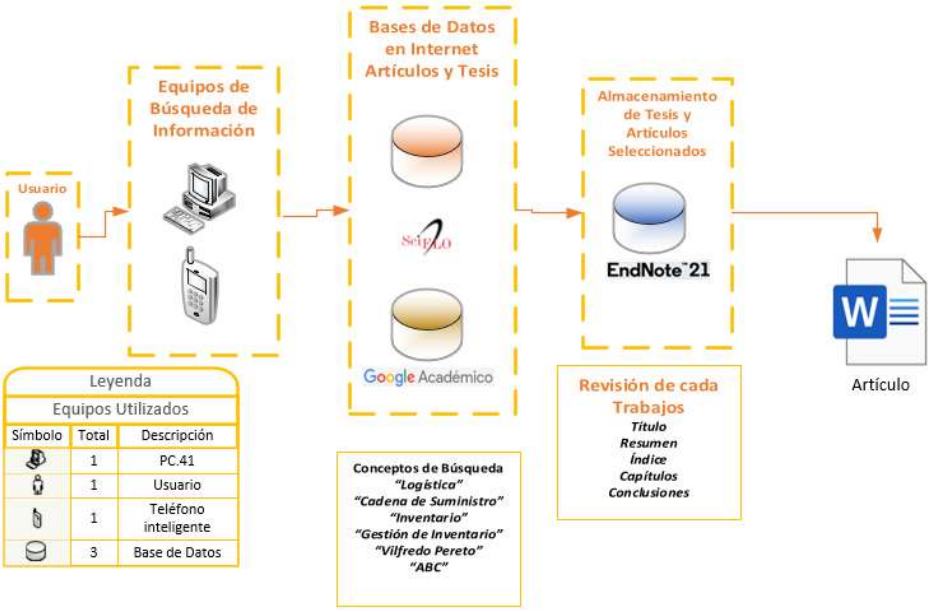



**Figura *1*.** Diagrama de captación de bibliografías y materiales. Fuente Propia

Se tomó el concepto de varios autores entre los que se encuentra (Acevedo Suárez, Urquiaga, & Gómez , 2007), sobre el inventario expresaron que es la "cantidad de recursos que se despliegan a lo largo del complejo sistema de relaciones intra e interempresa (cadena logística) para permitir su operación económica y fluida, a la vez que para absorber el impacto de la variabilidad e incertidumbre asociadas a la operación, garantizando la máxima satisfacción del cliente".

Así mismo "la medición del desempeño mediante indicadores solo ayuda a la identificación de problemas existentes", analizando el histórico de una operación, pero se considera necesaria la identificación de las causas de estos problemas para tomar acciones asociadas a su solución. Por esto las empresas de éxito conocen sus fortalezas y debilidades, participan en actividades de benchmarking frecuentemente y mantienen un registro exacto de las operaciones de inventario", además de darle especial importancia a la evaluación de la gestión de inventarios de una manera integral (Veloz Navarrete & Parada Gutiérrez , 2017), donde todos los actores se vean reflejados y se busque un consenso en las decisiones de inventario para el logro de un objetivo común. Una adecuada gestión de inventarios se logra con un funcionamiento apropiado de las relaciones intra-empresariales y en el marco de la cadena de suministro (Acevedo Suárez, Urquiaga, & Gómez , 2007) . También se toma lo planteado en la conclusión número 3 del artículo publicado por los autores (Lopes Martínez & Gómez Acosta, 2012), donde plantea que "los procedimientos de gestión de inventario deben completar el uso de los modelos matemáticos con la evaluación de la gestión organizacional que afecta la gestión de inventario". Motivado por la conclusión número 2 del anterior artículo que plantea la necesidad de "desarrollar herramientas que permitan evaluar, comparando con referenciales a través de auditorías logísticas, la gestión de inventario

de una manera integral" (Lopes Martínez & Gómez Acosta, 2012) y (Corbea, González, & Gozález, 2022), los autores de este trabajo utilizando el software Microsoft Office Excel 2016 se dieron a la tarea de crear un panel de control que permitiera realizar un análisis cuantitativo de los indicadores que midan el desempeño del grupo de logística, además de la utilización de Microsoft Office Word 2016 para la confección de una revista informativa nombrada "El Logístico", analizando desde el punto de vista cualitativo que posibilita no solo brindar información necesaria para desarrollar una auditoría eficiente, sino adelantarse e ir corrigiendo el camino mediante los prismáticos que representan los indicadores en la dirección de las empresas (Corbea, González, & Gozález, 2022), (Garrido Bayas & Cejas Martínez, 2017).

## Resultados y discusión

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA) es una entidad dedicada a brindar servicios públicos de telecomunicaciones, incluyendo su evolución tecnológica, mediante la proyección, operación, instalación, explotación, comercialización y mantenimiento de redes públicas de telecomunicaciones. En cada provincia existe una sede o División Territorial que es responsables de asegurar el desarrollo y expansión de esta empresa.

En la División Territorial de ETECSA de la provincia de Guantánamo existen varios departamentos entre los que se encuentra el departamento de Logística y Servicios, al cual pertenece el Grupo de Logística. Este grupo tiene la misión de optimizar y desarrollar los procesos de recepción, almacenamiento y distribución de mercancías con el objetivo de garantizar la entrega del producto, en el debido tiempo y en el lugar preciso a los usuarios internos de la empresa. Anualmente se establecen los objetivos de trabajo, así como serán implementados los lineamientos de la política económico y social del Partido y la Revolución.

Para el cumplimiento de los objetivos y lineamientos se establecen indicadores que descansan sobre la gestión del inventario permitiendo a la dirección de la división evaluar el desempeño de departamentos, Centros de Telecomunicaciones y el grupo de logística de esta división donde se desarrolló este trabajo.

Entre los indicadores gestores del inventario que evalúan su desempeño se encuentran los siguientes:

- Valor de inventario a nivel de División Territorial.
- Valor de inventario por área de consumo material.
- Valor de inventario por Centro de Telecomunicaciones.
- Rotación del inventario a nivel de División Territorial.
- Rotación del inventario por Centro de Telecomunicaciones.
- Cumplimiento del movimiento de inventario por División Territorial.

- Cumplimiento del valor de la cuenta Equipos por instalar.

Todas las operaciones con los productos en el inventario tales como entradas, salidas, transferencias, las altas y bajas de productos se realizan a través del sistema SAP-MM, un sistema MRP (en inglés: Materials Requirements Planning), este sistema es muy potente sin embargo no cuenta con un panel de mando dedicado específicamente al seguimiento de estos indicadores, es por ello que para la confección de la información que es ofrecida al Consejo de Dirección de la División Territorial, Centros de Telecomunicaciones y Departamentos para el análisis de su desempeño en la gestión del inventario (Alvarez Gutiérrez & Álvarez, J., 2020), además de informes solicitados por auditorías tanto internas como externas, rendiciones de cuentas al Sindicato y los núcleos del Partido Comunista de Cuba, información necesaria para la presentación de tesis final de grado de las carreras Contabilidad y Finanzas, Ingeniería Industrial, además de Diplomados y Maestría es necesario la manipulación de gran cantidad de datos obtenidos de forma independiente por cada pantalla o transacción. Estos datos eran ordenados, filtrados, totalizados en Excel, luego son validados los mismos con el fichero original para confeccionarse tablas y gráficos, seguidamente se realiza el análisis plasmándose en un informe que se envía al Consejo de Dirección.

Este proceso ha requerido de la emisión de un procedimiento por parte de la División de Logística y Servicios de la dirección nacional para lograr homogenizar el resultado para todo el país. Por tanto, los autores de este artículo utilizando la gran influencia e impacto que nos ofrece la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones para el desarrollo de cualquier empresa en el mundo (Proaño Castro & Orellana Contreras et , 2018); (MICOMS, 2019), (Pineda Henao , 2020), (Almaguer Almaguer & Malleuve Martín, 2023), (Delgado Fernández, 2020); (Feliciano Cestero & Ameen et al. , 2022), se dieron a la tarea de crear una herramienta útil para la realización de los análisis cuantitativos de la gestión de inventario al ser creado un panel de mando donde se reflejase el comportamiento estadístico de los indicadores de la gestión de inventario (Contreras, y otros, 2019), en primer lugar y luego se le adicionaron todos los indicadores del desempeño de la logística en el territorio, además de dotarlo de la aplicación del método ABC para el análisis de los productos.

**Método ABC**



Vilfredo Federico Damaso Pareto
**(15 de Julio de 1848 - 19 de Agosto 1923)**

El sociólogo y economista italiano Vilfredo Pareto observó que el 20% de la población tenía el 80% del poder político y económico, y, por otro lado, el resto, es decir, el 80% de la población solo tenía el 20% del poder y de riqueza. Esto es lo que hoy en día se conoce como la ley 20/80 o ley de Pareto. Esta ley se puede aplicar en todos los entornos, ya sean empresariales o personales. A nivel empresarial se aplica en ámbitos como el control de calidad, las entradas y salidas, logística, y gestión de inventarios: aproximadamente el 20% de los artículos en un almacén representan el 80% de existencias. La ley de Pareto ha desatado una segmentación más eficiente, como lo es la clasificación ABC que se divide de la siguiente forma:

- 💰 Clasificación como A

Los productos de esta categoría representan un 80% del valor total del stock y un 20% el total de los artículos, además para el monitoreo se realizan controles exhaustivos en ciclos más frecuentes y por ultima características los productos tienden a situarse en zonas bajas con acceso rápido y directo.

- 💰 Clasificación como B

En esta categoría las inspecciones se realizan mediante sistemas computarizados en ciclos de revisión periódicas. Representan el 30% del inventario total y figuran con un 15% del valor total de ingresos; el lugar de ubicación es en zonas de altura intermedia cuyo acceso no es tan directo en relación con los productos de categoría A.

- 💰 Clasificación como C

Dentro de esta categoría se involucra al 5% del valor total de stock representado por un 50% de todos los artículos, la inspección o monitoreo que se realizan a estos productos es baja o nula, la zona de ubicación es en las partes más altas y menos accesibles ya son los bienes menos demandados por parte de los clientes.

El sistema de control de inventarios por método ABC es muy útil para mantener el inventario de la empresa clasificado de una manera ordenada, teniendo el conocimiento de que valor representa para la empresa, cuáles son sus costos de venta, y así poder dividirlos por categorías según su nivel de importancia y las características de cada uno. (Pacheco, 2019) , (Alvarez Gutiérrez & Álvarez, J., 2020), (Antonio Vidaña, Ramos Hernández, & Pérez Hernández, 2022)

El análisis ABC es un método de clasificación frecuentemente utilizado en gestión de inventario. Resulta del principio de Pareto. (Pareto, Giménez, & José, 2009), Figura 2

También plantean (Pareto, Giménez, & José, 2009) que permite identificar los artículos que tienen un impacto importante en un valor global (de inventario, de venta, de costes, etc.), y también se pueden crear categorías de productos que necesitan niveles y modos de control distintos.

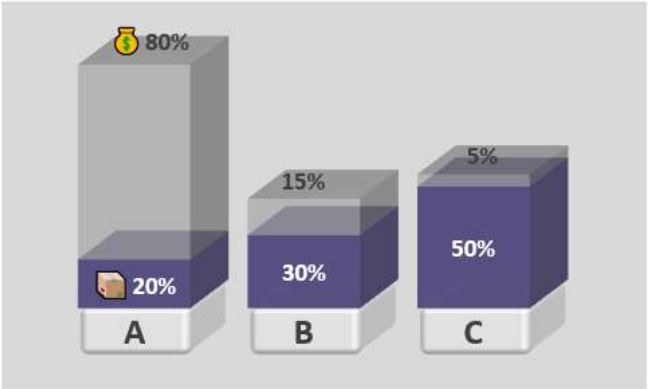



**Figura *2.*** Diagrama de Pareto. Fuente Propia

Según (BLANCHARD, 2010),"la medición del desempeño mediante indicadores solo ayuda a la identificación de problemas existentes, analizando el histórico de una operación, pero se considera necesaria la identificación de las causas de estos problemas para tomar acciones asociadas a su solución. Por esto las empresas de éxito conocen sus fortalezas y debilidades, participan en actividades de benchmarking frecuentemente y mantienen un registro exacto de las operaciones de inventario".

Producto a lo planteado anteriormente no bastó con realizar un sistema de notas o comentario a las vistas, sino que se realizó la evaluación cualitativa de la gestión de inventario a través del diseño y lanzamiento mensual de una revista que llevó como nombre "El Logístico", la cual recoge las valoraciones de los diferentes procesos, dificultades presentadas, así como la interpretación de los datos aportados en el panel de control o mando, como se muestra en la figura 3.

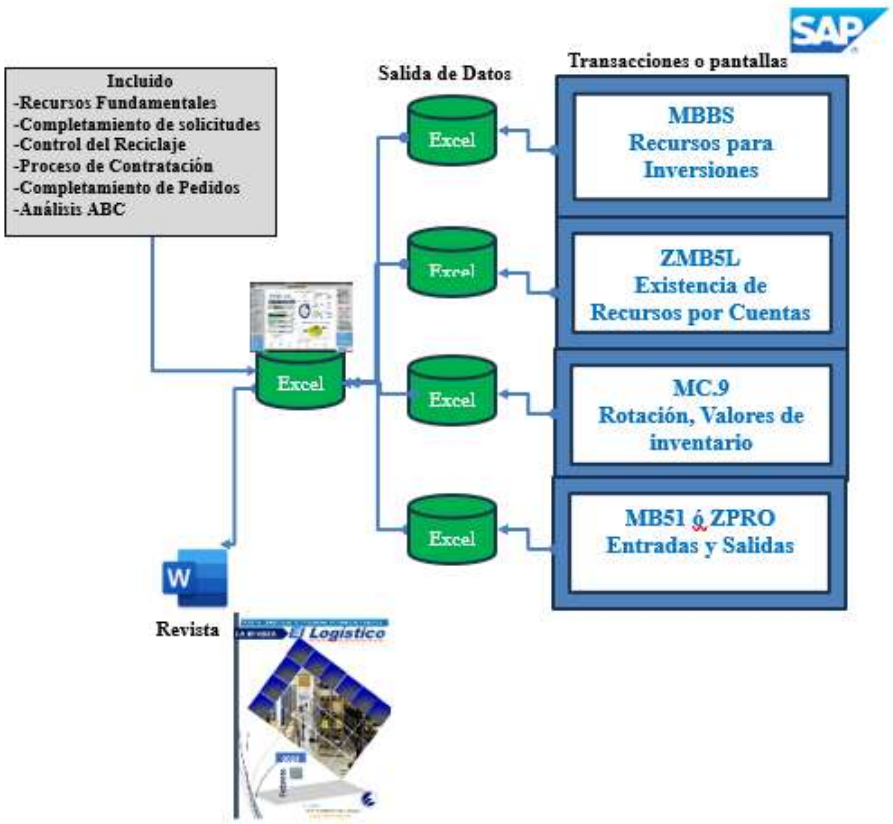



**Figura 3.** Flujo de confección de la revista "El Logístico". Fuente propia

El panel fue ubicado en el servidor de la División territorial de ETECSA en Guantánamo, donde todos los trabajadores tienen acceso a visualización de datos y se le circuló vía correo electrónico a todos los jefes de departamentos y Centros de Telecomunicaciones para que tengan acceso a la evaluación cuantitativa de los indicadores de gestión del inventario a través de la visualización de tablas y gráficos pictográficos para posibilitar una mejor interpretación de su comportamiento e interacción.

El panel de mando (ver figura 4), posee 2 listas de selección en la parte izquierda que muestran el año y mes de trabajo, donde el usuario puede seleccionar los análisis desde el mes de enero del 2018 hasta la actualidad. En la franja superior existen 5 gráficos que muestran el comportamiento del cumplimiento de los indicadores fundamentales del grupo de logística, destacándose de color rojo los que se incumplen en el período seleccionado. Se puede apreciar también el valor del inventario, las cuentas fundamentales, así como el cumplimiento del índice de calidad percibido por nuestros clientes internos.

En la parte central también se muestra el nivel alcanzado por los almacenes en el proceso de categorización, así como los que no están categorizados. Por otra parte, se le informa al que lo utiliza como se

va comportando el proceso de contratación con los proveedores, horario de atención a clientes y la fecha de los inventarios del 10% y 100%.

A ambos lados se situaron una serie de accesos a vistas las cuales se muestran a continuación, además serán listadas las diferentes informaciones que les brinda.




**Figura 4.** Panel de Mando. *Fuente propia*

En el grupo de INDICADORES aparece la opción de desempeño (Ariza Castañeda & Barbosa Torres, 2020), esta muestra el comportamiento en el año seleccionado de los indicadores fundamentales del grupo de logística como mostramos en la figura 5, contando con un comentario de que representa cada uno de estos.




**Figura 5**. Indicadores del desempeño logístico. *Fuente propia*

El grupo INVENTARIO recoge los estudios más detallados sobre su valor, rotación, movimiento, cuentas y ajustes.

**Tabla *1.*** Información sobre el Indicador el Valor del Inventario

| No. | Análisis que se muestra |
|---|---|
| 1 | Monitoreo semanal del cumplimiento del valor de inventario de la División Territorial de ETECSA en relación al valor meta establecido. |
| 2 | Seguimiento del valor de inventario a nivel de Centros de Telecomunicaciones y departamentos siendo comparado con el valor establecido. |
| 3 | Selección de los recursos de mayor valor en el inventario de forma general o por departamentos, además de los Centros de Telecomunicaciones. |
| 4 | Evaluación de las series o grupos de artículos de mayor valor en el inventario. |
| 5 | Fragmentación del inventario por áreas de consumo. |
| 6 | Comparación histórica de los valores de inventario actual con los últimos 6 años almacenados en el fichero. |
| 7 | Evolución de los recursos transferidos a los Centros de Telecomunicaciones y para la ejecución de las inversiones. |
| 8 | Análisis ABC de forma general y por área de consumo. |

La rotación del inventario mide las veces que un producto es consumido para la creación de un servicio y mientras mayor es la rotación, más eficiente será la empresa. En la tabla 2 se muestra la información que puede ser analizada en la vista.

**Tabla 2.** Información sobre el Indicador: Rotación del Inventario

| No. | Análisis que se muestra |
|---|---|
| 1 | Seguimiento a la rotación del inventario a nivel de División Territorial y Centros de Telecomunicaciones y su comparación con el valor meta establecido. |
| 2 | Comparación histórica de la rotación con el año anterior y con 6 años almacenados. |
| 3 | Listado de recursos que no poseen movimiento, así como el tiempo estático. |

Cuando se realiza un estudio de la relación existente entre la entrada y la salida mensual de los recursos y de forma acumulada estamos en presencia del movimiento de inventario este indicador busca no solo mantener estables el valor del inventario, sino ir consumiendo lo que se ha quedado estático en el almacén de meses anteriores. En la tabla 3 se muestra la información que puede ser analizada en la vista.

**Tabla 3.** Información sobre Indicador del Movimiento del Inventario

| No. | Análisis que se muestra |
|---|---|
| 1 | Comportamiento mensualizado del Movimiento de Inventario en la División Territorial. |
| 2 | Estudio de las Entradas y las Salidas de forma mensual y acumulada. |
| 3 | Salidas del Inventario por Centro de Telecomunicaciones. |
| 4 | Comparación del Movimiento del inventario desde 2018 hasta la fecha. |

El estudio de las cuentas de inventario posibilitó el conocer como era el comportamiento de cada una de estas cuentas, listar los recursos por cada una de las cuentas como son Ocioso, Lento Movimiento, Recursos en Garantía y otras 20 cuentas.

En la tabla 4 se listan las vistas a que pueden tener acceso cualquier trabajador que utilice el panel de mando.

**Tabla 4.** Cuentas del Inventario

| No. | Análisis que se muestra |
|---|---|
| 1 | Cumplimiento mensualizado de los Equipos por Instalar en la División Territorial. |
| 2 | Los Items de mayor valor: la cuenta Equipos x Instalar del 10 al 50. |
| 3 | Comportamiento de la cuenta Ocioso. |
| 4 | Comportamiento de la cuenta Recursos en Garantía. |
| 5 | Comportamiento en el año de cada una de las cuentas del inventario. |
| 6 | Comparación de la cuenta Equipos por Instalar desde 2018 hasta 2023. |

La siguiente opción no representa un indicador del inventario, sin embargo, es un indicador de desempeño del grupo de logística, aún más es el compromiso de la División Territorial de Guantánamo con el reciclaje y el cumplimiento con la Economía Circular, da acceso al contrato establecido con la Empresa Recuperadora de Materias Primas, la Ley 1288 de 1975, plan de entrega de materias primas, nombramiento de los representantes en cada centro recolector y las facturas que se van contabilizando. Seguidamente se relaciona en la tabla 5 la información que es ofertada por el panel.

Hasta el momento toda la información brinda un punto de vista cuantitativo, breve información y el análisis que se ofreció en el plegable y las vistas.

Para el análisis desde el punto de vista cualitativo surgió la revista "El Logístico", completando así la unión entre las dos herramientas

## Conclusiones

1. La gestión del inventario solo puede lograrse con la aplicación de los análisis cuantitativos complementados con el análisis cualitativo.
2. El cumplimiento de los indicadores de gestión de inventario se puede utilizar como un incentivo para el pago de premios y descuentos a la hora de medir el desempeño de un departamento o grupo.
3. La utilización de los indicadores logísticos, permite analizar el desempeño de los grupos de logística de ETECSA en el país, desde un punto de vista sistémico y específico.
4. La capacitación sobre la Gestión de Inventarios a los trabajadores de la División Territorial de ETECSA Guantánamo es primordial para el logro de la rentabilidad de la empresa.

## Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios y a San Judas Tadeo, mi familia, profesores de la CUJAE y compañeros de ETECSA, además del equipo de la Editorial de la revista "**tono**".

## Bibliografía

León Reyes, Y., Miranda Lorenzo, Y. O., Mantilla Hereira , M. d., Cinta Delgado, R. V., & San Martín Carmenate , L. E. (2023). Monografía:La Gestión Logística en el Contexto Cubana. *Universidad Matanzas; ISBN: 978-959-16-5074-0*.

Acevedo Suárez, J., Urquiaga, A., & Gómez , M. (2007). *La Logística Moderna en la Empresa.* La Habana: LOGICUBA.

Almaguer Almaguer , A., & Malleuve Martín, A. (2023). Informatización y transformación organizacional, claves de eficiencia y competitividad en el sistema empresarial. *Revista Cubana de Transformción Digital, 4*(2).

Alvarez Gutiérrez, Y., & Álvarez, J., W. (2020). ). Método ABC para mejorar la gestión de los inventarios en la empresa comercializadora Escambray Guantánamo. *Revista Cubana de finanzas y precios, 4*(3), 19-28.

Antonio Vidaña, P. R., Ramos Hernández, R., & Pérez Hernández, I. (2022). Control de inventario mediante método ABC para una empres de transporte, Análisis sistémico por familias. *CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica, 20*(2).

Ariza Castañeda, Y., & Barbosa Torres, K. (2020). Propuesta De Diseño De Gestión De Inventarios, Basado En El Método ABC, A Través De Indicadores De Medición, Para La Empresa En Electrofernández. (R. i. Cundinamarca., Ed.) *Universidad de Cundinamarca.* Obtenido de https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3336

BLANCHARD, D. (2010). *Supply chain management: best practices* (2nd ed.). Hoboken, N. J, USA: John Wiley & Sons, 2010, ISBN 978-04-705-3188-4, pp. 14-39.

Contreras, A., Cárdenas, C., González, J., Toloza, S., Zambrano, L., & Pulido Rojas, A. (2019). Herramientas estadísticas para la mejora del control de inventarios: un caso de estudio. (R. L. TIC, Ed.) *Universidad Simón Bolivar, 10*(1), 14-25. Obtenido de http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identic

Corbea, F., González, O., & Gozález, A. (2022). La información en la actividad de dirección de las organizaciones. 83-94.

Delgado Fernández, T. (2020). "Taxonomía de transformación digital". *Revista Cubana de Transformación Digital, 1*(1), 4-23.

Feliciano Cestero, M., & Ameen et al. , N. (2022). "Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms' digital transformation and internationalization". *Journal of Business Research, 157*.

Garrido Bayas, I. Y., & Cejas Martínez, M. (2017). La gestión de inventario como factor estratégico en la administración de empresas. *Revista Ciencia UNEMI Gerenciales*(37), 109-129. Obtenido de www.revistanegotium.org.ve /

Guzmán JOJOA, F. A. (2021). Herramientas Tecnológicas en Logística. *Instituto de Logística Avanzada*. Obtenido de https://www.logisticaavanzada.org/herramientas

Johnson, A. (2020). Indicadores KPI en Logística. *Revista de Logística Moderna*, 45-58.

Lopes Martínez, I., & Gómez Acosta, M. I. (2012). *Auditoría logística para evaluar el nivel de gestión de inventario en empresas.* La Habana: Ingeniería Industrial/ISSN 1815-5936/Vol. XXXIV/No. 1/enero-abril/2013/p.108-118.

MICOMS. (2019). *Política integral para el perfeccionamiento de la informatización de la sociedad cubana.* Cuba. Obtenido de https://www.mincom. gob.cu/es/noticia/%C2%BFc%C3%B3mo-cuba-ordena-jur%C3%ADdicamente-el-proce-so-de-informatizaci%C3%B3n.

Pacheco, J. (2019). *¿Qué es el Método ABC de inventarios y cuáles son sus beneficios?* España. Obtenido de https://www.webyempresas.com/metodo-abc-de-inventarios/#%C2%BFEn_que_consiste_el_metodo_ABC

Pareto, V., Giménez, A., & José. (2009). *Economía de la empresa 2* (Vols. ISBN 978-84-481-6984-8).

Pineda Henao , A. E. (2020). La comunicación organizacional en la gestión empresarial: retos y oportunidades en el escenario digital. *Revista GEON, 7*(1).

Proaño Castro, M., & Orellana Contreras et , S. (2018). Los sistemas de información y su importancia en la transformación digital de la empresa actual. *Revista ESPACIOS/ ISSN 0798 1015, 39*(45), 3.

Veloz Navarrete, C., & Parada Gutiérrez , O. (2017). Métodos para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Revista Ciencia UNEMI, 10*(22), 1-10. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6151210

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# COMPETENCIAS LABORALES Y SU INFUENCIA EN A COMPETITIVIDAD ORGANIZACIONAL EN LA EMPRESA CUBANA DEL TABACO CUBATABACO.

**Autora: Lic. LILIA TUERO MAURIZ**[1]

**Resumen**

La gestión de los recursos humanos constituye un elemento esencial dentro de la gestión de las organizaciones, resaltando en tal propósito su enfoque estratégico como dinamizador de los factores que convergen en el accionar del hombre dentro de la gestión integrada de las entidades. En el caso de la Empresa Empleadora Cubana del Tabaco CUBATABACO perteneciente al OSDE TABACUBA del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) se implementan acciones en aras de tributar desde un enfoque estratégico al desempeño eficiente y eficaz de la gestión de los recursos humanos, básicamente los dedicados a la administración y contratación de los trabajadores de las empresas mixtas de la agricultura, donde la gestión estratégica de los recursos humanos tendrá una contribución al cumplimiento de sus objetivos, aspecto este donde aún persisten dificultades que limitan su gestión. En esta investigación se realiza un análisis del proceso de gestión de los recursos humanos, con el propósito de proponer un procedimiento para la gestión de los mismos con enfoque estratégico, lo cual provocará un perfeccionamiento de la gestión de la Empresa CUBATABACO en la provincia de La Habana contribuyendo a optimizar sus resultados.

Palabras claves: Competencias Laborales, gestión de talento humano.

# LABOR COMPETENCIES AND THEIR INFLUENCE ON ORGANIZATIONAL COMPETITIVENES IN THE CUBAN TOBACCO EMPLOYER COMPANY CUBATABACO.

**ABSTRACT**

Human resource management is an essential element within the management of organizations, highlighting its strategic approach as a driver of the factors that converge in the actions of individuals within the integrated management of entities. In the case of the Cuban Tobacco Employer Company CUBATABACO, belonging to OSDE TABACUBA of the Ministry of Agriculture (MINAGRI), actions are implemented to contribute strategically to the efficient and effective performance of human resource management, primarily concerning the administration and hiring of workers in mixed agricultural enterprises, where strategic human resource management will contribute to achieving their objectives and aspect where difficulties still persist that limit its management. This research conducts an analysis of the human resource management process with the aim of proposing a procedure for managing them with a strategic focus, which will lead to an improvement in the management of CUBATABACO in Havana province, thereby contributing to optimizing its results.

**Key Words:** Labor Competencies, step of human talent.

[1] Empresa Cubana del Tabaco CUBATABACO, Calle Nueva # 75 e/ Universidad y Pedroso, Cerro, La Habana. Cuba
e-mail: lilita.tuero84@gmail.com
e-mail: capacitacion@cubatabaco.cu

**Introducción**

Los adelantos tecnológicos y la iniciación de nuevos mercados modifican las estructuras de las organizaciones, y con ello su cultura interna. En este sentido, el departamento de recursos humanos debe apoyar las directivas de la organización para cumplir los objetivos estratégicos.

Al llegar a este punto, señala Aedipe (1992), es preciso atender no solamente lo que el trabajador realiza, sino lo que conoce, piensa, aporta e innova dentro de la entidad, como valores agregados y de competitividad laboral, involucrando aspectos de la organización como aumento de producción, mejoramiento de la calidad del producto, fidelidad de clientes entre otros aspectos que se derivan de las competencias laborales que posea cada trabajador.

Este rol influye en la calidad de vida, las relaciones laborales, polivalencias, alternativas de contratación y compensación por resultados del desempeño, entre otros aspectos relacionados con la actuación del hombre en las organizaciones.

Con la globalización cada vez más creciente de los mercados, el entorno altamente cambiante y la revolución de cambios tecnológicos, en busca de la competitividad y la excelencia empresarial, se han quedado atrás las infraestructuras creadas para tales fines, esta situación ha conllevado al desarrollo de distintas corrientes o enfoques que en la administración de empresas ocupan un marcado protagonismo.Los empresarios de hoy coinciden en que, para mantenerse a un nivel competitivo en esta tormenta de cambios, se debe contar con el capital humano debidamente capacitado y motivado para afrontar y buscar alternativas inteligentes ante cada situación.

Específicamente en Cuba, la gestión oportuna del capital humano por la importancia que reviste se ha tratado por diversos autores (Cuesta Santos, 2001;Zayas Agüero, 2002;Cuenca Miranda, 2005; Martínez Galindo, 2006; Morales Cartaya, 2006; Sánchez Rodríguez, 2007; Pérez Martínez, 2009), los cuales concuerdan en que esta es la clave para el éxito empresarial.

Con esta filosofía como base, la mayoría de los conocedores coinciden en que para mantener el grado de compromiso y esfuerzo, las empresas deben desarrollar un proceso de gestión integrada de capital humano (GICH)[2]que garantice climas laborales seguros, instaurando mecanismos de integración sistémica, de implicación de todos los miembros de las diferentes esferas de la organización.

Un elemento importante señalado por Chiavenato (1996), lo constituye el hecho de diferenciar que las organizaciones buscan personas centradas en ética, principios y valores, guías con competencias a nivel del saber, el hacer, el ser y el comunicar de manera integral alineados con los objetivos de la organización. Por ende, estas habilidades contribuyen al desempeño íntegro de sus competencias orientadas con la estrategia de la organización; es así como este planteamiento hace la apertura al reconocimiento de recursos humanos (RRHH) como área que se alinea, hacia una tendencia de posicionamiento socio estratégico de las empresas.

En el mundo la concepción de gestionar el capital humano como un sistema integrado es un hecho que exige que se analice con carácter sistémico la función directiva de recursos humanos en las organizaciones, por lo que "Los enfoques sistémico, multidisciplinario, participativo, proactivo y de proceso, son esenciales en la gestión de recursos humanos estratégica que se requiere hoy, y más aún en el porvenir empresarial" (Cuesta Santos, 1999). En Cuba se comienzan a ver avances en este sentido cuando en las bases generales del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial se incluyeron cuatro nuevos sistemas y uno de estos es el Sistema de Gestión de Capital Humano.

[2] Se utilizará a los efectos de la presente investigación los términos "recurso humano" (RH) y "capital humano" (CH) indistintamente, de igual forma "gestión de recursos humanos" (GRH) y "gestión integral de capital humano" (GICH) al citar a los diferentes autores.

La concepción actual de Recursos Humanos se ejerce a través de sus prácticas, políticas y dirección, con el propósito de gestionar el desempeño organizacional, bienestar y satisfacción de los empleados. En este sentido es fundamental según Ansoff (1965), tener una ventaja competitiva sostenible, un ambiente laboral basado en el respeto, trabajo en equipo y compromiso, donde todas estas competencias alineadas a la estrategia de la organización, a la cultura, a la gestión del conocimiento, innovación, productividad y calidad de los procesos que se realizan, puedan lograr ser sostenibles y competitivos en el mercado. La Empresa Cubana del Tabaco CUBATABACO actualmente no cuentan con un procedimiento técnico de competencias laborales que permita posicionar a la dirección de recursos humanos como factor estratégico en el desarrollo y superación de la entidad como debe ser, ya que somos una empresa empleadora, limitándose en su accionar a lo relacionado con la contratación de empleados. Los departamentos de gestión de recursos humanos de esta institución se han dedicado casi de forma exclusiva a cumplir la normativa legal regulada por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) la cual se determina a continuación:

- Norma Cubana de Capital Humano. NC 3000: 2007
- Normas de Selección de Personal, Planificación de Talento Humano, Diseño Institucional, Clasificación de Puestos, Evaluación del Desempeño.
- Resoluciones del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) (2006).
- Resolución No. 29/06 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Las consecuencias de no contar con procedimiento o herramienta con base estratégica, en la definición de las competencias laborales necesarias implica que la gestión de recursos humanos, se reduzca al cumplimiento de normas y leyes, lo que puede generar que la organización llegue a sufrir depresión. Smith (2012), en su libro Management del siglo XXI, nombra 10 factores para caer en "depresión organizacional, de los cuales 6 están relacionados con los Recursos Humanos y la gestión de estos en la organización, los que se puntualizan a continuación:

- Falta de retos asumibles o positivos para la organización.
- Deserción laboral.
- Niveles de rotación por encima de la media.
- Poca comunicación e interacción entre los grupos de trabajo.
- Desmotivación.
- Falta de implicación en un proyecto, más bien de carácter reactivo.

Al final del año 2007 se establece el grupo de Normas Cubanas 3000 como una herramienta de trabajo para la gestión de capital humano, proponiendo un modelo donde se conciben las competencias laborales como el eje medular de la gestión integrada de capital humano. Esta teoría conlleva a la implementación de un nuevo enfoque de gestión por competencias, aspecto vital para lograr instrumentar la nueva organización de las empresas. Es por ello que la entidad que asuma este enfoque debe establecer todo un sistema de gestión de capital humano con base en las competencias definidas en los perfiles de competencias de cada uno de los cargos u ocupaciones que componen su estructura y su efectividad dependerá de la inserción y articulación que se logre entre cada uno de los subsistemas que lo conforman.

La gestión por competencias constituye una herramienta para ser exitosos. En este sentido aporta innumerables ventajas y una de las más importantes es un proceso de selección del personal idóneo y con las competencias requeridas para ocupar un cargo requerido dentro de una organización, posteriormente

un proceso ininterrumpido de formación y desarrollo para continuar consolidando las competencias de los trabajadores y como complemento imprescindible de este ciclo la evaluación de las competencias y del desempeño con base en objetivos medibles, cuantificables y con posibilidad de observación directa.

En este proceso tiene un papel preponderante la evaluación del desempeño sobre la base de competencias, la cual permitirá determinar las necesidades de formación de los trabajadores y encausarlos hacia un desempeño de éxito.

El **objetivo general** de la investigación se define como: Desarrollar las Competencias Laborales para la gestión del talento humano. Este objetivo general implica investigar y comprender el enfoque estratégico basado en el análisis de competencias laborales y su impacto en la gestión del talento. El objetivo es desarrollar un enfoque que permita identificar las competencias clave requeridas para los diferentes roles y puestos dentro de la empresa, así como implementar programas efectivos de desarrollo de competencias.

Además, el objetivo general busca evaluar el impacto de este enfoque estratégico en la productividad de la empresa, el rendimiento de los empleados y la retención del talento, con el propósito de mejorar los resultados organizacionales en términos de eficiencia y competitividad.

En resumen, el objetivo general es analizar, desarrollar e implementar un enfoque estratégico basado en el análisis de competencias laborales para mejorar la gestión del talento en una empresa y lograr resultados organizacionales más sólidos para mejorar la eficacia del sistema de gestión de recursos humanos.

Los **objetivos específicos** se definen de la siguiente forma:

1. Identificar las competencias clave requeridas para los diferentes roles y puestos.

2. Diseñar e implementar programas de desarrollo de competencias que sean adecuados para las necesidades identificadas en la etapa anterior, utilizando métodos como la capacitación, la mentoría o el coaching.

En resumen, los objetivos específicos se enfocan en revisar la literatura existente, identificar competencias clave, diseñar programas de desarrollo, evaluar su impacto y proponer recomendaciones para implementar un enfoque estratégico basado en el análisis de competencias laborales en la gestión del talento.

**Métodos**

En la realización de esta investigación se realiza un análisis detallado de casos de organizaciones que hayan implementado con éxito un sistema de gestión de recursos humanos con enfoque estratégico y mejores prácticas.

El trabajo se basa en el método general de solución de problemas y se usa la consulta con especialistas, software, tablas, consulta de documentos, entre otros.

**Seguimiento del proceso de implementación**

Se establecieron revisiones periódicas para determinar las correcciones que fueron necesarias durante el proceso, que no ha culminado aun, sino que se le dará continuidadhasta conseguirla aplicación total del procedimiento implementado, con el propósito de lograr una evaluaciónfinal de los indicadores referidos y así realizar una comparación entre el antes y el después dela aplicación del procedimiento implementado. Además, para lograr integrar todos los procesosde capital humano y miembros de la organización al enfoque de gestión por competencias.

La investigación realizada tiene una significación económica - social importante sobre todo para las empresas del sector hidráulico y con él los procesos de cambios que se originan en la gestión integrada de

capital humano y específicamente en el marco de la gestión por competencias. Por esta razón se considera que este estudio constituye una herramienta muy valiosa para que la organización logre una mejor gestión empresarial, puesto que la implantación del enfoque de competencias propuesto para la Gestión Integrada del Capital Humano pueden llevar a una disminución de la fluctuación de la fuerza de trabajo, un aumento de la motivación como elemento de competencia "querer hacer", el compromiso, satisfacción laboral, preparación y participación de los trabajadores, posibilita detectar las necesidades reales de formación y desarrollo, basadas en las brechas de competencias identificadas de lostrabajadores, lo que sin duda influirá de forma positiva en el mejoramiento de la prestación delservicio, la satisfacción del cliente y por ende el incremento de los resultados económicos de la entidad.La aplicación del procedimiento en la entidad seleccionada arrojó resultados satisfactorios locual evidencia la posibilidad de generalización, está en correspondencia con las tendencias actuales en cuanto a la GCH con enfoque de competencias en estas entidades, es fácilmentecomprendido por el personal involucrado en el proceso de implantación, así como permiten extender su aplicación al universo de entidades del sector con las necesarias adecuaciones.

Estos resultados además validan el proceso de desarrollo de competencias y demuestran asísu capacidad para: determinar y validar los perfiles de competencias de los cargos, cuya información permite integrar los procesos de GCH identificados en la entidad; para elaborar programas de entrenamiento en función de las brechas de competencias identificadas, evaluarlos niveles de competencia de cada trabajador, que en gran medida, condicionan los nivelesde satisfacción de los clientes externos y su impacto en otros indicadores de la organización,por último, se asegura el seguimiento y mejora del proceso mediante un sistema de indicadoresintegrados.

La aplicación del procedimiento para la gestión del desarrollo de competencias laborales permitió:

• Identificar las competencias organizacionales, de proceso y específicas para cada cargo.

• Confeccionar los perfiles de competencias de cada cargo y el manual de competencias de la organización.

• Confeccionar la documentación del SGICH, conformada por el Manual de GCH, procedimientos y sus respectivos registros. Destacándose los procedimientos:

Procedimiento para la formación y desarrollo de competencias laborales, Procedimiento para la selección e integración laboral y Procedimiento para la identificación, validación, certificación de competencias.

• La elaboración de una instrucción de trabajo para la evaluación de las competencias reales del trabajador.

• Iniciar el desarrollo de las competencias laborales, mediante programas de formación.

• Evaluar el estado inicial de los indicadores definidos

La evaluación de los indicadores propuestos solo se desarrolló en su fase inicial, acorde al

tiempo de la investigación para presentar esta tesis, por lo que actualmente la empresa se

encuentra en la fase desarrollo de las competencias definidas.

**Conclusiones**

Con la realización de esta investigación se arribó a las conclusiones siguientes:

1. La moderna GICH se fundamenta en la gestión por competencias con un enfoque estratégico que conlleve a una gestión proactiva alineada con los elementos estratégicos de la organización, por

proceso y de mejora continua para garantizar el desarrollo permanente de las competencias, lo que incide significativamente en los resultados organizacionales y personales.

2. Entre los enfoques estudiados se seleccionó el procedimiento propuesto por Sánchez Rodríguez (2007) para desarrollar la gestión por competencias laborales, ya que incorpora los enfoques: estratégico, por proceso y de mejora continua, en correspondencia con los requisitos de la NC 3001:2007. Está compuesto por seis fases, que tiene como objetivo el desarrollo permanente de las competencias laborales de los trabajadores.

3. La aplicación del procedimiento para la gestión del desarrollo de competencias laborales permitió comprobar su conveniente utilización como instrumento metodológico efectivo para lograr el desarrollo permanente de las competencias de los trabajadores, destacándose entre los principales resultados:
    - La definición de las competencias organizacionales, de proceso y específicas para cada cargo.
    - La elaboración de los perfiles de competencias de los cada uno de los cargos.
    - La confección del manual de competencias y la documentación del SGICH, los que se presentan como material complementario de esta tesis.

**Bibliografía**

1. Alcántara, Jonathan (2005). La gestión por competencia laboral en la empresa y la formación profesional. En: http://gestiopolis.com/
2. Álvarez Santos, Lilisbeth. (2012). Procedimiento para la medición y mejora continua de la satisfacción laboral. Aplicación en la Universidad de Holguín. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Industrial. Holguín, Cuba.
3. Angulo González, Daniel C. (2002). Etapas en la determinación de la plantilla cualitativa de la empresa. En: http://www.monografías.com/
4. Beer, Michael et al. (1989). Gestión de Recursos Humanos. Editorial Ministerio del Trabajo. España
5. Besseyre des Horts, Charles-Henri (1990). Gestión Estratégica de los Recursos Humanos. Ediciones Deusto. Madrid, España. 222 pp.
6. Boyatzis, Richard (1982). The Competent Manager. John Wiley&Sons.
7. Bustillo, Carlos (1994). La Gestión de Recursos Humanos y la Motivación de las Personas. En: Revista Capital Humano: Integración y Desarrollo de los Recursos Humanos. España. No. 73. pp. 17-28.
8. Chiavenato, I. (1990). Administración de Recursos Humanos. Editorial Altos. México. 568 pp.
9. CIDEC (1994). Sistema integrado de Gestión de Recursos Humanos. Donostia-SanSebastian.
10. CONOCER. Análisis ocupacional y funcional del trabajo. México. En: http://www.cinterfor.org.uy/
11. Cruz Muñoz, Peggy; Vega López, Georgina (2001). La gestión por competencias: una nueva herramienta en la planificación estratégica del recurso humano. Universidad de Antofagasta, Chile. En: http://www.monografías.com/
12. Cuenca Miranda, Jarlin I. (2005). Tecnología Integral para la Gestión de los Recursos Humanos en base a Competencias en la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín RADUAL. Trabajo de Diploma presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Universidad de Holguín. Cuba. 104 pp.
13. Cuesta Santos, A. (1999). Tecnología de Gestión de Recursos Humanos. Editorial Academia. La Habana, Cuba. 205 pp.
14. De Miguel Guzmán, Margarita (2006). Tecnología para la planeación integral de los recursos humanos. Aplicación en entidades hoteleras del destino Holguín. Tesis en opción al grado

científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”. Holguín, Cuba. 99 pp.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROTOCOLO PARA ELABORAR PROYECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN OBRAS CIVILES DE ETECSA

**Alejandro Alonso Martinez[1], Sandra Callis Caraballoso[1], Aida Rodríguez Hernández[2], Silvio J. Viña Brito[2], Vania García Fenton[2], Sonia Fleitas Triana[2]**

[1] División de Proyectos y Ejecución de Obras-ETECSA, Avenida Salvador Allende No 508 entre Belascoaín y Santiago, Edificio Masónico, Centro Habana, La Habana, [2] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba.
[1]e-mails: alejandro.amartinez@etecsa.cu, sandra.callis@etecsa.cu

## RESUMEN

Ante la diversidad de riesgos laborales a los que se enfrentan las empresas y la necesidad de tomar conciencia de su gestión, resulta indiscutible la enorme importancia que tiene la identificación de los peligros y la evaluación de los riesgos, en aras de disminuir la ocurrencia de accidentes laborales. La presente investigación se realizó en la división de Proyectos y Ejecución de Obras de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, con el objetivo de proponer un procedimiento que facilite la elaboración de los Proyectos de Seguridad de las obras civiles que se ejecutan en la empresa. A partir de un diagnóstico que revela el estado del tema, se aplican una serie de técnicas, tales como: observación directa, encuestas, entrevistas individuales, análisis de documentos y registros, conjuntamente con un análisis teórico de las concepciones más actuales de la literatura internacional y nacional disponible. Teniendo en cuenta el diagnóstico, se diseñó y aplicó un procedimiento, cuyos resultados se validaron por un conjunto de expertos y trabajadores en general. Se propone, además, el uso de las TIC para aplicar dicho procedimiento y facilitar la capacitación en materia de seguridad y salud del trabajo que deben recibir nuestros trabajadores. Este procedimiento contribuirá a realizar una adecuada gestión de riesgos en las obras civiles de telecomunicaciones con el objetivo de disminuir la posibilidad de que ocurran accidentes e incidentes del trabajo.

**PALABRAS CLAVES:** riesgos laborales, accidentes laborales, obras civiles, seguridad y salud del trabajo.

## STANDARIZED PROTOCOL FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK PRIOR TO THE TELECOMMUNICATIONS COMPANY OF CUBA

## ABSTRACT

Given the diversity of occupational risks that companies face and the need to be aware of their management, the enormous importance of identifying hazards and evaluating risks is indisputable in order to reduce the occurrence of accidents labor This research was carried out in the Projects and Works Execution division of the Cuban Telecommunications Company, with the objective of proposing a procedure that facilitates the preparation of Security Projects for the civil works that are carried out in the company. Based on a diagnosis that reveals the state of the topic, a series of techniques are applied, such as: direct observation, surveys, individual interviews, analysis of documents and records, together with a theoretical analysis, of the most current conceptions of the literature. International and national available. Taking into account the diagnosis, a procedure was designed and applied, the results of which were validated by a group of experts and workers in general. The use of ICT is also proposed to apply said procedure and facilitate the training in occupational health and safety that our workers must receive. This procedure will contribute to adequate risk management in civil telecommunications works with the objective of reducing the possibility of accidents and work incidents occurring.

**KEY WORDS:** occupational risks, accidents labor, civil works, health and safety that our workers.

## 1. INTRODUCCIÓN

**Antecedentes**

La construcción ha sido y sigue siendo, hasta la actualidad, una de las actividades productivas más dinámicas globalmente. Se trata de un sector productivo con unas condiciones y características de trabajo especiales, que tienen una incidencia directa en los riesgos a que se exponen los trabajadores y, por lo tanto, en la prevención de riesgos laborales que debe realizarse, haciendo de este sector un caso peculiar y distinto al resto de sectores económicos. Los trabajos en el sector construcción han sido históricamente una de las actividades laborales de mayor riesgo, donde se ha registrado un elevado número de accidentes de trabajo y, conjuntamente con la agricultura, donde más daño reciben los trabajadores en el mundo, no sólo en importancia cuantitativa, sino también de marcada significación cualitativa por la gravedad de las consecuencias [1]. En el ámbito del cumplimiento normativo, la falta de cultura preventiva incide de forma directa en la siniestralidad del sector por los grandes y manifiestos incumplimientos, haciéndose necesarias acciones específicas, tales como la implementación de programas de concienciación/formación en los beneficios de la integración de la prevención en la empresa en todos los ámbitos, pero con especial incidencia sobre los trabajadores con responsabilidad en la toma de decisiones [2].

En Cuba, la publicación, "Protección del Trabajo. Indicadores Seleccionados" de la Oficina Nacional de Estadística e Información brinda datos para evaluar el comportamiento de la accidentalidad laboral. La fuente de información es el modelo 5201- 07, "Indicadores Seleccionados de Protección del Trabajo y Seguridad Social" del Sistema de Información Estadística Nacional (SIEN). Entre los años 2017, 2018, 2019, 2021 y primer semestre de 2022, en el sector de la construcción del país, ocurrieron 699 accidentes de trabajo, de ellos, 709 trabajadores resultaron lesionados y 37 fallecidos, computando un total de 70 897,8 días perdidos/Hombres. Centro de Gestión de la Información Económica (2022) [3]. Aunque se muestra una disminución por años, aún queda mucho por hacer en cuanto a la prevención en el sector, teniendo en cuenta que el nivel de actividad decreció producto de las carencias provocadas por la crisis mundial, la pandemia y los efectos del bloqueo económico, pero deben recuperarse los niveles normales de actividad y con ellos, si no se actúa para impedirlo, las malas prácticas que generan riesgos y accidentes. En la Figura 1 se ilustra la cantidad de accidentes por años [4].

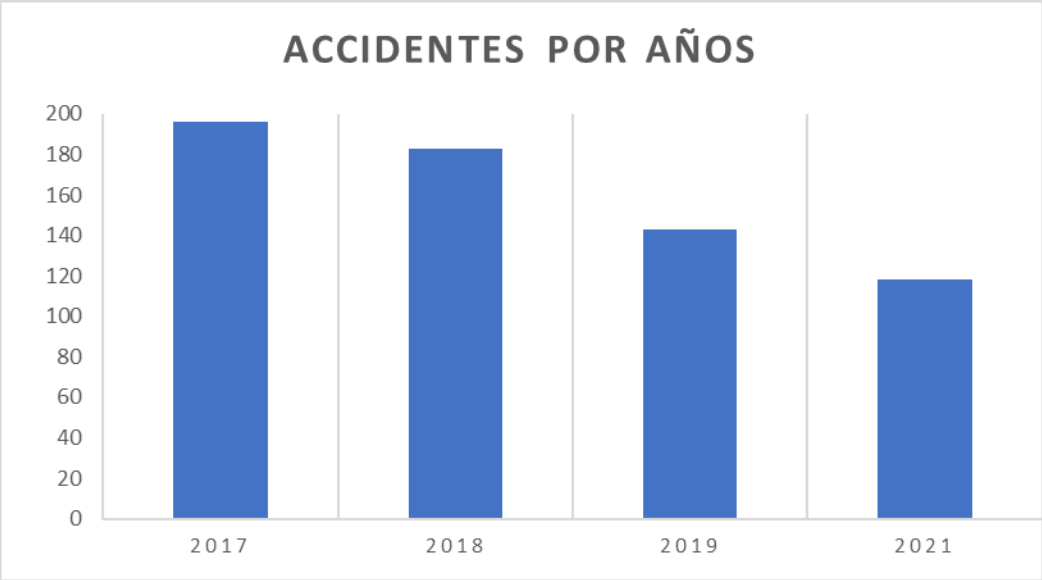



Figura 2. Cantidad de accidentes por años, según la ONEI. Fuente: Elaboración propia

En el año 2014 el Ministerio de la Construcción aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo para la construcción civil y montaje en obras que se inicien, ya sean nuevas construcciones o reconstrucciones y remodelaciones [5]. El Reglamento establece que se debe confeccionar un Proyecto de Seguridad para cada obra donde estén debidamente identificados los riesgos de la obra. Por tanto, incluye

cada obra civil, ingeniera y tecnológica de telecomunicaciones que se ejecute por las brigadas de la División de Proyectos y Ejecución de Obras (DVPE) en ETECSA.

**Los desafíos**

Cada obra de construcción es única por las características específicas que tiene; esta especificidad se tendría que trasladar al documento que tiene que servir de base para asegurar la salud y la seguridad de los trabajadores/as. Por tanto, la adecuación de este tipo de documento a las características específicas de la obra es muy importante. Si ello no ocurre, se estarán generalizando requisitos de seguridad, sin contemplar previsiones ni informaciones útiles y específicas de las obras, lo que no permite garantizar el bienestar de los trabajadores/as en la realización de su actividad, impidiendo la integración eficaz de la prevención de riesgos en cada obra pública concreta [6]. Teniendo esto en cuenta, Martínez, N. O., et al. llevaron a cabo una investigación sobre la originalidad y adecuación de los documentos de prevención elaborados para una muestra de obras públicas en España. La técnica utilizada fue el análisis de plagio, mediante minería de texto para análisis de contenido. Los resultados obtenidos mostraron elevados porcentajes finales de similitud, dando poca efectividad real a los correspondientes documentos para gestionar la seguridad y salud de los trabajadores/as [6].

Para lograr la adecuación del proyecto de seguridad y salud a las especificidades de la obra es imprescindible tener conocimientos del proceso constructivo; se requiere un perfil profesional habilitante del especialista de seguridad y salud. Adicionalmente, el sector de la construcción recoge a un colectivo de trabajadores con baja cualificación, lo que dificulta la efectividad de las medidas a implantar. Incluir la prevención de riesgos laborales en un documento anexo al proyecto constructivo, con su propio presupuesto, fomenta la idea entre los trabajadores de que la prevención de riesgos laborales es un proceso adicional a los trabajos que se realizan en la obra, en lugar de verlo como una labor implícita dentro de sus trabajos. Estas circunstancias hacen que muchos esfuerzos deban orientarse hacia la formación de los recursos humanos.

Una característica esencial de la producción de obras de construcción civil en ETECSA es que cada producto es único, con notables diferencias en el alcance, los objetivos, la complejidad, la ubicación física, la fuente de la mano de obra y otras muchas que generan diferencias en cuanto a los peligros para la salud y seguridad a que pueden estar expuestos los trabajadores de la obra o los futuros usuarios de la misma. Además, la continua movilización del personal entre proyectos de construcción cuya duración es limitada (con diferentes tipos de obras, en muchos casos) y la creación y la posterior disolución de grupos de trabajadores que ejecutan estos proyectos en diferentes localidades, causan un aislamiento en la capacitación, con importantes afectaciones a la curva de aprendizaje.

Teniendo en cuenta todas estas dificultades, este trabajo se propuso resolver el problema de cómo establecer un método que facilite que cada obra de construcción civil en ETECSA cuente a tiempo con un Proyecto de Seguridad ajustado a las características propias de la obra, donde estén debidamente identificados los riesgos a que estarán expuestos los trabajadores, a pesar de que cada obra es diferente y compleja, de manera que el objetivo ha sido crear un procedimiento que guíe la elaboración de proyectos para la identificación, evaluación y control de riesgos en las obras civiles de la DVPE, los cuales permitan asegurar la identificación, evaluación y control oportuno de los riesgos existentes, cumplir con las normativas legales vigentes en materia de riesgos y accidentes laborales y faciliten las acciones de capacitación en materia de seguridad y salud en el trabajo.

## 2. MÉTODOS

Los métodos, técnicas y herramientas que se usaron para el desarrollo del trabajo se basaron en el método general de solución de problemas, el análisis bibliográfico, la formación y consultas a un equipo multidisciplinar, el análisis de documentos, la encuesta, la entrevista, la observación directa, el diagrama de causa-efecto, y listas de chequeo.

Mediante el análisis bibliográfico se consultaron publicaciones de organismos internacionales especializados, como la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud, tesis de maestría y doctorado y artículos científico-técnicos.

El equipo multidisciplinar de análisis y consultas se constituyó con 15 trabajadores, entre especialistas de organización, de seguridad y salud en el trabajo, directivos y especialistas de la ejecución de obras que tuvieran conocimientos del tema, experiencia y un elevado nivel de competencias profesionales, para proporcionar criterios valorativos referidos a la seguridad y salud del trabajo. La selección se hizo a través un cuestionario para determinar el índice de experticia, de acuerdo a los criterios de Oduardo Darromán [7].

Encuestas

Se aplicó una encuesta sobre conocimiento del marco regulatorio, a partir de un cuestionario de 11 preguntas de elaboración propia, relacionadas con temas propios de la Resolución 204 del 2014. Se le aplicó a los 15 expertos y 10 trabajadores vinculados a la actividad de construcción civil, abarcando a cuadros y otros jefes, especialistas, técnicos, hasta el nivel de jefes de brigada y operarios que laboran en las obras. Posteriormente se aplicaron otras encuestas solicitando opiniones sobre distintos aspectos de los problemas y de las soluciones propuestas

A través del análisis documental se revisaron las características del Modelo de gestión del capital humano en la empresa, la estructura de las agrupaciones civiles de telecomunicaciones, la organización del trabajo en función de esta estructura, el control de riesgos existente y los correspondientes planes de prevención, los presupuestos destinados a la seguridad y salud, y los documentos usados en la capacitación, incluyendo Instrucciones y registros. Se estudiaron la mencionada Resolución 204 del MINCONS y un conjunto de Normas Cubanas y Normas ISO vigentes.

La observación directa se realizó en 2 obras que se ejecutaban en la Habana, revisando la existencia de documentos de seguridad y salud ocupacional en las obras, su actualización, la existencia de firmas de estos documentos por los trabajadores y la coincidencia con el número de ellos presentes, Se constató la correcta identificación de los riesgos en la obra y la existencia de condiciones de trabajo higiénicas y ergonómicas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUCIÓN

**Modelo de Gestión del Capital Humano**

La estrategia de Capital Humano está alineada con la Estrategia del Negocio, y tiene en su base una cultura organizacional orientada a la transformación digital, así como a la analítica de los recursos humanos, como fundamento para la toma de decisiones. Estas características se soportan en soluciones informáticas integradas que contribuyan a una mejor experiencia del trabajador en un entorno digital, así como en sistemas de compensación que eleven la motivación y el bienestar laboral de las personas.

Como parte del Sistema de Gestión de Capital Humano en ETECSA, se encuentra el proceso de Ergonomía y Seguridad y Salud del Trabajo, el cual incluye la programación de todas aquellas actividades orientadas a prevenir riesgos derivados del trabajo, crear condiciones ergonómicas, competencias de trabajo seguro y promover cultura para que el trabajador y la organización puedan desarrollar con seguridad la actividad laboral, evitando sucesos que puedan originar daños a la salud del hombre y al medioambiente laboral, ya sea por accidentes o enfermedades profesionales. Abarca acciones al beneficio de la salud física y mental de los empleados, teniendo un encaminado alcance social.

**Caracterización de la DVPE**

La DVPE es una unidad organizativa de ETECSA que opera a nivel nacional, su sede radica en el Edificio Masónico, Avenida Salvador Allende, y posee instalaciones en Naranjito, Mantilla y Luyanó en

la provincia de La Habana, en la provincia de Sancti Spíritus y en Bayamo, provincia Granma. Cuenta con 1007 trabajadores, entre operarios, técnicos, especialistas y cuadros.

Su misión es ofrecer soluciones integrales de proyectos, construcción y montaje de infraestructuras para el desarrollo de las telecomunicaciones con profesionalidad, sostenibilidad y cultura de servicio.

**Diseño de la solución**

Considerando los principales problemas detectados en el diagnóstico inicial, se diseñó un procedimiento para la elaboración de los proyectos de seguridad en las obras civiles que se ejecutan en la empresa de Telecomunicaciones de Cuba. Siguiendo este procedimiento, se establecen las medidas de seguridad y salud en el trabajo contra los riesgos en esta materia, atendiendo a sus condiciones específicas, incluyendo en él las actividades de prevención, protección y promoción, desde el comienzo de la obra de ingeniería civil, tanto si es de nueva creación, como de reparación, remodelación, restauración y mantenimiento, hasta su entrega al inversionista, mediante los registros, la documentación y controles pertinentes, que evidencien el cumplimiento de la legislación vigente. Consta 11 etapas generales, que contienen unos varios pasos.

Etapa 1: Aviso, de parte del área técnica al especialista de Seguridad y Salud del Trabajo, de la preparación de una nueva obra. Una vez recibida la solicitud del inversionista, los Especialistas en obras de Arquitectura, de los Grupos Técnicos, comunican a los Especialistas en Seguridad y Salud del trabajo, los detalles de la solicitud del inversionista y planifican de conjunto la visita al lugar de ejecución para la toma de datos, aprovechando que, en ese momento, se realiza la implantación de la documentación técnica. Esta solicitud se hace con no menos de 15 días antes de comenzar la ejecución de la obra.

Etapa 2: Información general de la obra a ejecutar. Entrega de información para la confección del proyecto de seguridad, a través del llenado de los datos necesarios en un modelo diseñado en la investigación, en el cual se relacionan las etapas de ejecución, equipos, herramientas, tecnología a emplear y mano de obra. Se deben describir las instalaciones colindantes, posibles interferencias con redes técnicas, altura de trabajo, descripción del suelo, instalaciones médicas más cercanas a la obra, facilidades temporales y presupuesto.

Etapa 3: Identificación de peligros y evaluación de riesgos. Visita a la obra de parte del área técnica y la especialidad de seguridad y salud en el trabajo para toma de datos. En esta etapa se deberá realizar una exhaustiva identificación de los peligros existentes en las obras, con el objetivo de controlarlos durante la ejecución de las actividades. Para determinar los factores de riesgo, es necesario contar con la siguiente información:
-Análisis detallado de flujos de procesos y actividades que se desarrollan, la organización del trabajo, materias primas utilizadas, etc.;
-Relación de áreas y puestos de trabajo, incluyendo áreas externas (almacenes, talleres de mantenimiento, etc.);
-Datos estadísticos de morbimortalidad (accidentes de trabajo y enfermedades profesionales) de los últimos años.
-Resultados de exámenes médicos preempleo y periódicos.
-Resultados de inspecciones realizadas.
-Trabajos que, por sus características, requieren un permiso especial.
-Otra información que se considere necesaria.
Esta etapa deberá ejecutarse con la participación de los trabajadores y/o representantes y contemplará los siguientes pasos:
-Información previa
-Identificación de peligros
-Evaluación del riesgo
-Valoración de la identificación de peligros y evaluación del riesgo
-Adopción de medidas de control
-Revaloración del nivel de riesgos

Los análisis de riesgos constituyen una herramienta fundamental en el desarrollo de las labores, ya que, a partir de estos, se tienen en cuenta los efectos no deseados para establecer controles para minimizarlos [8].

Etapa 4: Elaboración del documento de seguridad, según peligros identificados y riesgos evaluados. En esta etapa se confecciona el proyecto de seguridad a partir de la información recibida y de los peligros identificados y riesgos evaluados. Adecuando a las etapas de ejecución las medidas de control.

Etapa 5: Revisión del Proyecto de Seguridad y Salud en el Trabajo. El documento elaborado es revisado por especialistas que se designen para corroborar que las medidas de seguridad impuestas en el proyecto de seguridad minimicen los riesgos presentes en las diferentes etapas de la obra.

Etapa 6: Aprobación del Proyecto de Seguridad. Evaluar, analizar y aprobar mediante firma y registro, el Proyecto de Seguridad por las partes interesadas.

Etapa 7: Chequear suministros. Se Chequea que el inversionista y las áreas de apoyo ejecuten las acciones preventivas y provean los suministros necesarios, para el cumplimiento de las medidas, a través del área técnica de la entidad, encargada de la preparación de la obra.

Etapa 8: Aceptación del Proyecto de seguridad de parte del constructor. Entrega del Proyecto de Seguridad al Constructor.

Etapa 9: Instrucción a los Trabajadores. El jefe del colectivo especializado capacita a los trabajadores en temas referidos a los riesgos por etapas y las medidas de seguridad para evitar la ocurrencia de incidentes y accidentes de trabajo. Es necesario poner al tanto a los trabajadores, de manera formal, de los riesgos que corren, de tal manera que los riesgos no sean percibidos subjetivamente, sino que se tengan presentes en todo momento de manera objetiva [9].

Etapa 10: Aplicación de las medidas de seguridad planteadas en el proyecto. En las etapas de ejecución se aplican las medidas de control descritas en el documento de seguridad, se prevé la realización y aplicación de permisos de seguridad para trabajos altamente peligrosos.

Etapa 11: Control del proyecto de Seguridad. Visita a obras para realizar controles al cumplimiento de las medidas establecidas en el proyecto de seguridad. El propósito del seguimiento y las revisiones, es asegurar y mejorar la calidad y efectividad del diseño, la implementación y los resultados del proceso.

Para estimar el impacto de las soluciones aplicadas, en función de realizar un eficiente control de la gestión de los riesgos laborales en las obras civiles de telecomunicaciones, se aplicó una encuesta de validación de las propuestas de mejora usando criterios de expertos. Los resultados de la encuesta se muestran en la tabla 1.

| **No** | **Soluciones propuestas** | **Si** | **No** |
|---|---|---|---|
| 1 | Confirma la necesidad de un procedimiento que permita elaborar correctamente los Proyectos de seguridad para las obras civiles que se ejecuten. | 15 | |
| 2 | Eleva el intercambio entre el área técnica y el Especialista de Seguridad y Salud del Trabajo durante el proceso de ejecución de la obra. | 15 | |
| 3 | Permite ampliar el conocimiento de las normas y resoluciones referidas a la Seguridad y Salud del trabajo | 15 | |
| 4 | Mantiene actualizado en tema se Seguridad y Salud del trabajo al personal que elabora la documentación, elevando de esta forma la preparación de los mismos | 15 | |
| 5 | Asegura que toda la persona que labore en la obra conozca los detalles de la ejecución. | 15 | |
| 6 | Se propicia un control más eficiente del cumplimiento de lo establecido en las normas y resoluciones | 15 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | Disminuye las brechas de conocimiento que con respecto al tema tienen Cuadros, jefes y trabajadores de la activa. | 15 | |
| 8 | Permite un control directo de los jefes respecto a los medios de protección que deben usar los trabajadores, así como el estado de los mismos. | 15 | |
| 9 | Se cumple con la metodología referida a la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos. | 15 | |
| 10 | Se reducen los riesgos durante la jornada laboral | 15 | |
| 11 | Permite identificar la mayor cantidad de riesgos presentes, según los puestos de trabajo, al trabajar el tema en función de las etapas que tenga la obra. | 15 | |
| 12 | Garantiza que la gestión del riesgo, se realice desde que comience la obra y se mantenga hasta su culminación. | 15 | |
| 13 | Promueve un ambiente de mayor seguridad en los trabajadores | 15 | |
| 14 | Se realiza una gestión de riesgos más eficientes | 15 | |
| 15 | Permite identificar los riesgos a nivel de actividad | 15 | |
| 16 | Se disminuye la operatividad en el momento de identificar los riesgos | 15 | |

Tabla 1. Encuesta de validación de las propuestas de mejora usando criterios de expertos, elaboración propia.

La efectividad del procedimiento propuesto también se demostró por su aplicación en una obra perteneciente a la División Habana de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba. Paralelamente se hizo un análisis de los documentos de seguridad de dos obras ejecutadas, con similares características, en las cuales se detectaron problemas en la identificación de los peligros, dificultades con la determinación y evaluación de los riesgos, el seguimiento, así como en el control y cumplimiento de las medidas para minimizarlos. En la Tabla 2 se muestran los resultados comparativamente:

| **Obras** | **Siguiendo el Procedimiento** | **De la manera habitual** | |
|---|---|---|---|
| | **CT Águila** | **Mantilla** | **RBS Terreno Zona I Alamar** |
| Riesgos detectados | 27 | 15 | 10 |
| Medidas de control | 95 | 45 | 23 |
| Efectividad de las medidas | 85% | 52% | 45% |
| Controles a obras | 4 | 1 | 1 |
| No conformidades | 3 | 6 | 8 |

Tabla 2. Análisis comparativo de las obras, realizado a partir de la revisión efectuada a la documentación correspondiente de cada obra.

**Análisis en las obras donde no se aplicó la solución propuesta.**

Los documentos de seguridad no son revisados periódicamente; las medidas plasmadas para minimizar los riesgos no son aplicadas en su totalidad durante la ejecución de las obras. Hay poca percepción de los riesgos por parte de los operarios que ella laboran, exponiéndose a los peligros, con total normalidad.

En las entrevistas con los trabajadores que laboraron en las obras, solicitan mayor capacitación en relación con la detección de los riesgos, las medidas para minimizarlos y procedimientos de trabajo seguro. Los especialistas y directivos reconocen que existen obras que se ejecutan con mucha operatividad, lo cual puede afectar el cumplimiento de algunas normas y la detección de los riesgos. Estos temas coinciden con los problemas planteados por los expertos y detectados en el diagnóstico.

La propuesta permitió dar solución a la problemática planteada, logrando realizar, durante la implementación de la misma, una gestión más eficiente de los riesgos presentes en la obra Centro de Telecomunicaciones de Águila.

**Herramientas informáticas de apoyo a los procesos**

Un software ERP es un conjunto de programas que cumplen las características de ser un sistema integrado, parametrizable y práctico que permite compartir datos entre los miembros de la organización y facilitar la producción y el acceso a la información en tiempo real [10]. Con un software ERP adoptado, instalado y funcionando, las empresas se obligan a organizarse eficientemente para aprovechar las ventajas de los diversos módulos que este producto ofrece, lo que les permite destinar un mayor tiempo para planificar el futuro organizacional [11].

SICPRO ERP es una suite de aplicaciones de gestión donde todo funciona de manera integrada, debido a que incluye una gama de módulos de fácil uso para optimizar y rentabilizar los procesos de trabajo. Su objetivo es englobar en un único software todas las herramientas que necesita la Institución para la operatividad en todos los procesos. Está desarrollado sobre el servidor de aplicaciones Odoo, mediante la versión "comunitaria" de código abierto, bajo licencia LGPLv3, como una alternativa de código abierto a SAP ERP y Microsoft Dynamics. Es un sistema orientado a objetos y está desarrollado en Python, permitiendo correr fácilmente en cualquier tipo de servidor. Cualquier usuario puede trabajar con la aplicación, ya que es minimalista en apariencia y extremadamente fácil de usar. Su interfaz de trabajo se realiza por medio de una web a la que los usuarios se conectan a través de un navegador, lo que permite ser utilizado ya sea desde una PC hasta dispositivos móviles. Por su arquitectura modular, es posible seleccionar qué funcionalidades se quiere implantar, facilitando la integración en todo tipo de situaciones. Su sistema gestor de bases de datos es PostgreSQL, lo cual garantiza un elevado desempeño y avanzadas posibilidades. Dispone de un sistema de roles y usuarios que le permite su uso a gran escala, limitando a los usuarios acceder únicamente a aquellas áreas relevantes a sus responsabilidades. También dispone de una generación de informes multinivel con posibilidad de agrupación y filtros avanzados, con un sistema de reportes propio utilizando Webkit, y permite integración con otros motores.

La Transformación Digital (TD) es un concepto que forma parte de la industria 4.0 y consiste en adaptar la organización, sus procesos, productos, servicios, modelos de negocios, personal, cliente y todo lo que esté involucrado con esta, a las nuevas tecnologías. En CISCO se define como “la aplicación de tecnología para desarrollar nuevos modelos, procesos, software y sistemas de negocio para así generar ingresos más rentables, mayor ventaja competitiva y mayor eficacia” [12]. Por todo ello se propuso que el procedimiento fuera incluido en el SICPRO ERP de la empresa y adaptado tanto para su uso in situ durante

**Requerimientos para la elaboración y modificación de documentos de seguridad de las obras a través del software SICPRO ERP**

Se propone que a través del SICPRO ERP se enlacen las acciones para la elaboración de los proyectos de seguridad, en el módulo de plan preparación de obras a ejecutar. Este procedimiento se soportará en una solución informática que permita contribuir a una mejor experiencia del trabajador en un entorno digital. En este módulo deben interactuar inversionistas, especialistas de áreas técnicas, de ejecución y de seguridad y salud en el trabajo.

Se definieron las actividades a ejecutar para elaborar los proyectos de seguridad y salud del trabajo, utilizando la herramienta SICPRO ERP, organizándolas en el siguiente proceso:

A partir de la solicitud de ejecución de obra del inversionista al ejecutor y con toda la documentación requerida, el especialista del área técnica elabora la documentación de la misma y genera el modelo (Anexo 1) con la información necesaria, para la preparación del proyecto de seguridad.

Esta información llega por un correo de aviso del sistema al especialista de seguridad y salud responsable, el cual completa el documento con todas las medidas de control de riesgos que se deben adoptar en cada etapa de la obra, estableciendo los medios y recursos de seguridad requeridos.

Al finalizar la elaboración del proyecto, el sistema emite otro aviso por correo al constructor, para que proceda a la revisión y discusión del documento.

Finalmente, se cierra el proceso con la impresión y firma, para instruir a los trabajadores y adjuntar a la documentación de la obra, como documentos de consulta, durante la ejecución.

A la vez que va transitando cada etapa, el SICPRO ERP va creando un repositorio de todos los documentos elaborados, para facilitar el acceso a los mismos de todos los implicados en el proceso.

**Requerimientos para efectuar las acciones de capacitación en SST a través del software SICPRO ERP**

A partir de las necesidades de capacitación periódica de los operarios, la dinamización de procesos y el déficit de portadores energéticos y basándonos en el proceso de transformación digital, se fundamenta y posibilita el abordar las instrucciones en materia de seguridad y salud en el trabajo, desde una perspectiva más abierta y abarcadora, permitiendo que cada trabajador pueda acceder a esta capacitación desde sus dispositivos móviles o medio informático (Tablet con línea, PC, laptop).

Esta aplicación se nutre de los materiales elaborados por los especialistas a partir de los planes de estudios aprobados para las instrucciones de seguridad y salud en el trabajo. A través de lo propuesto, los operarios pueden acceder a los contenidos para su formación periódica y devolver a la administración la evaluación de dichos contenidos.

Se programa un módulo para la capacitación en la materia de seguridad y salud en el trabajo, donde se exponen los datos y vía de contacto con el instructor, el cual coloca los contenidos por área y especialidad (presentaciones, documentación técnica, legislación vigente, videos), vincula un examen de comprobación, con valor de 100 puntos (aprobado a partir de 70 puntos), el cual está elaborado en formato de múltiples preguntas con incisos, de los cuales el usuario debe marcar los planteamientos correctos. Estos planteamientos, tienen un valor de 5 puntos y los incorrectos -5, de manera que, si el usuario marca incorrectos o deja de marcar los correctos, el sistema le afecta el valor. Luego de conformada la instrucción, el instructor designa el área y los usuarios a los que va dirigida la acción, de la base de datos, con todo el personal de la división, que posee el sistema y al terminar el proceso, se va agregando a cada usuario, al registro de capacitación, con la evaluación y los datos del instructor. Por último, el sistema brinda la posibilidad de analizar la efectividad de todas las acciones, ilustrando a través de gráficos los resultados.

**Evaluación del impacto de la Investigación.**

El procedimiento que se propone facilita realizar una gestión más eficiente de los riesgos laborales, lograr la adaptación de los trabajadores a las tareas que ejecutan, según su puesto de trabajo o actividad específica en la organización, reduciendo los distintos riesgos durante la jornada laboral, además de posibilitar:

Tener un mayor control de riesgo en la empresa.
Disminuir los accidentes y/o riesgos; disminuyendo, además, los días perdidos por eventos no deseados, gastos médicos en caso de ocurrir accidentes y los incumplimientos de los cronogramas de obras pactados con el inversionista.
Promover un ambiente de mayor seguridad en el empleado.
Facilitar la comprensión de las políticas de la empresa.
Formar progresivamente, una cultura de cambio, relacionada con la protección de los trabajadores, que propicie la participación y compromiso efectivo de los trabajadores y directivos.

## 4. CONCLUSIONES

La consulta de la bibliografía permitió conocer los principales sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, normas y resoluciones, sus características y procedimientos asociados, corroborándose la importancia de identificar, evaluar y controlar los riesgos laborales a los que se exponen los trabajadores, así como la especial complejidad de la elaboración de buenos proyectos de salud y seguridad ocupacional en las instituciones que producen obras de construcción únicas, todas diferentes entre sí.

El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación, demostró la necesidad de diseñar un procedimiento para la elaboración de los Proyectos de Seguridad de las obras civiles de telecomunicaciones, que permita una gestión eficiente de los riesgos laborales para, de esta forma, contribuir a la disminución de ocurrencia de accidentes del trabajo.

## 5. RECOMENDACIONES

Por la complejidad del tema, por las reservas de productividad y ahorro que pueden desplegarse y por la necesidad de que las tecnologías sean objeto de mejoramiento sistemático, las soluciones que aquí se presentan constituyen una primera aproximación, que debe ser objeto de análisis crítico por los Comités de Seguridad y Salud de las unidades organizativas, y mantenerse el trabajo de un equipo multidisciplinar de creciente calificación, que asesore el mejoramiento continuo y estimule acciones de innovación cada vez más ambiciosas.

Para lograrlo, es imprescindible involucrar al sindicato, estimular el interés, la exigencia y la participación de todos los trabajadores y el compromiso de la dirección, a partir de la divulgación de informaciones bien documentadas sobre el balance de costos y beneficios.

## REFERENCIAS

1. Crozet. M. (2023). “A call for safer and healthier working environments”. International Labor Organization. XXIII World Congress on Safety and Health at Work: Shaping Change. Report. 26 November 2023. 16 pp.
2. Segarra Cañamares, M. (2020). "Mind the gap: profesionalización y seguridad y salud en el sector de la construcción." Archivos de Prevención de Riesgos Laborales 23(1): 96-100.
3. Oficina Nacional de Estadística e Información Económica (2022). "Protección del Trabajo, Indicadores Seleccionados." Disponible en Web://www.onei.gob.cu/node/14269.
4. Callis Caraballoso, S. (2023). “Procedimiento para la elaboración de Proyectos de Seguridad de las Obras Civiles de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba” . Directores: Aida Rodríguez Hernández y Silvio J. Viña Brito. Tesis de Maestría en Gestión de Recursos Humanos. Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE).
5. Gaceta Oficial No. 30 Extraordinaria (2014). Resolución No. 204/2014. MINCONS. Reglamento de SST para la Const. Civil y Montaje. Gaceta Oficial de la República de Cuba Ministerio de Justicia.
6. Martínez, N. O., et al. (2019). "Evaluación de la originalidad de los estudios de seguridad y salud." DYNA Management 7(1): [12 p.]-[12 p.].
7. Oduardo Darromán, J. E. (2014). Procedimiento para realizar estudios de organización del trabajo en la actividad de construcción de viviendas, Instituto Superior Politécnico: José Antonio Echeverría.
8. Alonso Martínez, A., et al. (2018). "Análisis de la organización del trabajo en la agrupación de torreros de la empresa de telecomunicaciones." Revista de Ciencia y Tecnología (29): 4-12.
9. Alonso Calle, J. G. (2017). Plan de gestión para aplicación de normas de seguridad y salud en empresas constructoras. Unidad Académica de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala.
10. Vega, R. K. A., et al. (2017). "Diseño de un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) para una Microempresa." Inge Cuc 13(1): 84-100.
11. Astudillo-Rodríguez, C., et al. (2018). "UDA-ERP: Emprendimiento y Gestión de recursos empresariales. La llave para la vinculación empresarial." Memorias y Boletines de la Universidad del Azuay: 92-106.
12. MinTic, T. C. (2016). "Transformación Digital. Reinventando Organizaciones ante la Nueva revolución Industrial." Whitepaper #Transformación Digital.

**Sobre los autores**

Ms. C. Alejandro Alonso Martínez.
Máster en Ingeniería Industrial y Sistema, Mención: Ergonomía y Seguridad y Salud en el Trabajo, Especialista de Seguridad y Salud en el Trabajo EP. Presidente de CIR de Base de la ANIR, coordinador de Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo de su División, miembro del Órgano de Justicia Laboral de su División, División de Proyectos y Ejecución de Obras (ETECSA). La Habana, Cuba, correo electrónico: alejandro.amartinez@etecsa.cu

Ms. C. Sandra Callis Caraballoso
Máster en Recursos Humanos Cujae-ETECSA. Jefa de Departamento de Capital Humano DVPE. sandra.callis@etecsa.cu

Dra. Aida Rodríguez Hernández
Ingeniera Industrial. Master en Sistemas Automatizados de Dirección. Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular y Emérita. Miembro del Claustro de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico de la Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: aida@ind.cujae.edu.cu

Dr. Silvio Viña Brito
Ingeniero Industrial. Master en Dirección. Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular y Emérito. Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Ingeniería Industrial y Sistemas y de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: silviovi@ind.cujae.edu.cu

Dra. Vania García Fenton
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Profesora Principal de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: vania@ind.cujae.edu.cu

Dra. Sonia Fleitas Triana
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular y Emérita. Directora del Comité Editorial de la revista Ingeniería Industrial de la Universidad. Coordinadora de la maestría de Ingeniería Industrial y Sistemas. Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Profesora Principal de la Disciplina integradora de la Carrera de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba correo electrónico: sfleitas@ind.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

**Procedimiento para gestionar el proceso de formación de Torcedores de Tabaco en la Empresa Tabaco Torcido Artemisa**

Primer Autor:Heidy Hernández Rivera(*),Ingeniera Hidráulica

Segundo Autor:Beatriz Gutiérrez Fabelo, Licenciada en Educación en la especialidad Lengua Inglesa

Tercer Autor: Liudmila Serrano Peña, Licenciada en Socioculturales

Curto Autor: Clara Maris Cruz Cotayo, Licenciada en Informática Pedagógica,

Quinto Autor: C. María Sonia Fleitas Triana, Dra.

La fuerza de trabajo, significa el factor principal en todo proceso productivo independientemente del grado de mecanización o automatización del mismo, el hombre es quien dirige o ejecuta las diferentes actividades que lo conforman.En el sector tabacalero la fuerza de trabajo enfrenta una serie de desafíos. La Empresa Tabaco Torcido Artemisa no escapa al dilema y aunque tiene como objeto social "producir tabaco a mano para la exportación", se le imposibilitaba cumplir los planes productivos y económicos. Aunque se tiene una plantilla aprobada de Torcedores; la situación mensualmente se dificultaba por el déficit de torcedores como plantilla cubierta por lo que se dejaron de realizar tabacos para cumplir con los planes previstos. Lograr la formación de los torcedores necesarios para alcanzar las cifras productivas propuestas en el Programa de Desarrollo y a la vez obtener el completamiento de la capacidad necesaria en nuestras fábricas, era una de las principales tareas que integraba la estrategia de Capital Humano, es por ello que nos propusimos el objetivo de lograr la formación vocacional y orientación profesional tanto en el curso en las fábricas, así como la de Obreros Calificado para la Industria del Tabaco, desarrollando en ellos conocimientos, habilidades, hábitos, y valores orientados hacia el trabajo y la futura profesión, de modo que se satisfagan las demandas a nivel de empresa. A través de encuestas realizadas en las fábricas y en el aula de obrero calificado a estudiantes, instructores, profesores y grupos de expertos; se conformó un procedimiento motivador

con estimulaciones espirituales por parte de la máxima dirección. En cada etapa se brindará nuevas habilidades para ir mejorando el conocimiento en un ambiente de trabajo positivo. Diariamente se le hará entender como su trabajo contribuye a un objetivo mayor proporcionándoles como sus producciones van siendo esencial en el logro del cumplimiento a nivel de Empresa. Se logra tarea esencial con el trabajo que era adecuar las condiciones de la organización para que los estudiantes pudieran alcanzar sus propias metas de la mejor manera.

Palabras claves: motivación, curso, fuerza de trabajo, estudiantes, instructores

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CONFECCIÓN DE MÓDULOS DE SISTEMAS ANTI CAÍDAS PARA TRABAJOS EN ALTURA

**Alejandro Alonso Martínez[1], Alexis Sosa Alonso[2], Aida Rodríguez Hernández[3], Silvio J. Viña Brito[4], Vania García Fenton[5], Sonia. Fleitas Triana[6]**

[1,2] División de Proyectos y Ejecución de Obras-ETECSA, Avenida Salvador Allende No 508 entre Belascoaín y Santiago, Edificio Masónico, Centro Habana, La Habana, [3,4,5,6] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba.
[1]e-mail: alejandro.amartinez@etecsa.cu
[2]e-mail: alexis.sosa@etecsa.cu

**RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue mejorar la seguridad y condiciones del trabajo en las labores en la altura de los operarios de la Empresa de Telecomunicaciones. El criterio considerado fue el estudio de los medios de trabajo a partir de la modificación de algunos equipos de protección personal. A través de pruebas de campo se analizaron varios sistemas anticaídas, calzados especializados y otros medios en los puestos de trabajo, para determinar las opciones más seguras, confortables y duraderas. Teniendo en cuenta las condiciones económicas del país, se disminuyeron costos de importación, se modificaron ciclos de reposición, módulos de medios de protección y se potenció la sustitución de importaciones en los artículos que lo permiten.

**PALABRAS CLAVES:** Seguridad y Salud; Trabajo en Altura, Métodos, Sistemas Anti Caídas.

**PREPARATION OF ANTI-FALL SYSTEM MODULES FOR WORK AT HEIGHT, BASED ON FIELD TESTS**

**ABSTRACT**

The objective of the research was to improve the safety and work conditions in the work at height of the operators of the Telecommunications Company. The criterion considered was the study of the work environment based on the modification of some personal protective equipment. Through field tests, a set of fall prevention systems, specialized footwear and other means in the workplace was analyzed to determine the safest, most comfortable and most durable options. Taking into account the country´s economic conditions, import costs were reduced, replacement cycles and protection modules were modified, and import substitution was promoted in the items that allowed it.

**KEY WORDS:** Safety and Health; Work at Height, Methods, Fall Protection Systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo en altura sigue siendo una de las principales causas de muerte y lesiones graves. Las causas más frecuentes son las caídas de tejados, escaleras, postes, fachadas, torres y superficies frágiles. Los trabajos en altura se definen como aquellos realizados por encima del nivel de referencia, entendiendo como tal la superficie sobre la que puede caer el trabajador o trabajadora y ocasionarle daños personales [1].

Las caídas en trabajos en altura en la construcción provocan costos para los trabajadores, sus familias, empleadores y la sociedad. Los costos indirectos y directos, la pérdida de productividad y el dolor de la familia debido a una caída en trabajos en altura, hacen que sea casi imposible su estimación monetaria

(Bedoya et al., 2018), sobre todo considerando que las caídas desde altura provocan consecuencias en la salud de los trabajadores que muchas veces pueden ser graves e incluso fatales. Las causas de estas caídas son variadas: falta de control de la jefatura directa, irresponsabilidad o errores del trabajador, tipo de tareas o actividades a realizar, falta de sistemas de protección de caídas (colectivos o individuales) o deficiencias de esos sistemas, entre otras [2].

El sector de las telecomunicaciones está en una constante evolución, sobre todo en los últimos años con la potenciación de la telefonía móvil, provocando que sean cada vez más las personas que se dedican a estas labores, las cuales tienen un riesgo importante para los trabajadores, que deben realizar disímiles trabajos al subir a las torres de telecomunicaciones, una tarea que exige del uso de Equipos de Protección Personal (EPP) eficaces y de calidad.

**Antecedentes del problema.**

Los antecedentes del problema se determinaron a partir de un estudio de organización del trabajo realizado en el año 2018 en la agrupación de torreros de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, Sociedad Anónima, en lo adelante ETECSA. Donde se aplicó el procedimiento de organización del trabajo en sinergia con la Seguridad y Salud y se determinaron los problemas que afectaban la capacidad constructiva. El diagnóstico realizado permitió determinar los problemas relacionados con la planificación de las inversiones, la logística y la disponibilidad de recursos, se detectan las carencias de procedimientos de trabajo. Se visualizan déficit de equipos y medios de trabajo. Se determinan las brechas del procedimiento de trabajo seguro del puesto, la poca efectividad de la gestión de riesgos, las dificultades en los diseños de varios EPP que completan el sistema anti caídas, comprobándose que algunos medios que distribuía la Empresa, no cumplían todos los requisitos de seguridad, eran modificados por los trabajadores y eran incómodos. Se analiza la desactualización del programa de formación del curso y de la instrucción periódica del puesto.
Con la investigación se mejora el procedimiento de trabajo seguro, proponiéndose nuevos medios y herramientas que facilitan el trabajo y favorecen las condiciones; además se plantean modificaciones a los procedimientos de realización de chequeos médicos especializados. Se actualiza el programa de formación de torreros en función de las regulaciones vigentes y los nuevos criterios del hacer seguro en puestos similares a éste. [3].
Se han evaluado otros puestos de trabajo que realizan labores en altura sin cumplir de forma suficiente con las medidas de seguridad.

**Objetivo general de esta investigación:**

Mejorar la organización del trabajo en las labores de los operarios de la Empresa.

**Objetivos específicos:**

Determinar las labores que requieren el uso de sistemas anti caídas para los trabajos en la altura.

Contribuir a la mejora de los módulos de equipos de protección personal de los cargos que realizan labores en altura.

**Métodos**

En la realización de esta investigación se emplea un procedimiento para la realización del estudio de la organización del trabajo aplicado a los puestos seleccionados, el cual tiene siete etapas generales que se han ejecutado en diferentes momentos de la investigación [4]. Este trabajo da continuidad a las cuatro etapas que ya se identificaron y desarrollaron en trabajos anteriores. En esta fase de la investigación se emplean las etapas 5, 6 y 7 que aparecen en la Figura 1.




**Figura 1. Etapas generales de la investigación. Fuente. Fleitas y García (2013).**

Las etapas que se abordan dan continuidad al estudio con relación a la selección de las alternativas de solución, implementación y la evaluación de la efectividad de las mismas. El trabajo se basa en el método general de solución de problemas y se usa la consulta con especialistas, software, tablas, consulta de documentos, entre otros.

## 2. DESARROLLO DEL TRABAJO Y RESULTADOS

### Caracterización de la División de Proyectos y Ejecución de Obras (DVPE)

La DVPE es una unidad organizativa de ETECSA que opera a nivel nacional, su sede radica en el Edificio Masónico-Avenida Salvador Allende (Carlos III) esquina Belascoain # 508. Centro Habana. La Habana. Además, posee instalaciones en Naranjito, Mantilla y Luyanó en la provincia La Habana, provincia Sancti Spíritus y Bayamo en Granma. Cuenta con 1007 trabajadores, entre operarios, técnicos, especialistas y cuadros. De acuerdo con la misión y la visión constituye la organización líder en satisfacer las demandas de soluciones integrales de proyectos, construcción y montaje de infraestructuras, para el desarrollo de las telecomunicaciones, con profesionalidad, sostenibilidad y cultura del servicio, con resultados de excelencia, acordes a la innovación tecnológica a nivel nacional.

En la División existen las Direcciones de Ejecución de Obras de instalaciones tecnológicas (DEOIT) y la de Ejecución de Obras Civiles de Telecomunicaciones (DEOCT), ambas con un alto porcentaje de operarios que realizan labores en la altura.

El estudio se concentra en las labores y la experiencia con el trabajo en alturas y el uso de sistemas anticaídas de la Agrupación de Torres de la DEOIT, que cuenta con 24 torreros, la mayor concentración de este cargo en la Empresa. También se analizan labores de altura en la instalación de redes de la planta exterior, la instalación de equipos en la planta interior, instalación de corrientes débiles, sistemas de climatización, labores de ejecución de obras civil, herrería, carpintería de aluminio y cristalería. Se ponen a prueba calzados especializados para varias actividades, guantes de protección, cinturones para labores de fuerza, muñequeras y medios para protección en trabajos de soldadura.

**Mejoras en los módulos de equipos de protección personal de los cargos**

El trabajo en altura es toda labor con riesgo de caída a distinto nivel donde una o más personas realizan cualquier tipo de actividades a un nivel cuya diferencia de cota sea aproximadamente igual o mayor a dos metros (2 metros) con respecto del plano horizontal inferior más próximo [5]. Aunque existen trabajos riesgosos a menos de 2 metros de altura, este trabajo se adoptó esta definición, lo cual no limita su aplicabilidad.

Para la realización del trabajo que desarrollan los torreros y otros cargos en la altura es imprescindible la utilización de sistemas anticaídas compuestos por puntos de anclaje (un punto de anclaje se encarga de unir la cadena de elementos de protección contra caídas a la estructura que deberá soportar todos los esfuerzos inducidos al realizar el trabajo o detener una caída del operario [6]), enlaces, conectores y arneses de seguridad, una cadena de seguridad en la cual todos sus elementos deben poseer una resistencia mínima a la rotura de acuerdo a las normas EN 361 [7], EN 358, EN 813, EN 355, EN 353 logrando una protección acorde a las características del puesto de trabajo.

Los medios destinados a prevenir las caídas desde altura o sus efectos, llevarán un dispositivo de agarre y sostén del cuerpo y un sistema de conexión que pueda unirse a un punto de anclaje seguro.

El equipo de protección personal es un dispositivo o medio que requiere utilizar individualmente un trabajador para protegerse contra uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad y su salud, así como los componentes, partes, piezas o accesorios intercambiables que son indispensables para su funcionamiento correcto. Comprende la ropa y calzado, que cumplen la función protectora de los riesgos existentes durante el trabajo [8].

Toda organización debe contar con medidas de prevención contra caídas, para riesgos colectivos e individuales. Las medidas preventivas están enfocadas a advertir, evitar o alejar al trabajador del riesgo de una caída de altura o caída de objetos al desarrollar sus actividades [6].

A partir de las propuestas de mejoras al módulo de equipos de protección personal que componen los sistemas anticaídas de los torreros [9], se realizaron pruebas de campo con un conjunto de medios anti caídas de un proveedor extranjero [10], a los que se hicieron nuevas propuestas de modificaciones, teniendo en cuenta los criterios de operarios, trabajadores y especialistas implicados en el proceso. La tabla 1 muestra las propuestas de mejoras iniciales.

**Tabla 1. propuestas de mejoras al módulo de equipos de protección personal, Fuente: Alonso Martínez, García Fenton et al. (2018).**

| | Descripción del EPP | Promedio de vida útil | Justificación de la necesidad |
|---|---|---|---|
| 1 | Cinta c/3 ganchos 55 mm de apertura de aluminio reforzado/absorbedor de energía p/arnés. Con los ganchos fijos en la cinta. | 36 meses | Se indica que los ganchos sean fijos para que los trabajadores no retiren ninguno.<br>Se deben entregar de varias aperturas, para que estos se puedan emplear en todas las estructuras. |
| 2 | Cuerda posicionamiento ajuste 2m para arnés, rígidas, con quita vueltas y mecanismo ajustable eficiente. | 36 meses | Se indica que sean más rígidas y manuables, dándole la posibilidad al trabajador de manipularlas con una sola mano. |
| 3 | Bolsa portaherramientas p/arnés | 36 meses | Para que el trabajador tenga las herramientas y herrajes en una bolsa cómoda, reduciendo el riesgo de caída de objetos en manipulación. |
| 4 | Nuevo: Gorro pasamontaña para frío | 12 meses | Proteger la cara al trabajador. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | Guantes piel suave ajustable P/Torrero | 6 meses | Se acorta el ciclo de reposición porque el uso del guante ajustado es constante y estos se deterioran con facilidad. |

Se analizaron los riesgos de caídas a diferente nivel presentes en las labores en escaleras, andamios, tejados y azoteas de la ejecución en la planta exterior, instalaciones tecnológicas en la planta interior y la ejecución civil, para solicitar al proveedor sistemas apropiados para estas actividades, facilitándose de parte del mismo, sistema de líneas de vida horizontales y verticales para estas labores. Las actividades y cargos asociados se detallan en la tabla 1 de elaboración propia.

**Tabla 2. Actividades y cargos asociados a trabajos en altura, determinados en el estudio. Elaboración propia.**

| | Actividades | | Cargos asociados |
|---|---|---|---|
| 1 | Ejecución de redes de planta exterior | 1 | Liniero |
| | | 2 | Operario de cable |
| 2 | Instalación de equipos de la planta Interior | 3 | Operario de fuerza motriz |
| | | 4 | Operario en telemática |
| 3 | Instalación de corrientes débiles | 5 | Técnico en telemática |
| | | 6 | Especialista en telemática |
| 4 | Instalación de equipos de climatización | 7 | Mecánico en climatización y refrigeración |
| | | 8 | Electricista montador |
| 5 | Instalación de ingeniera y sistemas de tierra | 9 | Electricista instalador |
| 6 | Herrería, carpintería de aluminio y cristalería | 10 | Operario en construcción de estructuras metálicas |
| 7 | Ejecución integral de obras civiles | 11 | Operario en construcción de estructuras |

Los sistemas anti caídas entregados por el proveedor fueron sometidos a un año de prueba con una información periódica sobre el funcionamiento de los mismos, a los cuales se les hicieron importantes propuestas de modificaciones, que fueron ejecutadas por el fabricante. Se introducen nuevos métodos para trabajos en vertical, con sistemas de suspensión por cuerda, que permiten a los operarios laborar de forma segura y cómoda, en puntos críticos como fachadas o sitios de difícil acceso. Estos medios además de elevar la calidad, durabilidad y confort, representan un ahorro en materia de importación a la Empresa debido que, se alargan los ciclos de reposición, tomando como referencia las certificaciones de calidad del proveedor y sus garantías, medios diseñados para soportar nuestro clima, las condiciones de trabajo y la frecuencia de uso, se debe destacar que estos fueron adquiridos en el año 2020 y no se han reportado roturas hasta la fecha. Además, se eliminan medios que no son necesarios, a partir de las nuevas propuestas.

Se probaron cascos de protección para los torreros a los cuales se le hicieron modificaciones y mejoras.

Durante el período se probaron varios calzados de seguridad de diferentes cargos (Linieros, torreros, operarios de ejecución civil, energéticos y operarios de cable).

Se probaron de forma satisfactoria módulos para soldadura, guantes de labor y cinturones para labores de fuerza de proveedores nacionales, los cuales se incluyeron en los catálogos de compra de la Empresa, generando sustitución de importaciones y favoreciendo a la captación de divisas en empresas nacionales, cuestiones recomendadas por la Dirección del país.

Se ejecutó un taller de uso de sistemas anticaídas, con el objetivo de presentar estos sistemas del proveedor en una exposición teórico-práctica a operarios, especialistas y directivos de la empresa [11]; donde los proveedores presentan sus ofertas modificadas y los nuevos medios solicitados, incluyendo una prueba práctica para adiestrar a los operarios. Capacitación de instalación y uso de sistemas anticaídas.

(trabajos en torres, monopolos, postes, andamios y fachadas). El taller se concentró de 6 temáticas, las cuales se mencionan a continuación:
1-Pruebas prácticas del uso y las bondades de todos los equipos anticaídas que fueron contratados al proveedor.
2-Presentación las sillas para el trabajo en la altura de los torreros. Demostraciones prácticas del uso del equipo.
3-Presentación el kit de sistemas anticaídas diseñado para la Empresa, sistema de auto rescate. Capacitación practica para mostrar el funcionamiento del equipo.
4-Presentación el cinturón y la cuerda para linieros y operarios de cable, a partir de las modificaciones propuestas.
5- Adiestramiento práctico de la instalación de elementos de anclajes para andamios y escaleras comercializados por el proveedor.
6- Adiestramiento práctico de la instalación y uso la línea de vida horizontal para los trabajos en andamios y azoteas.

**Evaluación de las soluciones a partir de la aplicación de las propuestas.**

Para evaluar las soluciones aplicadas, se realizó una encuesta a 14 torreros de la agrupación, que representan el 58% del universo estudiado, primando los criterios favorables sobre los medios entre los encuestados. Los resultados de la encuesta se muestran en la tabla 3 de elaboración propia.

**Tabla 3 Encuesta de apreciación de las propuestas de mejora. Elaboración propia.**

| | | | Frecuencia de uso | | Comodidad | | Durabilidad | | Seguridad | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Descripción del EPP | Promedio de vida útil | Permanente | Ocasionalmente | Cómodo | molesto | Fuerte | Débil | Seguro | Inseguro |
| 1 | Absorbedor energía elástico 2M p/arnés | 36 meses | 8 | 3 | 9 | 2 | 11 | 0 | 10 | 1 |
| 2 | Arnés con cinturón P/ altura | **36 meses** | 11 | 0 | 10 | 1 | 11 | 0 | 10 | 1 |
| 3 | Bloqueador automático c/cuerda 30cm p/arnés | 60 meses | 3 | 8 | 8 | 3 | 9 | 2 | 8 | 3 |
| 4 | Bolsa portaherramientas p/arnés | 36 meses | 7 | 4 | 6 | 5 | 5 | 6 | 4 | 7 |
| 5 | Casco p/torrero p/utilizar con el arnés | 36 meses | 11 | 0 | 9 | 2 | 6 | 5 | 7 | 4 |
| 6 | Cinta C/3 ganchos/abs/energía p/arnés | 36 meses | 10 | 1 | 9 | 2 | 7 | 4 | 8 | 3 |
| 7 | Cinta punto anclaje móvil p/arnés | 36 meses | 7 | 4 | 11 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 |
| 8 | Conector apertura/100MM GO-100 p/arnés | 60 meses | 4 | 7 | 6 | 5 | 9 | 2 | 9 | 2 |
| 9 | Conector GALV apertura 18MM p/arnés | 60 meses | 7 | 4 | 7 | 4 | 8 | 3 | 8 | 3 |
| 10 | Cuerda posicionamiento ajuste 2M p/árnes | 36 meses | 11 | 0 | 8 | 3 | 8 | 3 | 8 | 3 |
| 11 | Elemento anticaída retráctil p/arnés | 60 meses | 2 | 9 | 6 | 5 | 7 | 4 | 8 | 3 |
| 12 | Equipo de Ascenso y Descenso de 250m | 60 meses | 2 | 9 | 8 | 3 | 8 | 3 | 9 | 2 |
| 13 | Línea de vida 30M tens/c/peso/mosquetón | 36 meses | 8 | 3 | 10 | 1 | 10 | 1 | 8 | 3 |
| 14 | Mosquetón aluminio ojo ancla 20mm abertura 60mm | 60 meses | 7 | 4 | 9 | 2 | 8 | 3 | 8 | 3 |

**Evaluación del impacto de la Investigación.**

Con los medios modificados y aprobados en la prueba de campo, la Empresa tiene la posibilidad de alargar los ciclos de reposición de estos EPP que son de alto costo debido a su complejidad. Pertenecen a la categoría III, según la NC 1039 de 2014 [8]. Teniendo en cuenta lo antes expuesto se extiende el ciclo de vida de los 10 EPP que componen los diferentes sistemas anticaídas que emplean los 140 torreros de la Empresa.

El estudio, donde se valoraron los Equipos de protección personal y donde se hicieron las propuestas de mejora se realizó en el año 2017, las pruebas de campo se llevaron a cabo en los años 2018 y 2019, donde se hicieron todas las correcciones necesarias a la propuesta del proveedor. Los medios con las mejoras se compraron en el 2020. A partir de estos criterios se incluyeron nuevos cargos en el uso de estos sistemas

anti caídas, entre estos se encuentran los operarios de ejecución civil, los de montaje de la planta interior y los de instalación de redes de la planta exterior que realizan labores en altura.

-Para el cálculo se tuvieron en cuenta tres variables: valor unitario de cada EPP (VU), cantidad de torreros (CT), el ciclo de reposición de los medios en un período de 10 años (CR) y la diferencia del valor de los EPP en el año 2018 y el precio actual. Se calcularon el ciclo de reposición vigente y la nueva propuesta, sacando la diferencia para obtener el valor del ahorro (AH).

El documento MÓDULO DE EPP POR FUNCIONES de la Empresa tiene los ciclos de reposición expresados en meses por lo que, para facilitar los cálculos se llevaron a años.

## 3. CONCLUSIONES

Se determinaron 7 actividades y 11 cargos que por sus labores en la altura deben emplear los sistemas anti caídas.

Con la prueba de campo de los módulos de equipos de protección personal, compuestas fundamentalmente por sistemas anti caídas, se logra proveer a los operarios del cargo, medios confortables, de calidad y con una mayor durabilidad, posibilitando alargar los ciclos de reposición de los mismos, cuestión que representa un ahorro aproximado de 1200000.00 MLC a la empresa e impacta positivamente en la seguridad y bienestar de los trabajadores.

Se aprobaron 6 medios que representan sustituciones de importaciones y que aportan divisas a empresas nacionales.

Se logra el principal objetivo de estas propuestas es garantizar la salud de los trabajadores, evitando accidentes de trabajo que pongan en peligro su vida.

## 4. REFERENCIAS

1. INSST. Tema 17. Trabajos en altura y trabajos a la intemperie: principales riesgos y medidas preventivas. En Temas específicos del Proceso Selectivo para ingreso en la Escala de Titulados Superiores del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, O.A., M.P. (INSST). Parte 2: “Seguridad en el trabajo”. INSST. V. marzo 2024.
2. Valderrama-Ulloa, C., et al. (2023). "Análisis técnico sobre protecciones provisionales de borde para prevenir riesgos de caídas en trabajos en altura en la construcción: el caso de Chile." Información tecnológica 34(2): 137-146.
3. Alonso Martinez, A. (2018). Aplicación de un Procedimiento de Organización del Trabajo en sinergia con Seguridad y Salud para los puestos de torreros de ETECSA. Facultad Ingeniería industrial. La Habana, Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría: 254.
4. Fleitas Triana, S. y V. García Fenton (2014). "Procedimiento para el Estudio de la Organización del Trabajo." Revista Nueva Empresa Volumen 9(No. 3): 9.
5. Alonso Martinez, A. and A. Sosa Alonso (2019). Procedimiento de Trabajo Seguro Torreros “A” y “B”. La Habana, División de Proyectos y Ejecución de Obras: 34.
6. Rocha, M. G. B. (2023). "Trabajo en Alturas en Telecomunicaciones”." Proteus 1: 2.5.
7. AENOR-INSHT, C. T. A. C. P. y. M. d. P. P. y. C. e. e. T. c. S. d. (2002). Arneses anticaídas. UNE-EN 361. A. E. d. N. y. C. AENOR. C Génova, 6, Madrid España: 15.
8. Comité Técnico de Normalización NC/CTN 6 de Seguridad y Salud en el Trabajo (2014). NC 1039 Equipos de protección personal de los trabajadores — Requisitos generales y clasificación. NC 1039. O. N. d. N. (NC).
9. Alonso Martínez, A., et al. (2018). "Análisis de la organización del trabajo en la agrupación de torreros de la empresa de telecomunicaciones." Revista de Ciencia y Tecnología (29): 4-12.
10. Climax (2020). Equipos de Protección Individual / Catálogo General 2020-202021. Barcelona 28
11. Alonso Martinez, A. y R. Oliva Betancourt (2020). Capacitación del proveedor extranjero SPACUB, SL, relacionada con el adiestramiento teórico-práctico al personal de ETECSA en la instalación y uso de sistemas anticaídas. La Habana, División de Proyectos y Ejecución de Obras: 5.

**Sobre los autores**

Ms. C. Alejandro Alonso Martínez.
Máster en Ingeniería Industrial y Sistema, Mención: Ergonomía y Seguridad y Salud en el Trabajo, Especialista de Seguridad y Salud en el Trabajo EP. Presidente de CIR de Base de la ANIR, coordinador de Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo de su División, miembro del Órgano de Justicia Laboral de su División, División de Proyectos y Ejecución de Obras (ETECSA). La Habana, Cuba, correo electrónico: alejandro.amartinez@etecsa.cu

Alexis Sosa Alonso
Jefe de Agrupación de Torres. Torrero con más de 20 años de experiencia en la actividad. alexis.sosa@etecsa.cu

Dra. Aida Rodríguez Hernández
Ingeniera Industrial. Master en Sistemas Automatizados de Dirección. Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular y Emérita. Miembro del Claustro de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico de la Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: aida@ind.cujae.edu.cu

Dr. Silvio Viña Brito
Ingeniero Industrial. Master en Dirección. Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular y Emérito. Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Ingeniería Industrial y Sistemas y de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: silviovi@ind.cujae.edu.cu

Dra. Vania García Fenton
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Profesora Principal de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: vania@ind.cujae.edu.cu

Dra. Sonia Fleitas Triana
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular y Emérita. Directora del Comité Editorial de la revista Ingeniería Industrial de la Universidad. Coordinadora de la maestría de Ingeniería Industrial y Sistemas. Miembro del Comité de Doctorado de la Facultad de Ingeniería Industrial y del Consejo Científico. Miembro del Comité Académico de la Maestría de Gestión de Recursos Humanos. Profesora Principal de la Disciplina integradora de la Carrera de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba correo electrónico: sfleitas@ind.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE ORGANIZACIÓN DEL INGRESO DE PACIENTES DESDE LA MESA COORDINADORA PROVINCIAL DE SALUD EN SITUACIÓN DE CRISIS

**Primer Autor (Ms. C. Danhiz Díaz Pereira)[1], Segundo Autor (Ms. C. Joel Queipo Ruiz)[2], Tercer Autor (Ing. Roberto Abreu Pérez)[3], Cuarto Autor (Dra. Sonia Fleitas Triana)[4], Quinto Autor (Dra. Vania García Fenton)[5], Sexto Autor (Dr. Armando Cuesta Santos)[6]**

[1,3,4,5,6] Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba,· [2] Comité Central del Partido Comunista de Cuba.
[1]e-mail: danhizdp14@gmail.com

**RESUMEN**

Desde la llegada a Cuba de la Covid-19 la vida comenzó a cambiar bruscamente. Durante todo el año se vivieron variaciones estadísticas de los casos positivos, fallecidos y sospechosos. La infraestructura hospitalaria preparada para la atención médica sufrió grandes procesos de estrés en sus diferentes niveles de atención. Esta enfermedad afectó grandemente al mundo, cambiando drásticamente la forma de vida y se lamentó la pérdida de muchas vidas humanas. Los sistemas sanitarios se estremecieron y muchos colapsaron.
La investigación tuvo como objetivo general diagnosticar el trabajo del puesto de mando provincial de ingreso de pacientes en La Habana, determinando un procedimiento para la organización del ingreso de los pacientes desde el Puesto de Mando Provincial, aplicable para otras provincias del país en igual situación. Este puesto de mando fue gestionado por profesores y estudiantes de la CUJAE incorporando varios elementos de mejora por lo que tuvo un mejor control y organización el proceso de ingreso de pacientes. Entre los resultados obtenidos se encuentran las descripciones de los puestos de trabajo, el análisis de la productividad, el aprovechamiento de la jornada laboral, las normativas de cada operación y el balance de carga y capacidad. Entre las soluciones más importantes se encuentra el diseño del manual que apoya el procedimiento para la organización del ingreso de pacientes desde la Mesa Coordinadora Provincial de Salud. En este se tomaron como elementos nuevos el uso del trabajo colaborativo, la gestión por crisis y las relaciones de estos conceptos con la organización del trabajo y la Ergonomía.

**PALABRAS CLAVES:** Covid-19, Mesas Coordinadoras, trabajo colaborativo, gestión por crisis, Ergonomía.

## GUIDELINES FOR PREPARING ARTICLES FOR THE XX SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE

**ABSTRACT**

Since the arrival in Cuba of the Covid-19, life began to change abruptly. Throughout the year there were statistical variations in positive cases, deaths and suspects. The hospital infrastructure prepared for medical care suffered great processes of stress in their different levels of attention. This disease affected greatly to the world, drastically changing the way of life and lamented the loss of many human lives. Health systems were shaken and many they collapsed.
The general objective of the investigation was to diagnose the work of the command post Provincial admission of patients in Havana, determining a procedure for the admission of patients from the Provincial Command Post, applicable for other provinces of the country in the same situation. Teachers and students of the CUJAE incorporating several elements of improvement that had better control and organization of the entry process managed this command post. Among the results obtained are the job descriptions work, the analysis of productivity, the use of the workday, the regulations of each operation and the balance of load and capacity. Among the solutions more important, the design of the manual was found, which functioned as a procedure for the admission of patients from the Provincial Command Post.

In this there were taken as new elements the use of collaborative work, crisis management and business relationships of these concepts with Ergonomics.

**KEY WORDS:** Covid-19, Command Post, collaborative work, crisis management, Ergonomics.

## 1. INTRODUCCIÓN

En marzo de 2020, llegó a Cuba el primer caso de Covid-19. Como en el resto del mundo la vida comenzó a cambiar bruscamente. Durante todo el año se vivieron variaciones estadísticas de los casos positivos, fallecidos y sospechosos. La infraestructura hospitalaria preparada para la atención médica sufrió grandes procesos de estrés en sus diferentes niveles de atención. Asimismo, se fueron ampliando sus capacidades sobre el avance de la enfermedad en el país.
Algunos datos actualizados de abril de 2023, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) reflejan que se habían detectado 520,438,992 casos confirmados, de ellos se confirmaron 6,878,971 muertes detectado en 225 países y territorios.
En Cuba luego de casi un año de pandemia los inicios del 2021 fueron más tormentosos. En su primer semestre el sistema de salud vivió sus momentos de mayores casos positivos, pero ya con muchos recursos agotados y sus recursos humanos también bajo grandes procesos de estrés y agotamiento.
El puesto de mando encargado del ingreso de los pacientes según su clasificación radicaba en la Dirección Provincial de Salud, en 21 y O, La Habana. Las autoridades de la provincia solicitaron a la dirección de la FEU y la UJC de la CUJAE la colaboración en fuerza de trabajo y organización para dicho puesto de mando por la necesidad de una mejor gestión de los ingresos de los pacientes.
El 28 de enero se efectúa en la Dirección Provincial de Salud, una reunión con todos los Directores Municipales de Salud y se aprueba la creación de un nuevo modelo de gestión de Puesto de Mando Municipal y Puesto de Mando Provincial. Su uso empezó el 31 de enero y se fue perfeccionado sobre la aplicación en la práctica de lo propuesto. Por sus acertados resultados, la dirección del Ministerio de Salud Pública y el Miembro del Secretariado del Comité Central del Partido que estaba frente a la provincia de Matanzas decidieron extender el uso de ese modelo a la provincia antes mencionada, utilizándolo en su pico pandémico y luego a las provincias de Holguín y Guantánamo.
Por este Puesto de Mando, transitaron más de 500 personas diarias calculadas por los registros diarios de la Mesa Coordinadora y en los partes emitidos al Ministerio de Salud Pública, para las cuales se dirigía todo el esfuerzo en función de ofrecer un servicio de calidad, con el objetivo de que el paciente sospechoso o positivo recibiera atención médica en las primeras 24 horas. Pero el equipo de trabajo, compuesto por estudiantes y profesores de la CUJAE y personal médico se enfrentaron un grupo de dificultades no solo de recursos, también de organización de los procesos que impedían el cumplimiento de los objetivos. Para ello se hace necesario hacer un estudio de la organización del trabajo, definir los problemas, estudiarlos a partir de análisis de productividad, de los puestos de trabajo, el cálculo del aprovechamiento de la jornada laboral, las normas de tiempo y producción por operación, realizar un balance de carga y capacidad para la determinación de los trabajadores necesarios.

**Objetivo general de esta investigación:**

Diseñar el procedimiento para la organización del ingreso de pacientes desde la Mesa Coordinadora Provincial de Salud en La Habana, con enfoque colaborativo y gestión por crisis, aplicable para otras provincias del país en igual situación durante la pandemia generada por la Covid-19.

**Objetivos específicos:**

Fundamentar teóricamente sobre los conceptos de gestión por crisis, trabajo colaborativo, su relación con la Ergonomía y la organización del trabajo y las legislaciones vigentes para el manejo de la pandemia de Covid-19 en La Habana.

Analizar la situación de la organización del proceso de ingresos de pacientes durante la pandemia de Covid-19 en el año 2021 en La Habana y los puestos de trabajo de la Mesa Coordinadora Provincial de Salud.

Proponer mejoras al proceso del control de ingresos de la Mesa Coordinadora de la Dirección Provincial de Salud

**Métodos y técnicas utilizadas:**

Los métodos que se usan responden a los aprendidos en la formación de pregrado de la carrera de Ingeniería Industrial. Señalando los de carácter teóricos, principalmente el dialéctico materialista en el análisis bibliográfico y documental. Además, el inductivo deductivo para determinar las problemáticas y poder generar las hipótesis, así como las comparaciones conceptuales y el análisis de los resultados.

Otros métodos utilizados son la observación directa, el trabajo colectivo, la entrevista, el método de expertos, el análisis documental, la técnica de fotografía detallada individual y el cronometraje con procesamiento estadístico, técnicas de balance, diagrama causa efecto, además de herramientas gráficas para los análisis estadísticos.

## 2. RESULTADOS

**Aportes**

El aporte más evidente que ofrece la investigación es el diseño del procedimiento para la organización del ingreso de pacientes sospechosos o positivos a la Covid-19 desde la Mesa Coordinadora Provincial. Deja una herramienta adaptable a otras situaciones de crisis que requieran una forma de gestión parecida a la que se describe en la investigación. Define el diseño de puestos de trabajos y medios para utilizar en este tipo de lugares de trabajo, con elementos desde el punto de vista ergonómico, donde la toma de decisiones es constante y con influencia en salvar vidas humanas. Se describen las consecuencias de no tener correctamente diseñados los puestos de trabajo y el procedimiento en los resultados del trabajo. Con sus respectivas consecuencias en la salud de los pacientes y los costos para su vida. Además, se busca evitar derroche de recursos y coordinar sus usos más eficientes.

Se realiza un diagnóstico de la situación que tenía el puesto de mando, realizando varios cálculos y aplicando herramientas de la ingeniería, específicamente de estudios de tiempos, métodos y de la Ergonomía.

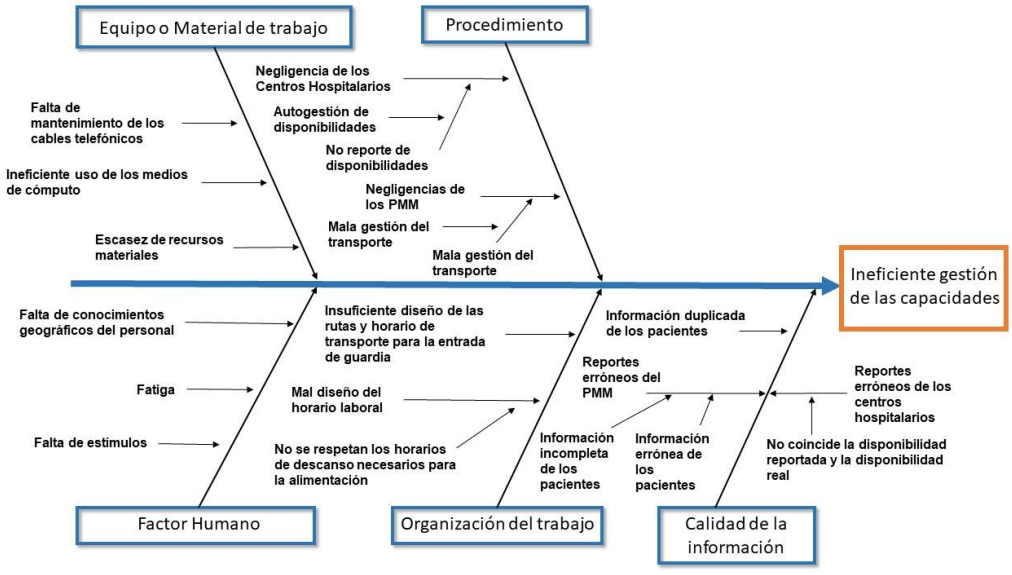



Figura #1: Diagrama Causa – Efecto. [Elaboración propia]

Para cada problema detectado se hacen propuestas de solución y varias recomendaciones.

Importantes elementos analizados fueron los relacionados con la iluminación, el ruido y la temperatura ambiente. El local inicialmente habilitado para la Mesa Coordinadora Provincial no contaba con una ventilación acorde para el tipo de trabajo, afectando el rendimiento físico y estado de ánimo de los estudiantes y profesores. Se realizaron pequeños estudios que demostraron que era imprescindible cambiar de local ante la imposibilidad de cambiar la infraestructura. Muchos de estos pequeños estudios fueron motivados por las encuestas realizadas a los estudiantes y profesores que trabajaban en la dicha Mesa Coordinadora.

Los estudiantes y profesores que trabajaban manifestaron estar atormentados con facilidad y además se cruzaban las informaciones que se daban trayendo esto influencia en la calidad de los resultados de trabajo, con la respectiva influencia en los pacientes y sus traslados. Los análisis y mediciones demostraron que esto era cierto, sonaban constantemente los 3 teléfonos del local, todos a una distancia promedio de un metro y medio sin ningún recubrimiento. Además, se daban indicaciones desde los puestos de trabajo para el trabajador que estaba en la pizarra anotando, generando interferencia en el resto de los puestos de trabajo. Aunque pudiera parecer insignificante en la encuesta realizada a los diferentes turnos de trabajo también manifestaron inconformidad con la interferencia que generaba cuando al área de trabajo entraban autoridades externas buscando información para la toma de decisiones.

Todas estas afectaciones fueron resueltas con el cambio de local. Tomando las medidas siguientes:

Se amplió el área de trabajo, distanciando los teléfonos y poniendo un cable más largo para poder separarse del área principal si fuera necesario e incluso poder ir a la pizarra y anotar directamente para evitar dictar al anotador.

El local nuevo contaba con climatización al que se le programó un ciclo de uso según la temperatura.

Las pizarras con la información que se manejaba en el Puesto de Dirección se colocaron de tal forma que permitía a los directivos que necesitaran alguna de ellas pudiera obtenerla directamente y no interrumpir ni interferir directamente en los puestos de trabajo.

Otro elemento importante de la Seguridad y Salud del Trabajo y la Ergonomía que se analizó fue lo relacionado al stress y su influencia en los rendimientos de trabajo. Es importante señalar que en este sentido se partió del criterio que ya todos tenían un stress base generado por un año pandemia y las respectivas preocupaciones que eso genera ante la posibilidad de enfermar. También se tuvo en cuenta la sensibilidad humana que despierta la información que se manejaba en el Puesto de Mando, por tratarse de personas enfermas muchas de ellas en estado de gravedad o dinámicas familiares muy complicadas y los estudiantes y profesores que estaban trabajando no tenían costumbre de lidiar con este tipo de situaciones.

Entre las afectaciones colectivas que se detectan producto del estrés se encuentran:

Pérdida del sueño o afectaciones al dormir con hechos de sonambulismo relacionados al trabajo del Puesto de Mando.

Poco descanso por los ciclos de trabajo.

Pérdida del apetito o constantes afectaciones estomacales.

Cambios de humor muy frecuentes con afectaciones en el ambiente familiar de los estudiantes y profesores.

Alta irritabilidad en los horarios picos de trabajo, generando en algunos casos pérdida del control emocional.

Disminución en los rendimientos de trabajo y errores en el mismo.

Luego de analizadas las posibles causas de estas afectaciones en el personal de trabajo y en los resultados de los mismos. Se tomaron un grupo de medidas de carácter organizativas que dieron resultados de inmediato:

Se reorganizaron los turnos de trabajo incorporando nuevos estudiantes y pudiendo cambiar de 24/48 a 24/72.

Se estableció obligatorio el horario de las comidas, rotándose entre los miembros del turno de trabajo y prohibiendo comer en el puesto de trabajo o atendiendo el teléfono.

Se dispuso de un local cercano con ventilación natural y vistas al mar para reposar en caso de que fuera necesario.

Se dispuso un baño de eso exclusivo para los trabajadores del Puesto de Mando.

La dirección médica estableció guardia de 24 horas para un médico en cada turno que permitiera atender los casos de la madrugada anteriormente atendidos por los estudiantes y profesores. Igualmente se independizaron la gestión de los pacientes en estado crítico, poniendo para ellos médicos intensivistas que se encargaban de su atención e ingreso.

Las condiciones para dormir fueron mejoradas permitiendo descansar en las madrugadas mientras la situación lo permitiera.

Entre los miembros de los turnos de trabajo se llegó al acuerdo de no compartir información con los compañeros de descanso y estos a su vez no tenían permitido establecer comunicación para conocer la evolución de los casos tratados. Esta medida fue tomada dada a la empatía que generaban los estudiantes y profesores con pacientes determinados y luego en su tiempo de descanso seguían pendientes y preocupados.

Se reforzaron las medidas de distanciamiento con personal ajeno y de utensilios de protección para disminuir la preocupación de enfermar.

La dirección académica de la Universidad estableció un régimen de estudio diferente para los jóvenes que se encontraban cumpliendo con esta importante misión.

Se estableció un refuerzo nocturno del equipo de dirección de la tarea para apoyar al Jefe de Turno en el horario pico de los ingresos.

La dirección de salud dispuso de un psicólogo para intercambiar con los diferentes turnos de trabajo.

Diferentes autoridades del Partido y del Gobierno pasaban por el Puesto de Mando para estimular moralmente a los turnos de trabajo y agradecerles su gestión.

Las fechas y festejos importantes que ocurrieron durante el período se festejaban en medio de las dinámicas de trabajo.

Para los miembros de los turnos de trabajo que se notan más afectados se establece un sistema de descanso más prologando cada un mes. Llegando a una semana o 15 días, dependiendo de la evaluación que se hace.

Estas y otras medidas tomadas con el paso del tiempo permitieron hacer sostenible el trabajo con el manejo del estrés que este tipo de situaciones provoca. Es importante señalar que durante los 9 meses de trabajo ningún estudiante o trabajador de la Universidad vinculado a estas Mesas Coordinadoras enfermó de Covid-19 en el ejercicio de estas funciones. Esto demuestra que las medidas tomadas luego del análisis de los riesgos fueron efectivas

Luego de las propuestas de soluciones y los análisis de los diseños se elaboró una propuesta de diseño de flujo para ingreso del paciente que se aplicó luego de la experiencia de La Habana, en la provincia de Matanzas. Permitiendo validar la calidad de la propuesta, reforzando su utilidad dado que la provincia se encontraba en colapso total de sus capacidades, superando los 3 mil casos positivos diarios.
Luego se utiliza el mismo modelo en las provincias de Holguín y Guantánamo, ofreciendo también resultados positivos validados por la dirección del gobierno. Como parte este modelo se diseña el Manual de Ingreso de Pacientes para momentos de crisis, en este caso el marco utilizado es la Pandemia. Este Manual permite usar su modelo de gestión como referencia para otras situaciones de crisis que demande de ingresos masivos como los vividos en este período, pudiendo agregar los diseños de puestos de trabajos propuestos. Se anexa a este manual tanto el diseño de flujo como el Manual de Ingresos.

Para acompañar la implementación de las propuestas, se propone además un nuevo procedimiento para el diseño de las Mesas Coordinadoras

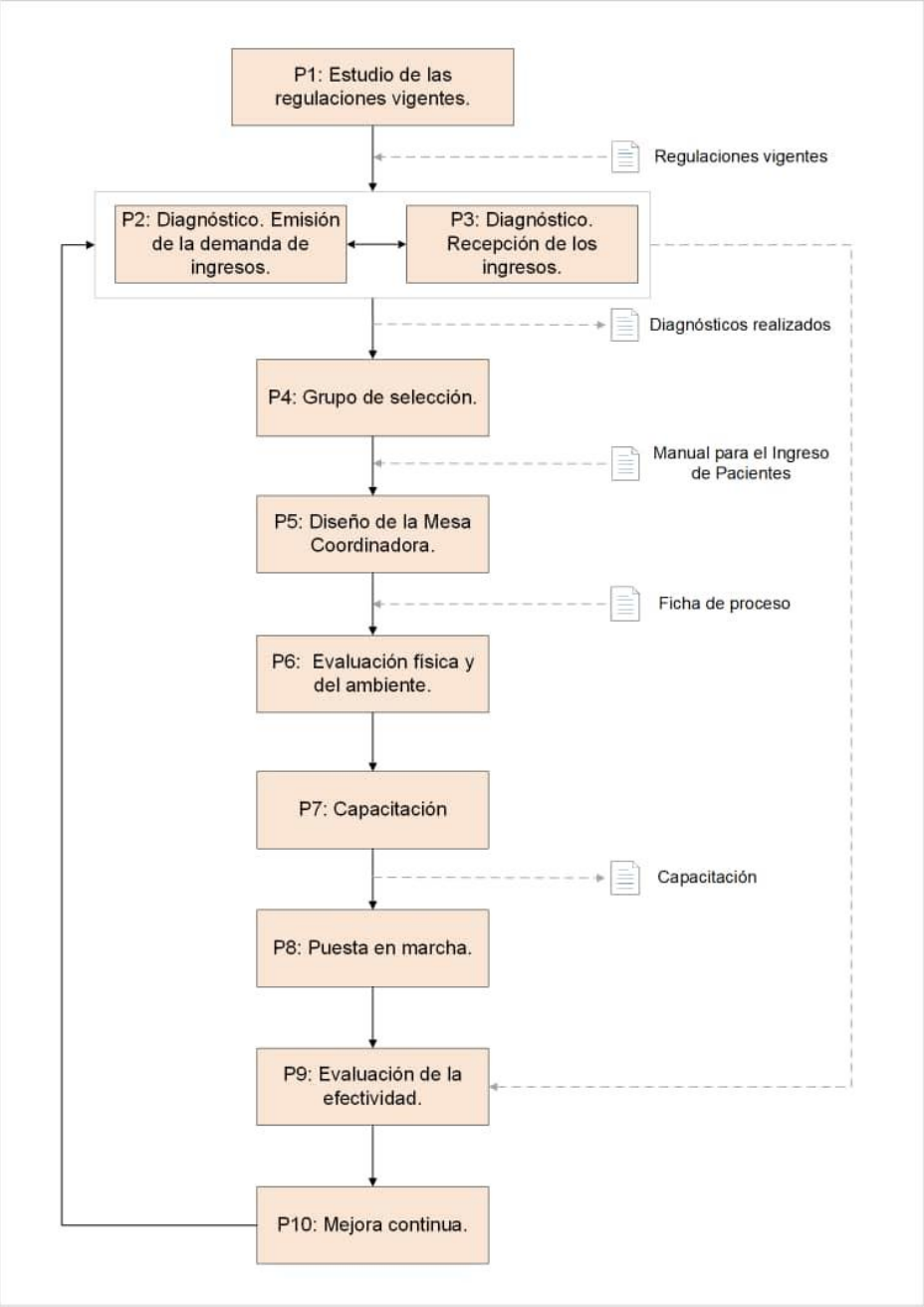


Figura #2: Procedimiento para el diseño de la Mesa Coordinadora [Elaboración propia]

## 3. CONCLUSIONES

Se logra una propuesta con una disminución de 24,39 % del tiempo del proceso de coordinación de camas al inicio de la jornada laboral, evaluando como el mejor método de trabajo el de la llamada telefónica con una productividad de 35,71 %.
La propuesta hecha logra un aprovechamiento de la jornada laboral de 89,4 % y se calcula la norma de tiempo por cada operación que sería 64,6; 43 y 32,4 solicitudes/segundo respectivamente.
Se plantean las soluciones adecuadas a los problemas planteados como la creación de una aplicación cubana para el envío, almacenamiento y procesamiento de la información y la creación de un servicio en la nube que permita visualizar las disponibilidades hospitalarias.
Se propone un nuevo diseño de la gestión de ingreso para los pacientes en el contexto de la pandemia del Covid-19. Generando un manual que se utilizó en 3 provincias demostrando su utilidad y resultados.

## 4. REFERENCIAS

1- Alonso, A. (2001). Ergonomía y productividad en el trabajo (E. Científico-Técnica, Ed.). Alonso, A. (2006). Ergonomía.
2- Anthony S Fauci, R. R. R., H Clifford Lane. (2020). Covid-19 - navigating the uncharted. The Lancet.
3- autores, C. de. (2008). Organización del trabajo ingeniería de métodos.
4- Barkley, E. F. (2019). Collaboration and teamwork in health care. Collaborative Learning Techniques: A Handbook for College Faculty.
5- Bermudez, M. M. D. C. (2021). Sistema de gestión del gobierno basado en ciencia e innovación para el desarrollo sostenible en cuba. Tesis Doctoral no publicada, Universidad Central Marta Abreu De Las Villas.
6- Cascales-Martínez, M.-S. M. . G.-V. M., A. (2016). Competencia tecnológica y trabajo colaborativo en las prácticas curriculares del grado en pedagogía en la Universidad de murcia. Revista de Investigación en Educación, 31-52.
7- Cristian León, E. G., Veronica Osorio. (2020). Guía rápida de gestión de crisis del covid-19 para gobiernos. salud pública, tecnologías y comunicación. Asuntos del Sur.
8- Cuesta A, F. S. (2010). La gestión del talento humano y del conocimiento. Revista Latinoamericana de Psicología.
9- Decreto-ley no. 31 del consejo de estado de la república de cuba sobre las medidas para el control de la covid-19 [Manual de software informático]. (s.f.). http://www.gacetaoficial.gob.cu/pdf/GOC-EX-31.pdf.
10- Espinoza Freire, E. E. (2022). El trabajo colaborativo en la enseñanza-aprendizaje de la geografía. Revista Universidad y Sociedad, 14(2), 101-109.
11- Fink, S. (2020). Crisis management: Planning for the inevitable.
12- Hutchinson Nancy L., C. P. M. H., Versnel Joan. (2008). Negotiating accommodations so that work-based education facilitates career development for youth with disabilities. Work.
13- Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (insht) [Manual de software informático]. (s.f.). https://www.insht.es/.
14- León, V. y. G. E., Cristian; Osorio. (2020). Guía rápida de gestión de crisis del covid-19 para gobiernos. salud pública, tecnologías y comunicación. proyecto innovación pública 360o. asuntos del sur. Bloomsbury Police Group.
15- Marsan, J., Santos, A., Garcia, C., Fleitas Triana, M., Padilla, C., Fenton, V., y cols. (2011). Organización del trabajo (2 tomos).
16- Protocolo de manejo clínico para covid-19 en cuba del ministerio de salud pública[Manual de software informático]. (s.f.).
17- Revelo-Sánchez, C. A. y. J.-T. J. A., O; Collazos-Ordoñez. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. TecnoLógicas, 21(41), 115-134.
18- Revista internacional de ergonomía [Manual de software informático]. (s.f.). https://www.tandfonline.com/toc/terg20/current.

19- Rodríguez, A. Viña, Lisel y Rodríguez Hernández. (2016). Un enfoque de calidad con resiliencia en las producciones biofarmacéuticas cubanas.

.

**Sobre los autores**

Ms. C. Danhiz Díaz Pereira
Master en Gestión de Recursos Humanos, Profesor Instructor, Miembro de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Profesora de la carrera Ingeniería Industrial. Cuadro profesional de la Unión de Jóvenes Comunistas. Diputado a la Asamblea Nacional del Poder Popular. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: danhizdp14@gmail.com

Ms. C. Joel Queipo Ruiz
Master en Física Nuclear, Licenciado en Física Nuclear. Cuadro profesional del Partido Comunista de Cuba. Miembro de su Comité Central y su Primer Secretario en la provincia de Holguín, correo electrónico: joelqruiz@gmail.com

Ing. Roberto Abreu Pérez
Profesora Instructor. Miembro de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Profesor de la carrera Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: rabreup@ind.cujae.edu.cu

Dra. Vania García Fenton
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Miembro del Comité Académico del Diplomado de Dirección y Gestión Empresarial. Miembro de la Disciplina de Ingeniería de Factor Humano de la Facultad de Ingeniería Industrial, Profesora de la carrera Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: vania@ind.cujae.edu.cu

Dra. Sonia Fleitas Triana
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular. Secretaria del Tribunal Nacional de Doctorados de Ingeniería Industrial, Miembro del Comité Académico de Diplomados y Maestrías. Coordinadora de Maestrías. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: sfleitas@ind.cujae.edu.cu

Dr. Armando Cuesta Santos
Doctora en Ciencias Técnicas, Profesor Titular. Presidente del Tribunal Nacional de Doctorados de Ingeniería Industrial, Miembro del Comité Académico de Diplomados y Maestrías. Coordinador de Maestrías. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría (Cujae). La Habana, Cuba, correo electrónico: armandocuestasantos@gmail.com

**XII Simposio de Ingeniería Industrial y Afines en la *XXI CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (CCIA 21)***
***25 al 29 de noviembre de 2024***

**Autores:** MsC. Gustavo Araujo Gutiérrez.
Institución a la que pertenece: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. ETECSA
Contacto: correo: gustavo.araujo@etecsa.cu Teléfono: 52180155

MsC.Misley Morales Carmouze
Institución a la que pertenece: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. ETECSA
Contacto: correo: misley.morales@etecsa.cu Teléfono: 52181791

Ing. Daniel Treasure Espinosa
Institución a la que pertenece: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. ETECSA
Contacto: correo: daniel.treasure@etecsa.cu Teléfono: 52183649

Dr.C. MsC. Marcia Esther Noda Hernández.
Ministerio de Educación Superior
Contacto: correo: mnoda@mes.gob.cu

**Título del trabajo:** Transformación digital, teletrabajo y la gestión del desempeño.

**Temáticas seleccionadas:** Organización del trabajo; Sistemas de evaluación del desempeño y Sistemas informáticos en el tratamiento del capital humano.

**RESUMEN:**

La transformación digital en Cuba requiere de cambios significativos en los procesos, desde las infraestructuras tecnológicas hasta la cultura organizacional, siendo el teletrabajo el medio más adecuado para favorecer a esta evolución de forma natural y con mayor agilidad. La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA), durante los últimos cinco años, ha trabajado en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para la implementación efectiva del teletrabajo, resultando de gran importancia la aplicación de un sistema automatizado para la gestión del desempeño, que favorezca la planificación, seguimiento y control de los indicadores y tareas acordados entre el trabajador y los jefes inmediatos, pasando del control presencial, a la gestión y control por objetivos. Para el desarrollo de esta investigación, se emplearon los métodos científicos: Histórico-Lógico, Analítico-Sintético e Inductivo-Deductivo, y las técnicas: encuestas, entrevistas, la observación, análisis de documentos, análisis estadístico y la matriz DAFO. Como resultado del trabajo realizado, se logró desarrollar una plataforma informática para el trabajo remoto, se implementó un procedimiento para el trabajo flexible, se elaboraron las políticas y la estrategia para la implementación efectiva del teletrabajo y se aplicó un sistema automatizado para la gestión del desempeño, el cual contiene aplicaciones para la planificación, seguimiento y evaluación del trabajo acordado, la gestión de eventos positivos y negativos, la evaluación del desempeño anual y la gestión de indicadores vinculados con estos procesos.

## INTRODUCCIÓN.

La Transformación Digital es un proceso evolutivo que constituye un cambio cultural y un nuevo paradigma asociado al uso sustantivo de tecnologías digitales en todos los aspectos de la sociedad; es cambiar los procesos y las relaciones entre todos los actores y a todos los niveles, es poner al ciudadano, en el centro y no solo como un usuario pasivo de los cambios, sino como un creador de estos. Con su implementación se pretende lograr un impacto favorable y directo en la elevación de la calidad de vida, en la comunicación social, en la información de interés público y especialmente en la economía, donde las tecnologías digitales son aceleradoras de la innovación, mejoran la eficiencia, la eficacia, la competitividad y estimulan la creación y oferta de nuevos productos y servicios. (Política para la Transformación Digital en Cuba, Agenda Digital Cubana y Estrategia de Inteligencia Artificial, Ministerio de las Comunicaciones, 29 de mayo de 2024).

Entre los objetivos específicos de la Política para la Transformación Digital en Cuba, Agenda Digital Cubana y Estrategia de Inteligencia Artificial, se encuentra el desarrollo del marco legal para el desarrollo del teletrabajo, el cual es aplicado de forma masiva en Cuba a partir de la crisis energética del segundo semestre del año 2019 y retomado con la aparición de los primeros casos de la pandemia de COVID-19 en el mes de marzo del año 2020, promovido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Cuba, amparado en el Código del Trabajo (Gaceta Oficial No. 29 Extraordinaria de 17 de junio de 2014), con el objetivo de garantizar el empleo seguro y la continuidad laboral en todas las actividades que fuera posible su ejecución.

En septiembre del año 2019, en ETECSA se reordenaron las fuerzas productivas, logrando la incorporación de más de 2000 trabajadores a la modalidad de empleo a distancia. Como resultado de este primer acercamiento, se realizó un diagnóstico que fue presentado a la máxima dirección de la empresa en el mes de noviembre de 2019, donde se demostraron las oportunidades y fortalezas que contaba la empresa en ese momento, y los elementos de valor que aportó la implementación del trabajo a distancia para los trabajadores y la organización, así como las debilidades relacionadas con la cultura organizacional, la falta de tecnologías y las condiciones inadecuadas para trabajar fuera de las oficinas del empleador.

A partir de este diagnóstico, se constituyó un equipo de trabajo empresarial para ejecutar una prueba piloto en un grupo de trabajadores seleccionados, con el objetivo de corregir las debilidades existentes que limitaban la implementación del teletrabajo en ETECSA, sustentada en la investigación científica a partir de los vínculos universidad – empresa.

Como resultado de la primera etapa de la investigación: se diseñó un modelo para la implementación del teletrabajo en ETECSA; se elaboró un procedimiento empresarial; se definieron las políticas y elaboró una estrategia con objetivos, criterios de medidas, indicadores y acciones encaminados al teletrabajo efectivo.

Al unísono del proceso de implementación del teletrabajo, se trabajó en la implementación del sistema automatizado para gestionar el desempeño, logrando obtenerse las herramientas necesarias para pasar del control presencial, a la gestión por objetivos.

En estos momentos, ETECSA se encuentra en el proceso de implementación de la segunda etapa de la investigación, la cual está dirigida a aplicar la estrategia diseñada con un enfoque de mejora continua, medir su eficacia y diseñar las tecnologías necesarias para brindar a los clientes externos de la organización el servicio de plataforma de teletrabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Durante la investigación, se estudió la gestión de los Recursos Humanos en la organización del teletrabajo y la gestión del desempeño, desde el mes de febrero del 2020 hasta el 30 de julio de 2024, tomando como muestra los trabajadores vinculados a los procesos claves de ETECSA.

Se emplearon los métodos histórico-lógico, inductivo-deductivo y el analítico-sintético, con el objetivo de estudiar el comportamiento de la modalidad del teletrabajo y la gestión del desempeño en los países de Iberoamérica, Cuba y en ETECSA, mediante la revisión detallada de la bibliografía, la consulta a expertos y el análisis de los datos, con el fin de extraer los conocimientos y experiencias novedosas.

Entre las técnicas empleadas se aplicaron encuestas para evaluar la evolución de los indicadores seleccionados; se realizaron entrevistas a directivos y trabajadores para identificar las principales debilidades, recoger el estado de opinión, las mejores experiencias y las propuestas de mejoras. Se aplicó la técnica DAFO como base de la estrategia diseñada para el perfeccionamiento del teletrabajo en ETECSA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La transformación digital en el proceso de gestión del Capital Humano en ETECSA, se encuentra respaldada en la iniciativa estratégica: Impulsar la transformación digital de Capital Humano, mediante la implementación de un modelo de gestión con enfoque digital, centrado en una mejor experiencia del trabajador y agregando valor al negocio.

En tal sentido, todos los subprocesos y procedimientos se diseñan desde la automatización, entre los que se encuentra el de gestión del desempeño, que tiene entre sus premisas:

Permitir la diferenciación del desempeño de los trabajadores que necesita la empresa para la correcta gestión del Capital Humano y su incidencia en las compensaciones.

Garantizar el alcance de los objetivos estratégicos de la empresa al enfatizar, que las responsabilidades y objetivos de los trabajadores, que laboran en los procesos de las actividades principales, están directamente relacionados con la estrategia empresarial.

Constituye un proceso de evaluación integral de los resultados, los conocimientos, habilidades y requisitos para lograr los objetivos estratégicos de la organización, realizada por el jefe inmediato, partiendo de las opiniones y criterios de los compañeros que laboran junto al trabajador en el área.

Debe garantizar la valoración cualitativa y cuantitativa por medio de indicadores.

El proceso está conformado por cuatro etapas, como se muestra en la siguiente ilustración:

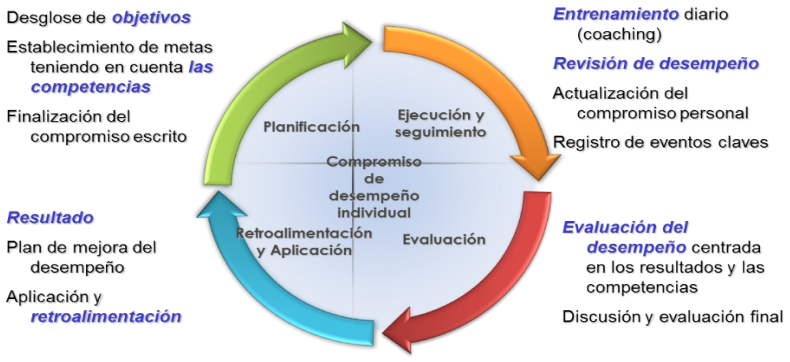



*Figura 1: Proceso de Gestión del Desempeño.*
*Fuente: Tomada de (Morales, 2018)*

Para lograr la implementación de estos principios, se diseñó la automatización de la gestión del desempeño sobre la plataforma SAP FIORI, con cinco aplicaciones destinadas a:

**Evaluación mensual del desempeño:** En esta aplicación se registran los indicadores y tareas a cumplir por el trabajador en el mes, donde se planifica la fecha de entrega y se especifican las condiciones u otros elementos de interés, se registra la aceptación de los

compromisos, la autoevaluación del trabajador y la evaluación final del jefe. El resultado de la evaluación constituye la entrada del sistema de compensaciones y de la evaluación anual del desempeño.

**Gestión de eventos:** Se registran los reconocimientos y/o señalamientos de cada trabajador, permitiendo generar un registro que es empleado para el sistema de compensaciones y la evaluación anual del desempeño.

**Evaluación anual del desempeño:** Se nutre de la evaluación mensual y de la gestión de eventos y propone una evaluación anual del desempeño, basada en los resultados registrados durante el año de trabajo. Se complementa con el análisis cualitativo sobre las competencias en correspondencia al perfil del cargo.

**Aplicaciones para el control de los procesos de gestión del desempeño:** Se cuenta con dos aplicaciones que ofrecen a tiempo real el comportamiento de los principales indicadores relacionados con la gestión del desempeño.

**Sobre la implementación del teletrabajo en ETECSA.**

Como se puede observar en la Tabla No. 1, durante los 5 años de la investigación, desarrollo y aplicación del teletrabajo en ETECSA, se logró un promedio de 1070 trabajadores en esta modalidad de empleo, de ellos el 71% corresponde a mujeres y el 10% a trabajadores en edad de jubilación. El 78% de los trabajadores en situaciones de discapacidad se encuentran vinculados a esta forma de organización del trabajo, resultado que se ha podido sostener en el tiempo gracias a la automatización de los procesos y la adecuación de plataformas y procedimientos para garantizar el desarrollo del trabajo desde remoto.

| Indicadores | Dic. 2020 | Dic. 2021 | Dic. 2022 | Dic. 2023 | Jul. 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| Total trabajadores en teletrabajo | 1139 | 1193 | 1013 | 1010 | 993 |
| De ellos | | | | | |
| Total de mujeres | 753 | 762 | 792 | 777 | 731 |
| Mujeres con niños menores | 19 | 12 | 9 | 8 | 9 |
| Total de trabajadores en edad de jubilación | 128 | 115 | 118 | 114 | 111 |
| Total de trabajadores en situación de discapacidad | 15 | 15 | 15 | 14 | 7 |
| Total de jóvenes menores de 35 años | 303 | 282 | 268 | 289 | 270 |

*Tabla No. 1 Comportamiento del teletrabajo en ETECSA del 2020 a julio de 2024.*

Otra de las aplicaciones implementadas para el trabajo remoto es la Nube, la cual es accesible desde las oficinas del empleador, mientras que los teletrabajadores lo hacen por medio de la aplicación OpenVPN Connect, que es compatible con Sistemas Operativos Windows, Linux, Android e IOS, la cual permite que los trabajadores puedan utilizar las diversas plataformas institucionales con seguridad requerida para mantener la privacidad de los datos y la protección de la información empresarial.

La Nube, que también es accesible mediante la aplicación Nextcloud, permite a los usuarios realizar trabajo colaborativo y el alojamiento de información que puede ser compartido con otros trabajadores. Dicha aplicación ofrece la posibilidad de planificar el trabajo de forma compartida con otros usuarios, a través de calendarios y creando círculos de personas, además de cuenta con un sistema de video llamadas propio y un chat.

Para garantizar la implementación efectiva del teletrabajo en ETECSA, se tomó como base el modelo de Villafrade, A. y Palacios, J. I. (2013), y se introdujeron mejoras que garantizaron el desarrollo de la estrategia basado en la mejora continua, entre las que se encuentran; en la etapa de diseño se sustituye la “definición de objetivos” por la “elaboración de la estrategia”, elemento que garantiza una visión más estratégica y abarcadora, se establece la definición de los cargos que pueden ejercer el teletrabajo. En la etapa de gestión se jerarquiza el entrenamiento, la comunicación y sensibilización y se introduce en estos pasos una retroalimentación de la etapa de evaluación. Además se sustituye la palabra “personal” por “teletrabajo” y se agregaron las tareas de la estrategia.

En la etapa de evaluación se incorporó la gestión del desempeño y los indicadores que miden el impacto de la estrategia. Como resultado, se rediseñaron las mejoras que correspondieron y se retroalimentó al grupo coordinador para la toma de decisiones.

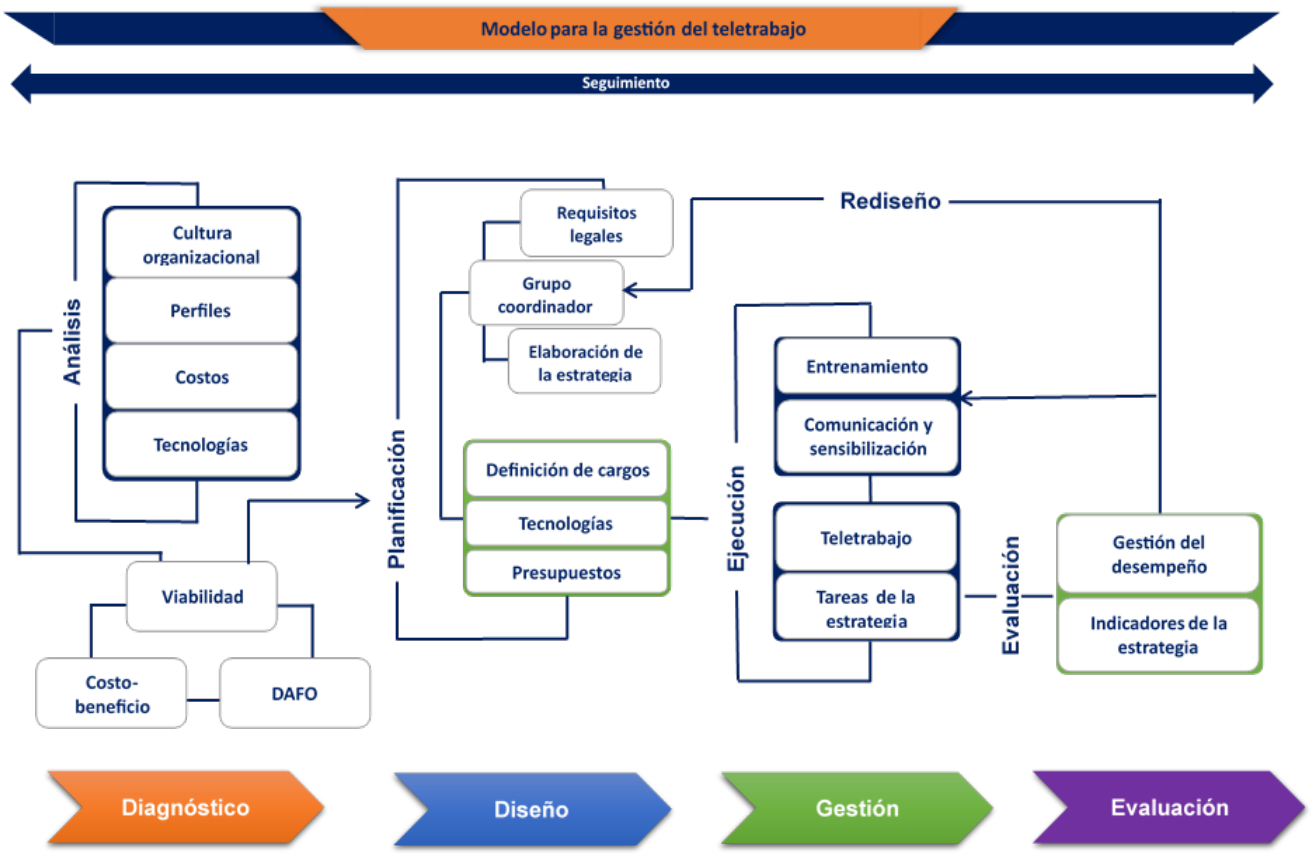



*Fig. 2 Modelo para la gestión del teletrabajo.*

*Fuente: Tomada de (Araujo, 2022)*

**Sobre las políticas para la implementación efectiva del teletrabajo en ETECSA.**

Teniendo como referencia los estudios bibliográficos, la legislación laboral vigente, los años de implementación del teletrabajo en ETECSA, además del diagnóstico realizado, se elaboraron las políticas que garantizan las bases para el perfeccionamiento del teletrabajo en la empresa.

Políticas para la implementación efectiva del teletrabajo en ETECSA.

1. La alta dirección promueve la implementación del teletrabajo, como forma de organización del trabajo flexible, que permite la atracción y retención del talento humano, el incremento de la productividad, la inclusión social y el ahorro de recursos financieros para la organización y el país.
2. La empresa promueve las inversiones que garanticen la implementación del teletrabajo efectivo en la organización.
3. Los trabajadores que se acogen a la modalidad de teletrabajo tienen los mismos derechos y deberes de los trabajadores que se encuentran en la modalidad presencial.
4. Para acogerse a la modalidad de teletrabajo, se establece como requisitos fundamentales; la voluntariedad del trabajador, la posibilidad de ejercer las funciones desde el trabajo remoto, las competencias del trabajador y su jefe inmediato, las adecuadas condiciones tecnológicas y ergonómicas.
5. El empleador puede contratar al teletrabajador más idóneo, independientemente del lugar de residencia dentro del territorio nacional.
6. Se promueve el uso del teletrabajo para la contratación por pluriempleo.
7. El empleador está en la obligación de acordar las tareas a ejecutar por el teletrabajador, que respondan al fondo de tiempo por las cuales está contratado, respetando sus horarios de descanso y su privacidad.
8. El teletrabajador adecua sus horarios de trabajo a las necesidades de interacción con sus clientes internos y externos.
9. El empleador garantiza la creación de espacios virtuales y presenciales que propicien la integración del teletrabajador con el resto de los equipos de trabajo.
10. Se estimula la modalidad híbrida, pudiendo combinarse la modalidad presencial con el teletrabajo, en correspondencia a las funciones, los objetivos, el comportamiento y las competencias laborales de los teletrabajadores.
11. El pago del salario, estímulos y otros incentivos responden únicamente al cumplimiento de las tareas asignadas en la fecha prevista y con la calidad requerida.

**Creación del cuadro de mando integral.**

Una de las acciones fundamentales en la construcción de la estrategia es la conformación del cuadro de mando integral desde las cuatros perspectivas estratégicas, para garantiza la definición de los objetivos y los indicadores que van a medir sistemáticamente la eficacia de las acciones que se ejecuten.

**Objetivos perspectiva financiera.**

Desde el año 2020 la empresa implementó el teletrabajo, sin embargo no constituyó una prioridad, la búsqueda de beneficios económicos y financieros que permitan la reducción de gastos.

Desde la perspectiva financiera se establecen los siguientes objetivos e indicadores:

1. Reducir los gastos por concepto de alquiler de locales, consumo eléctrico y uso de activos fijos tangibles.

   **Indicadores:**

   Porcentaje de reducción de gastos por alquiler de locales

   Porcentaje de reducción de kW/h en oficinas

   Porcentaje de reducción de AFT por teletrabajador

2. Optimizar la compra y uso de los medios de cómputo.

   **Indicador:**

   Reducción de equipos de cómputos asignados al teletrabajador

3. Reducir gastos, potenciando el pluriempleo en modalidad de teletrabajo, con la disminución de horas contratadas.

   **Indicador:**

   Cantidad de trabajadores con pluriempleo en modalidad de teletrabajo, dentro de ETECSA.

**Objetivos perspectiva del cliente.**

La implementación de objetivos orientados al cliente permite alcanzar la satisfacción de jefes, trabajadores, además de los clientes internos y externos de la organización, en tal sentido se proponen los siguientes objetivos e indicadores:

**1.** Mejorar las condiciones de trabajo de los teletrabajadores.

   **Indicador:**

   Cantidad de teletrabajadores con condiciones adecuadas para desempeñar su trabajo.

2. Crear tecnologías que permitan medir el cumplimiento de tareas, la satisfacción de los clientes y evaluación de la productividad del trabajo.

   **Indicadores:**

   Cantidad de tecnologías existentes para el teletrabajo que permitan medir cumplimiento de tareas, satisfacción de clientes y la productividad del trabajo.

   Nivel de satisfacción del cliente.

3. Posicionar la marca empleadora por desarrollo de las modalidades flexibles de trabajo.

   **Indicador:**

   Cantidad de candidatos atraídos por las modalidades flexibles de trabajo que ofrece la empresa.

**Objetivos perspectiva de procesos.**

Para lograr el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización, se requiere lograr el reclutamiento del talento humano, independientemente el lugar de residencia de los candidatos, para ello se han identificado los siguientes objetivos e indicadores:

1. Potenciar el desarrollo del teletrabajo en los procesos claves de la organización.

   **Indicador:**

Cantidad de trabajadores de los procesos claves en la modalidad de teletrabajo.

2. Dirigir los procesos de adquisición y selección del talento humano, priorizando las modalidades de empleo flexible, independientemente de su lugar de residencia.

   **Indicadores:**

   Cantidad de procesos de adquisición y selección orientados a la contratación en las modalidades de empleo flexible.

   Cantidad de teletrabajadores contratados que residen en otra provincia.

3. Implementar las mejoras en los procesos tecnológicos y organizativos que permitan la implementación creciente del teletrabajo.

   **Indicador:**

   Cantidad de mejoras existentes en los procesos tecnológicos y organizativos que permiten la implementación creciente del teletrabajo.

**Objetivos perspectiva de aprendizaje y crecimiento.**

Para la implementación de la estrategia, es necesario contar con las capacidades adecuadas y preparación del talento humano, la estructura organizacional, así como los sistemas y procedimientos de trabajo que mantenga el personal entrenado, enfocado y trabajando como equipo hacia la consecución de los objetivos propuestos por la empresa, para lo cual se establecen los siguientes objetivos:

1. Mejorar el sistema de evaluación del desempeño y programa de capacitación de los teletrabajadores.

   **Indicador:**

   Efectividad del sistema de evaluación del desempeño de los teletrabajadores.

2. Gestionar el clima laboral de los teletrabajadores.

   **Indicadores:**

   Cantidad de teletrabajadores satisfechos con la empresa.

   % de sentido de pertenencia.

   % de fluctuación laboral en la modalidad de teletrabajo.

**3.** Implementar el plan de carrera en los teletrabajadores.
   **Indicador:**

   Cantidad de teletrabajadores con plan de carrera dentro de la organización

**CONCLUSIONES.**

La investigación realizada es de gran impacto estratégico para la organización, ya que:

1. Permite perfeccionar los procesos, las tecnologías y fomentar las competencias en directivos y trabajadores para lograr la implementación efectiva del teletrabajo en la empresa, logrando el incremento de la productividad y la satisfacción de los trabajadores en esta modalidad de organización del trabajo.

2. Crea las bases para lograr la transformación de la cultura institucional, hacia una empresa saludable que utiliza formas de empleo flexibles en un entorno digital.

3. Con la generalización del teletrabajo, se favorece al ahorro de combustible, la disminución de la contaminación atmosférica, la aglomeración de personas en espacios públicos, así como es una fuente de empleo inclusiva, al que pueden acceder trabajadores con vulnerabilidades, de diferentes capacidades, con responsabilidades de cuidado de familiares y para trabajadores que son más productivos en modalidades de empleo flexible.

4. Aporta beneficios económicos a la empresa ya que, al lograr mayor incorporación de trabajadores al teletrabajo, la empresa puede reducir áreas de trabajo y con ello ahorro en sus presupuestos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**


1. Aguilar, F. R. (2020). *Del aprendizaje en escenarios presenciales al aprendizaje virtual en tiempos de pandemia*. Chile. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052020000300213&lang=es

2. Araujo, G. (2019). *Informe sobre la implementación del teletrabajo en ETECSA*. Dirección Ejecutiva ETECSA

3. Araujo, G. (2022). Implementación del Teletrabajo en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. (ETECSA). La Habana: Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”.

4. Bargados, A. (2020). *Impacto del Covid-19 en las Pymes argentinas*. Argentina. Recuperado de: https://www.redalyc.org/journal/3873/387366077007/

5. Benavides, F. G., Amable, M., Cornelio, C., Vives, A., Carmenate, L., Barraza, D., ...Delclos, J. (2021). *El futuro del trabajo tras la COVID-19: el papel incierto del teletrabajo en el domicilio*. Brasil. Recuperado de: https://www.scielo.br/j/rbso/a/LhzNSwFdfBKbwLQbv3Rntmt/?format=pdf&lang=es

6. Buitrago, D. M. (2020). *Teletrabajo: una oportunidad en tiempos de crisis*. Colombia. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2145-77192020000100001&lang=es

7. Callejas-B, H. J., Gómez-r, S. I., Uriibe-M, S. L. y Vergel-V, L. C. (2017). Teletrabajo como estrategia de empleabilidad para población con discapacidad. *Ingeniero*, *14* (1). Recuperado de: https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2202

8. Castro, L. A. (2009). *Propuesta para un modelo de teletrabajo en la Universidad de Costa Rica*. Tesis de Maestría. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/27839/Tesis%20de%20Teletrabajo%20Alonso%20Castro%20Mattei.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.

9. Cuba. Asamblea Nacional del Poder Popular. (2014). *Código de Trabajo*. La Habana: Gaceta Oficial. p. 31.

10. Cuba. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (2021). *Resolución 71/2021 Reglamento sobre el trabajo a distancia y el teletrabajo*. La Habana: Gaceta Oficial.

11. Díaz, C. (2021). *Teletrabajo: Ventajas y desventajas de su implementación en*. Tesis de Maestría. http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178910, Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

12. Duran, N. I. (2020). *El Teletrabajo y la conciliación con el entorno de convivencia familiar durante la Pandemia COVID-19*. Bolivia. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-30322020000300009&lang=es

13. España. Jefatura del Estado de España. (2021). *Ley 10/2021, de 9 de julio, de trabajo a distancia*. Madrid: BOE.

14. Fierro-Moreno, E. (2021). *La gestión del cambio, la colaboración virtual y la agilidad estratégica organizacional de empresas mexicanas ante los impactos por el COVID-19*. México. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052021000300205&lang=es

15. Fundación Chile Mujeres - OIT - Subsecretaría de Derechos Humanos - Subsecretaría del Trabajo. (2021). *Manual de teletrabajo: Marco jurídico y buenas prácticas*. OIT inicio Regiones y países OIT en América Latina y el Caribe Oficinas en la región OIT Santiago Publicaciones. Recuperado de: https://www.ilo.org/santiago/publicaciones/WCMS_774768/lang--es/index.htm

16. Gálvez, A. y Tirado, F. (2020). *Dilemas ideológicos y vida cotidiana: Una mirada cualitativa sobre las mujeres que teletrabajan en España*. España. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-69242020000300017&lang=es

17. Hernández, M. L. (2017). *Modelo de implementación del teletrabajo en centrales eléctricas del norte de Santander S.A. Esp*. Tesis de Maestría. https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/9085/HernandezMartha2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y, UNIVERSIDAD EAN.

18. Maurizio, R. (2021). *Desafíos y oportunidades del teletrabajo en América Latina y el Caribe*. OIT inicio Regiones y países OIT en América Latina y el Caribe Publicaciones, OIT. Recuperado de: https://www.ilo.org/americas/publicaciones/WCMS_811301/lang--es/index.htm

19. México. Andrés Manuel López Obrador, Presidente de los Estados Unidos Mexicanos. (2021). *Decreto Se reforma el artículo 311 y se adiciona el capítulo XII BIS de la Ley Federal del Trabajo, en materia de teletrabajo*. México: Diario Oficial de la Federación. p. SEGOB.

20. Morales, C. (2018). Procedimiento para la gestión del desempeño de los trabajadores de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. (ETECSA). La Habana: Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”.

21. Morales, D. A. (2020). Teletrabajo como estrategia de competitividad y desarrollo para las empresas en el Ecuador. *Revista ERUDITUS*, *1* (2). Recuperado de: https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/re/article/view/318

22. Sánchez, G. y Montenegro, A. (2019). Teletrabajo una propuesta de innovación en productividad empresarial. *Digital Publisher CEIT*, *4* (Extra 5-1 (Ejemplar dedicado a: Administration)). Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7144041

23. Villafrade, A. y Palacios, J. I. (2013). Propuesta de Implementación de un Modelo de Teletrabajo. *Revista Ibérica de sistemas y tecnologías de información*, *12* (12/2013). Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/e872/d5c4322ba42c478f885ac90217932b1109b9.pdf

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CRITERIOS SOBRE SEGURIDAD Y SALUD PARA MEJORAR EL TRABAJO EN LAS OFICINAS DEL DESPACHO PROVINCIAL DE CARGA DE LA HABANA

**Yaneilys Garcia Avila[1], Ileana Leyva Noa[1], Yanier Ricardo Álvarez[1] y Yoel Aguilera Rodríguez[1]**

[1]UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana, Avenida Independencia, Km 6 ½, Capdevila, municipio Boyeros, Habana, Cuba
[1]e-mail: yaneilys@nauta.cu.

## RESUMEN

El objetivo del trabajo es aportar criterios sobre seguridad y salud, que permitan mejorar las condiciones de trabajo en las oficinas del despacho provincial de carga de La Habana. Se revisaron artículos, normas, criterios de directivos y trabajadores. Además, se mencionan procedimientos que se aplicaron en otros sectores para medir y mejorar el clima organizacional. Teniendo en cuenta lo anterior, se detectó que muchos trabajadores no conocen las normas ergonométricas de su puesto, ni cómo el clima organizacional puede afectar su desempeño. El correcto tratamiento a estas problemáticas permite disminuir los niveles de estrés de los trabajadores y por ende, mejorar su calidad de vida. Es por ello que, se emitieron algunas propuestas para que el trabajo en el despacho provincial de carga de La Habana esté más acorde a los nuevos diseños, se eleve el nivel de compromiso y el sentido de pertenencia. Se concluye que los empleadores y empleados deben cooperar y colaborar en la toma de decisiones relacionadas con el bienestar laboral, condiciones de salud y seguridad en el trabajo. Por su parte, las indicaciones mencionadas son una alternativa adecuada para mejorar condiciones de trabajo en las oficinas del despacho provincial de carga de la Habana, lo que favorecerá, en definitiva, a la optimización del rendimiento de los trabajadores en este sector clave en el desarrollo de nuestro país.

**PALABRAS CLAVES:** ambiente laboral, ergonomía, bienestar, optimización, servicio eléctrico.

## SAFETY AND HEALTH CRITERIA TO IMPROVE WORK IN THE OFFICES OF THE PROVINCIAL CARGO OFFICE OF HAVANA

## ABSTRACT

The objective of the work is to provide criteria on safety and health, which allow improving working conditions in the offices of the provincial cargo office of Havana. Articles, standards, criteria of managers and workers were reviewed. In addition, procedures that were applied in other sectors to measure and improve the organizational climate are mentioned. Taking the above into account, it was detected that many workers do not know the ergonomic standards of their position, nor how the organizational climate can affect their performance. The correct treatment of these problems allows workers to reduce stress levels and therefore improve their quality of life. That is why some proposals were issued so that the work in the Havana provincial cargo office is more in line with the new designs, raising the level of commitment and the sense of belonging. It is concluded that employers and employees must cooperate and collaborate in making decisions related to workplace well-being, health conditions and safety at work. For its part, the aforementioned indications are an appropriate alternative to improve working conditions in the offices of the provincial cargo dispatch of Havana, which will ultimately favor the optimization of the performance of workers in this key sector in development. of our country.

**KEY WORDS:** work environment, ergonomics, well-being, optimization, electrical service.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hablar de seguridad y salud laboral es referirse a las actividades necesarias destinadas a la prevención de riesgos derivados del trabajo (Galli 2024). La salud laboral u ocupacional es una actividad que se dirige a promover y proteger la salud de los trabajadores mediante la prevención, el control de enfermedades, accidentes, la eliminación de los factores y condiciones que ponen en peligro la salud y la seguridad en el trabajo (López Espinosa *et al*., 2023). El Instrumento de Ratificación del Convenio número 155 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores y Medio Ambiente de Trabajo, adoptado en Ginebra el 22 de junio de 1981, establece que el término salud, en relación con el trabajo, abarca no solamente la ausencia de afecciones o de enfermedad, sino también los elementos físicos y mentales que afectan a la salud y están directamente relacionados con la seguridad e higiene en el trabajo. En base a ello, el objetivo de este trabajo es aportar criterios sobre seguridad y salud para mejorar el trabajo en las oficinas del Despacho Provincial de Carga de La Habana (DPCLH), específicamente relacionados con la ergonomía y el clima organizacional.

## 2. DESARROLLO

Para promover el más alto grado de bienestar físico, mental y social del trabajador, se debe, según Galli (2024), evitar el desmejoramiento de la salud del trabajador por las condiciones de trabajo, proteger a los trabajadores de los riesgos resultantes de los agentes nocivos, mantener a los trabajadores de manera adecuada a sus aptitudes fisiológicas y psicológicas, es decir, adaptar el trabajo al hombre y cada hombre a su trabajo. Además, se deben realizar estudios previos para identificar los factores de riesgo producto a las actividades laborales. La NC 3002 (2007) menciona cinco premisas o cualidades de las empresas, que se deberán comprobar y cuyo total cumplimiento determina que la organización posea una orientación estratégica:

1) La empresa debe contar con una estrategia formulada, consensuada con los trabajadores y en fase de aplicación para hacer realidad los objetivos.

2) La dirección de la empresa debe liderar la formulación, implantación e integración de los procesos de la gestión de recursos humanos.

3) Los trabajadores deben participar en la solución de los problemas y en la toma de decisiones.

4) El clima laboral del colectivo debe ser satisfactorio.

5) Los encargados de los procesos de recursos humanos deben tener idoneidad demostrada en el ejercicio de sus funciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a indagar en el cumplimiento de los 5 aspectos antes mencionados. Para ello, se realizaron entrevistas tanto a trabajadores como a directivos. Se comprobó que los puntos con mayor dificultad son los 3 y 4. Muchos trabajadores no conocen las normas ergonómicas de su puesto ni cómo el clima organizacional puede afectar su desempeño. El correcto tratamiento a estas problemáticas permite disminuir los niveles de estrés de los trabajadores y por ende, mejorar su calidad de vida.

Con respecto a la **ergonomía**, se plantea que, estudia la relación entre el ser humano y sus actividades. Es una ciencia que se encarga de facilitar trabajos, sistemas, productos, entornos; dependiendo de las capacidades mentales y físicas de las personas. Sin embargo, la lógica que utiliza la ergonomía se basa en el axioma de que las personas son más importantes que los objetos o que los procesos productivos; por tanto, en aquellos casos en los que se plantee cualquier tipo de conflicto de intereses entre personas y cosas, deben prevalecer las personas. La Oficina Nacional de Normalización, es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización. La NC-ISO 9241 (2003) consta de 17 partes, bajo el título principal de "Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos (PVD)". En

estas normativas se explican los principios y requisitos de carácter general para el diseño técnico del mobiliario y equipos que conforman el puesto de trabajo en las oficinas. A continuación se presentan indicaciones según la NC-ISO 9241 (2003):

- Los puestos de trabajo deben ser adaptados a diferentes tareas (visión de la pantalla, uso del teclado, uso de otros dispositivos de entrada, escritura, etc.).

- Se deben evitar las posturas estáticas prolongadas y que se puedan efectuar ajustes voluntarios más o menos continuos de la postura.

- La superficie de trabajo proporcionará soporte suficiente para la pantalla, los dispositivos de entrada, material asociado, así como para las manos y los brazos del usuario.

- El objetivo de un buen asiento es proporcionar al cuerpo un apoyo estable, en una postura dinámica cómoda durante un período determinado de tiempo, psicológicamente satisfactorio y adecuado a la tarea o actividad que ha de realizarse.

- Apoyar pies permite ofrecer un apoyo adicional para que las piernas y los pies formen un ángulo cómodo y los cambios de la postura de trabajo.

- La situación del teclado y de otros dispositivos de entrada así como la de algún soporte para las manos, las muñecas y los antebrazos, contribuirá a reducir la carga estática de las extremidades superiores, el trabajo de los músculos del cuello y de los hombros y la necesidad de flexión, extensión y desviación excesivas de las muñecas.

A continuación se muestra una imagen (figura 1) donde se observa la postura correcta para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos (PVD). Se indican los ángulos adecuados y medidas.

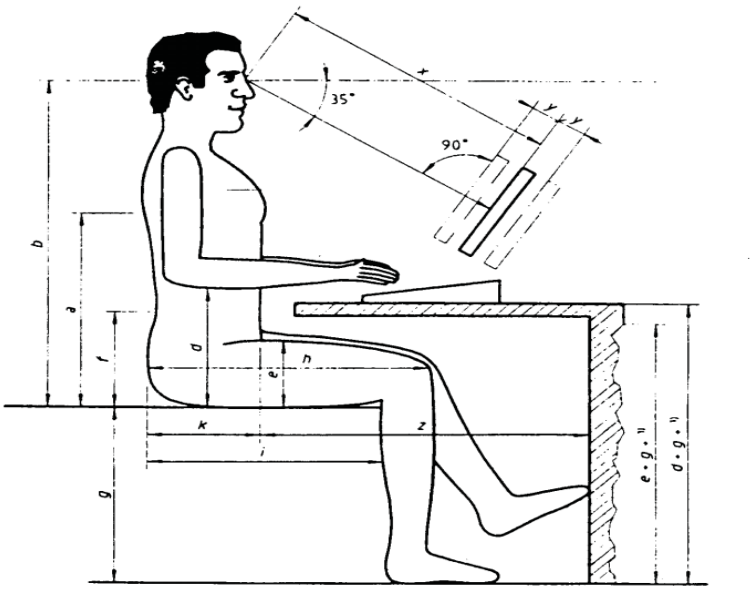



Figura 1: Posición correcta según la NC-ISO 9241 (2003).

Es importante señalar que, los dispositivos electrónicos con acceso a internet se erigen como principales fuentes de socialización, aprendizaje, entretenimiento y empleo en la sociedad contemporánea, pero su uso desmedido incide en el incremento de problemas como el síndrome visual informático y defectos refractivos como las miopías, entre otros. Informar y concientizar sobre los perjuicios del empleo excesivo de los dispositivos electrónicos sobre la salud ocular se impone como un acto de

responsabilidad. Es vital que la población conozca las ventajas y desventajas del uso de los dispositivos electrónicos, con el fin de garantizar una buena salud ocular a cualquier edad (León-Vázquez *et al.*, 2022).

Por su parte, el **clima organizacional** parece afectar positivamente o negativamente a la existencia de cierto tipo de interacciones entre los miembros de una organización. El análisis del clima organizacional suele considerar diferentes aspectos de la organización, entre estos se suelen mencionar con cierta frecuencia:

- Ambiente físico: comprende el espacio físico, las instalaciones, los equipos instalados, el color de las paredes, la temperatura, el nivel de contaminación, entre otros.

- Características estructurales: como el tamaño de la organización, su estructura formal, el estilo de dirección, etcétera.

- Ambiente social: que abarca aspectos como el compañerismo, los conflictos entre personas o entre departamentos, la comunicación y otros.

- Características personales: como las aptitudes y las actitudes, las motivaciones, las expectativas, etcétera.

Machín (2024) señaló la existencia de una correlación entre la confianza y la cooperación para caracterizar los niveles de comunicación. Cuando hay alta confianza y alta cooperación, se logra la sinergia en el grupo gracias a la comunicación efectiva y se estimula la creatividad. De acuerdo con diversos autores, la comunicación es un elemento clave para lograr un buen clima organizacional y además puede incidir en el logro de los objetivos propuestos para la empresa.

Por su parte, el estilo de mando del líder es el que genera cierta atmósfera en la organización. Los individuos en una atmósfera cálida, democrática son más productivos, viven satisfechos y menos frustrados, hay compañerismo, cordialidad, cooperación, más pensamiento individual facultad creativa y mejor motivación. El tipo de liderazgo ejercido en la organización es importante para lograr resultados en las empresas. Por ejemplo, el clima que genera el liderazgo transformacional incrementa la identidad de los trabajadores con la organización y se traduce en un mejor desempeño individual y organizacional.

La identidad como la conciencia definida de estar unidos, lleva a los individuos a sentir un interés por lo que sucede a los otros integrantes del grupo. El individuo siente que pertenece al grupo, que es parte de éste y que tiene un interés común en él. Hay una relación entre la identidad con un grupo y la participación en el mismo, pues una mayor identificación estimula la participación. La participación en el proceso de análisis y de concertación de decisiones da como resultado una mejor resistencia a los cambios, menor abandono de las funciones por parte de los integrantes del grupo y genera una mayor productividad.

La motivación muestra lo que mueve a los trabajadores en su labor. Cuando tienen una gran motivación, se eleva el clima y se establecen relaciones satisfactorias de animación, interés, colaboración. Cuando la motivación es escasa, ya sea por frustración o por impedimentos para la satisfacción de necesidades, el clima organizacional tiende a disminuir y sobrevienen estados de depresión, desinterés, apatía, descontento, hasta llegar a estados de agresividad, agitación e inconformidad. Un organizacional bueno o malo, tendrá consecuencias que impactarán de manera positiva o negativa en el funcionamiento de la empresa.

Beneficios de un clima organizacional sano: satisfacción, adaptación, afiliación, actitudes laborales positivas, conductas constructivas, ideas creativas para la mejora, alta productividad, logro de resultados y baja rotación.

En un clima organizacional deficiente se detectan las siguientes consecuencias negativas: inadaptación, ausentismo, poca innovación, baja productividad, fraudes y robos, sabotajes, tortuguismo, impuntualidad, actitudes laborales negativas y conductas indeseables (Reina-Andrade 20243).

Según Mijares-González (2023), dentro de una organización existen tres estrategias que permiten medir el clima organizacional, la primera es observar el comportamiento y desarrollo de sus trabajadores, la segunda, es hacer entrevistas directas a los trabajadores y la tercera y más utilizada, es realizar una encuesta a todos los trabajadores a través de cuestionarios diseñados para ello (Terrones Mayta *et al.*, 2024). En general, en los cuestionarios se encuentran escalas de respuestas de tipo nominal o de intervalo. Generalmente, todas estas propuestas tienen como fin, lograr desarrollar la investigación más efectiva, realizar recomendaciones pertinentes en cada caso, que las dimensiones analizadas puedan servir como elementos referenciales y que cada institución pueda escoger las variables de investigación y las dimensiones que considere pertinentes a los problemas detectados o por prevenir (May 2024).

Teniendo en cuenta los criterios anteriores se propone la realización de talleres a nivel de departamento y de UEB. En estos encuentros, se deben explicar las consecuencias de una mala postura al sentarse, de no tomar descansos visuales de la pantalla, entre otros malos hábitos comunes. Además, se deben realizar encuestas escritas, con el objetivo de medir el clima organizacional y en base a ello, realizar recomendaciones pertinentes según sea el caso.

## 3. CONCLUSIONES

Se concluye que los empleadores y empleados deben cooperar y colaborar en la toma de decisiones relacionadas con el bienestar laboral, condiciones de salud y seguridad en el trabajo. Por su parte, las indicaciones mencionadas son una alternativa adecuada para mejorar condiciones de trabajo en las oficinas del despacho provincial de carga de la Habana, lo que favorecerá, en definitiva, a la optimización del rendimiento de los trabajadores en este sector clave en el desarrollo de nuestro país.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los trabajadores y directivos de la UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana por aportar sus criterios para la realización de este trabajo. Además, damos las gracias a la Empresa Eléctrica en general, que nos brindó la posibilidad de participar en este evento.

## REFERENCIAS

1. GALLI, Diego. Salud ocupacional y ergonomía. 2024.

2. LÓPEZ ESPINOSA, Guillermo José; ÁLVAREZ SINTES, Roberto; MOLINA LINARES, Ivette Irene. Enfermedad profesional: una mirada desde la Atención Primaria de Salud. *Acta Médica del Centro*, 2023, vol. 17, no 3, p. 602-619.

3. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana NC 3002. Sistema de gestión integrada de capital humano—implementación, ICS: 03.100.30. 2007.

4. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana NC-ISO 9241. Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos (PVD). Parte 5: disposición del puesto de trabajo y requisitos postulares. (ISO 9241-5:1998, IDT), ICS: 13.180, primera edición. 2003.

5. León-Vázquez, T.; Piñón-González J. C.; Álvarez-Pérez J. 2022. Alertas en salud sobre el uso de los dispositivos electrónicos y su impacto en el bienestar visual. Revista Cubana de Medicina, 61(3): 1-8, ISSN: 1561-302X.

6. MACHÍN, Ernesto García. Estrategias de responsabilidad social y gestión en seguridad y salud en el trabajo. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 2024, vol. 11, no 3, p. 51-69.

7. REINA-ANDRADE, Evelyn Aracely. El clima organizacional y su influencia en la calidad del servicio de las instituciones públicas. *MQRInvestigar*, 2024, vol. 8, no 3, p. 705-727.

8. MIJARES GONZÁLEZ, Lianet. *Diagnóstico del clima organizacional en la Dirección Municipal de Educación de Jagüey Grande*. 2023. Tesis Doctoral. Universidad de Matanzas. Facultad de Ingeniería Industrial.

9. TERRONES MAYTA, Ronald Emiliano; HARO ZEA, Karla Liliana. Impacto del clima organizacional sobre la rotación de los trabajadores: revisión 2013-2023. *Tendencias*, 2024, vol. 25, no 2, p. 247-277.

10. MAY, Elena del R. Aguayo. Diagnóstico laboral para la mejora del clima organizacional en una escuela secundaria: Work diagnosis for the improvement of the organizational climate in a secondary school. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 2024, vol. 5, no 1, p. 551–563-551–563.

**Sobre los autores**

Yaneilys García Avila, Ingeniera Biomédica, Máster en Biomatemática, Investigadora Agregada, UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana.

Ileana Leyva Noa, Ingeniera Eléctrica, UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana.

Yanier Ricardo Álvarez, Ingeniero Eléctrico, UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana.

Yoel Aguilera Rodríguez, Ingeniero Eléctrico, UEB Despacho Provincial de Carga de La Habana.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Evaluación y propuesta de mejora al proceso de evaluación del rendimiento logístico de la UEB CITOX (AICA)

**Collins Estrada Negrete [1], Emily Jiménez Armas[2], Gabriela de Lourdes García Escalona[3]**

[1,2,3] Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: collinsestrada02@gmail.com

**RESUMEN**
La presente investigación se lleva a cabo como parte de un proyecto para diagnosticar la gestión de los inventarios en el grupo empresarial BioCubaFarma, concretamente el proceso de la evaluación del desempeño logístico. Este trabajo posee alcance dentro de este aspecto en la Unidad Empresarial de Base (UEB) CITOX perteneciente a la Empresa Laboratorios AICA, del grupo empresarial anteriormente mencionado. Se abarca la caracterización de la UEB, el diagnóstico del proceso objeto de estudio a través del Método General de Solución de Problemas; y la propuesta de soluciones acorde a dicho diagnóstico, de acuerdo a las necesidades y características de la empresa se corresponde con la utilización de KPIs representados de manera gráfica para la toma de decisiones basada en datos.

**PALABRAS CLAVES:** inventario, indicadores, indicadores clave de rendimiento, toma de decisiones.

# Evaluation and improvement proposal to the process of logistical performance evaluation within UEB CITOX (AICA)

**ABSTRACT**
The current investigation is carried as a part of a Project to diagnose inventory management in enterprise group BioCubaFarma, specifically on the process of the logistical performance evaluation. This work has a scope within this aspect inside UEB CITOX, a plant belonging to AICA Laboratories Enterprise, from the earlier mentioned enterprise group. The UEB is characterized, a diagnose is run on the target process by using the Problem Solving General Method (MGSP from its acronym in Spanish); and the proposed solutions are made according to said diagnosis and the needs and characteristics of the company with the usage of graphically represented KPIs for data-based decision making.

**KEY WORDS:** inventory, indicators, key performance indicators, decision making.

## 1. INTRODUCCIÓN

El inventario en un sistema logístico es el resultado del comportamiento de la gestión empresarial, es la consecuencia del manejo de las relaciones intra e inter-empresariales. [1]
Los inventarios existen por múltiples razones, las cuales se justifican principalmente porque prevén la escasez, es preferible ahorrar productos que dinero en efectivo por la rentabilidad que genera, permite obtener ganancias adicionales cuando hay alzas de precios, entre otros. A pesar de esto, trae como consecuencia una inmovilización de recursos financieros que podrían usarse mejor en otras actividades con mayor rentabilidad, es decir, podría optarse por mejor uso de los recursos financieros y optimizar así las utilidades. [2]
Como elemento interno de cada eslabón de dicha cadena, el inventario posee una connotación clave en el estable funcionamiento de esta. De acuerdo con Gołaś, 2020[3], la política de gestión de inventarios debe estar diseñada para fija un nivel y estructura razonable del inventario, tanto en términos logísticos como financieros.
La gestión de los inventarios es cada vez más importante dentro de las administraciones de las empresas, pues determina el cumplimiento o fracaso de los objetivos establecidos Toro y Bastidas, 2011[4]. La gestión se desarrolla mediante el control de las operaciones, el conocimiento del proceso, y considerando las externalidades que pueden favorecer o perjudicar las operaciones del negocio.

Esta comprende la eficiencia en el manejo de los bienes de cambio, considerando aspectos tales como el análisis de la rotación de productos, el estudio de las cadenas de abastecimiento, los costos asociados al mantenimiento de stock, el resultado negativo de no disponer de bienes para satisfacer al cliente en tiempo y forma, la necesidad de mantener cubierta la demanda, entre otros. [5]

En la UEB CITOX se detectó como principal problema la mala gestión del proceso de evaluación del desempeño logístico, causado principalmente por la inexistencia de un procedimiento para la evaluación y medición de la gestión de inventarios en la UEB, acompañado de la falta de una herramienta que facilite el uso, la gestión, la visualización y consulta de indicadores para la gestión de inventarios. Las deficiencias detectadas coinciden con las halladas por Lópes, 2012[6] en su investigación "Situación de inventarios en Cuba", donde destaca que existe un bajo nivel de gestión de logística y redes de valor en las empresas cubanas, y que una de las causas que generan un incorrecto manejo de los inventarios, es que se ha detectado que no existen procedimientos que favorezcan la gestión de forma integral en la empresa: cada área y persona se enfoca en optimizar sus propios objetivos, sin tener en cuenta los de la organización y la cadena. Lópes, 2012[6] señala la necesidad de desarrollar estrategias integrales para solucionar las causas señaladas. En la actualidad, las decisiones administrativas se basan en la información revelada por controles. Otro de los propósitos del control interno es minimizar las desviaciones y riesgos, permitiendo adelantarse a los hechos mediante la detección de posibles alteraciones a los procesos [7]. Un buen sistema de control permite que las organizaciones tengan mayores oportunidades de conseguir sus objetivos, jugando un papel fundamental en las finanzas de las administraciones empresariales. [8]

En el marco de un proyecto para optimizar la gestión de inventarios entre BioCubaFarma y la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, el presente trabajo tiene como objetivo proponer la implementación de herramientas para la evaluación del desempeño logístico a partir del análisis y diagnóstico del estado actual, a través del "Método General de Solución de Problemas". [9]

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para responder al objetivo de la investigación, esta se realiza a través del desarrollo de los 3 primeros pasos del Método General de Solución de Problemas [9], los cuales son: Definición del problema, Análisis del problema y Búsqueda de soluciones. Se muestra la relación de herramientas utilizadas en cada etapa en la Tabla 1.

**Tabla 1. "Herramientas utilizadas en cada etapa del Método General de Solución de Problemas".** Fuente: Elaboración propia

| **Etapa** | **Herramientas** |
|---|---|
| **Definición del problema** | Entrevistas estructuradas, Revisión documental |
| **Análisis del problema** | Árbol de causas (Aldunate, 2008) |
| **Búsqueda de soluciones** | Revisión bibliográfica, Proceso de Búsqueda y Recuperación de Información. Herramientas informáticas (Excel) |

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método y las herramientas descritas se muestran a continuación.

### Definición del problema

La entidad objeto de estudio, UEB CITOX, es una de las 5 UEB que conforman la empresa Laboratorios Farmacéuticos AICA. Está destinada a la producción y comercialización de medicamentos inyectables Citostáticos para el sistema de Salud Pública cubano y terceros mercados. Está asentada en la localidad de Arroyo Arenas, municipio La Lisa, provincia La Habana. Es una planta productora de medicamentos citostáticos para el tratamiento del cáncer. Su cartera de productos está formada por 16 productos con destino a consumo las salas de oncología de los hospitales del país y a exportación.

Los objetivos estratégicos de calidad en la UEB para el presente año 2024 son:

1- Sobrecumplir el plan de ventas de $162,167,198.40, manteniendo las faltas mensuales por debajo de 4

2- Ejecución de la recapitalización de maquinaria de llenado y área de producción
3- Mantener al 100% el material de envase secundario y terciario fabricado en Cuba con alta disponibilidad
4- Mantener las certificaciones del sistema de calidad, así como las certificaciones de la contabilidad, almacenes y control interno.
5- Lograr durante el año el manejo seguro del 75% de los desechos (residuales líquidos, sólidos y emisiones gaseosas)

La cadena de suministro de la UEB está compuesta por los proveedores: FarmaCuba (empresa encargada de importar materias primas y materiales para la producción), las distintas UEB de AICA central (entre ellas pueden existir traspasos de materias primas) y por último AICA central (también contemplada en su grupo de proveedores). Los clientes principales son el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) y AICA central, con el objetivo este último sobre todo con destino a la exportación. En esta cadena la empresa comercializadora EMCOMED juega un papel fundamental, principalmente en la transportación de proveedores principales a la UEB y de esta a clientes de nivel 1.

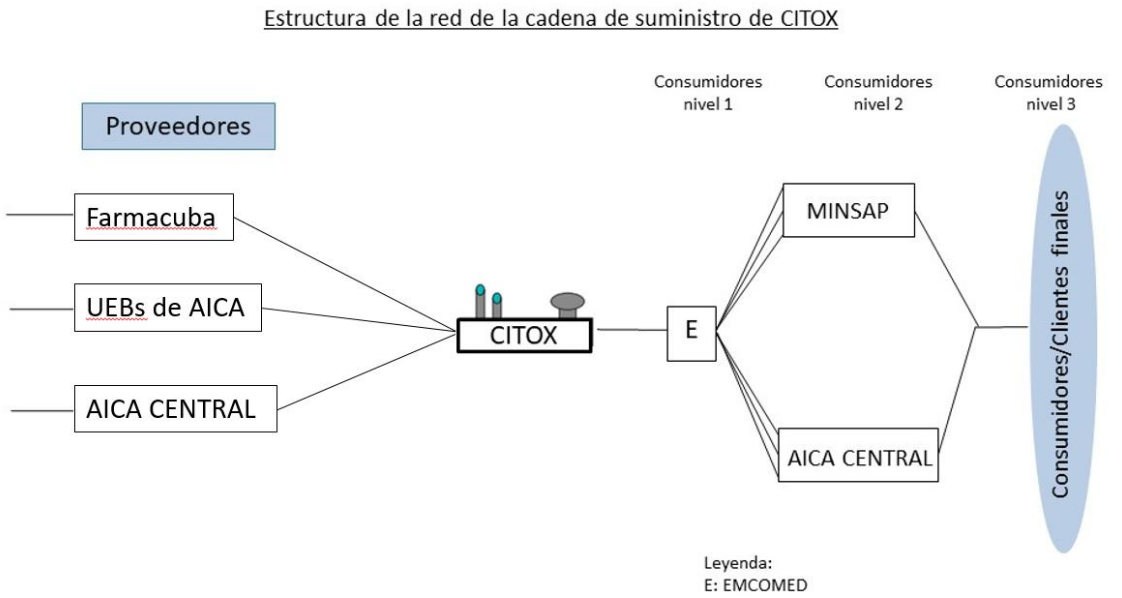



**Figura 1. "Estructura de la cadena de suministros alrededor de la planta UEB CITOX".** Fuentes: Elaboración propia a partir de las consultas realizadas en la empresa.

La empresa cuenta con 2 softwares para la gestión de inventarios: ERP Mistral donde se realizan operaciones de movimientos de inventario y consulta de datos de producto como códigos y fechas importantes; y SisCont donde se reflejan todas las operaciones contables de la empresa. Ambos softwares son de alcance netamente transaccional por lo que no permiten la realización de reportes que consoliden la información en un periodo determinado, ni de forma numérica ni gráfica.
Los indicadores actualmente definidos en las áreas relacionadas a la gestión de los inventarios, no se encuentran alineados a un criterio de evaluación del rendimiento operativo del inventario, por lo que se puede afirmar que las decisiones en cuanto a la logística de la organización no se realizan basadas en datos y KPI basados en fuentes de datos asociados al sistema logístico de la UEB.
En la empresa se maneja el indicador de rotación de inventario para componentes y para productos finales. Este indicador es usado únicamente en el resumen trimestral que presenta el departamento de logística a la dirección de la empresa, y son almacenados solamente un año (4 trimestres), por lo que, actualmente, no es posible realizar un análisis del comportamiento de este indicador a lo largo de un periodo mayor de un año.
Luego del análisis de la empresa objeto de estudio y los procesos relacionados a la gestión de inventario se determina que el problema fundamental es la mala gestión del proceso de evaluación del desempeño logístico.

**Análisis del problema**

A través del análisis crítico del proceso de evaluación de la gestión de inventario, se comprobó que no existe diseñado un procedimiento que ampare, controle y estandarice el proceso de evaluación del desempeño logístico, así como la frecuencia con que debe realizarse, por lo que se evidencia que la toma de decisiones en la empresa respecto a la gestión de inventarios no está basada en ningún análisis analítico. Actualmente solo se gestiona la rotación de inventarios como indicador operativo, tomando como fuente de datos solo valores económicos; el resto de los indicadores se basan en la gestión documental. La empresa no cuenta con ninguna herramienta informática que consolide la información que se calcula hoy día, y los softwares con los que se cuenta no tienen la funcionalidad de gestionar, visualizar y consultar indicadores. Además, en la empresa no consta registro del desempeño de periodos anteriores, siendo un año el periodo más amplio de análisis actualmente. En la figura 2 se resume en un árbol de causas la relación que existe entre las causas y el problema fundamental.

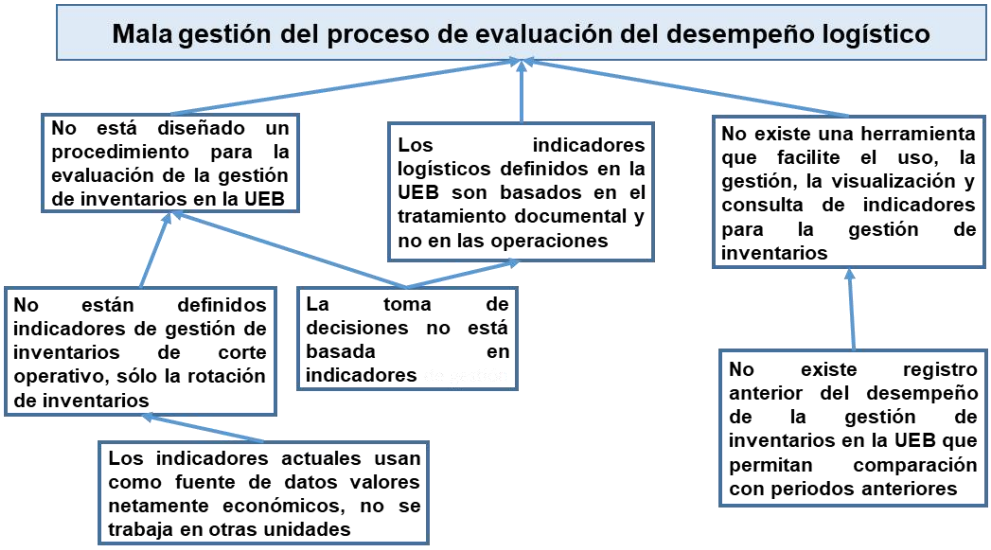



**Figura 2. "Árbol de causas relacionado al problema detectado".** Fuente: Elaboración propia.

**Propuesta de solución**

Como propuesta de solución a la situación problemática se proponen una serie de indicadores (KPIs) y una vía para gestionarlos a través de la representación visual, estos son: los dashboards, utilizando dos alternativas de visualización: la herramienta Excel, existente en la empresa objeto de estudio.

Según varios autores, los indicadores asociados a la gestión de los inventarios se clasifican de la siguiente manera:

- Financieros: Con acercamientos regidos por datos, estos indicadores permiten encontrar nuevas fuentes de beneficios y mejora de los servicios. También permiten la detección de debilidades y puntos de mejora que habiliten la reducción de costos sin afectar la calidad de las actividades. [10]
- Operativos: Según Halkola, 2021[11] los KPIs operativos permiten resumir una gran cantidad de datos en valores de fácil interpretación e información acerca del estado actual, histórico, o estimaciones del futuro, de las operaciones logísticas de la entidad.
- Estratégicos: Estos soportan la toma de decisiones a largo plazo, la creación de referencias para la medición del rendimiento general de los procesos internos [12] y lograr la alineación de las distintas áreas de una empresa, y actores externos a estas, en función de las mismas líneas de actuación (Urabe, 2014).

(Espejo, 2022), clasifica los indicadores asociados al inventario de acuerdo a lo que dicho autor denomina, las 4V:

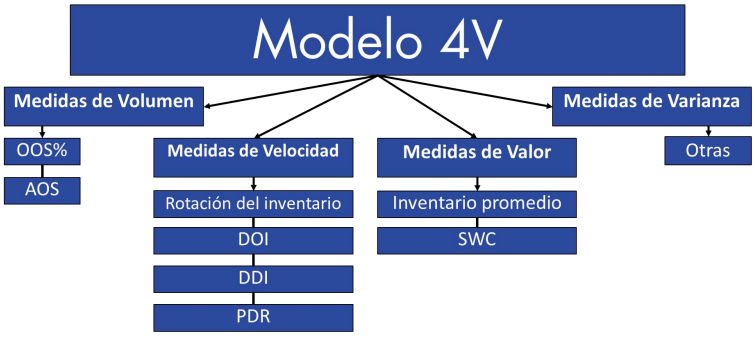



**Figura 3. "Modelo de las 4V para medidas de la gestión de inventarios".** Fuentes: Creación propia a partir de lo planteado por Espejo, 2022[13]

MEDIDAS DE VOLUMEN

- Quiebres de inventario o Porcentaje fuera de stock (percentage out of stock OOS%)

El OOS% es un cálculo sencillo que ayuda a medir el volumen de inventario disponible.
Este indicador permite realizar un análisis nominal del volumen de inventario pendiente de surtir, en comparación con el volumen total del inventario en existencia. [13]
La medida concreta que representa el OOS%, es la de cuánto inventario se encuentra en falta para el cumplimiento de una demanda o plan preestablecido, ya sea por el cliente, o por el área de producción, en relación con el total de artículos en inventario. [14]
De acuerdo a Netsuite, proveedora de soluciones empresariales como su ERP, una tasa OOS% elevada podría significar problemas con la gestión de los inventarios o la manufactura (que pueden extenderse hacia el principio, o cualquier parte de la cadena de suministros en esa dirección). Detectar de manera analítica un incremento repentino en este KPI permite de manera inmediata buscar las causas de dicha perturbación y realizar acciones correctivas en cuanto al cumplimiento de la demanda afectado por dicho desempeño.

- Tamaño promedio del pedido (AOS, Average Order Size)

Este KPI otorga una medida de la cantidad promedio de materiales en la planta en cualquier escala de tiempo fijada.
Como su nombre indica, otorga la medida del tamaño promedio de los pedidos de materiales realizados[15].
No relaciona nominalmente segmentos de inventario entre sí, sino que muestra, ya sea en valor monetario o unidades de medida, el volumen de los pedidos que se realizan en un periodo de tiempo determinado.
Este indicador ofrece de manera sencilla una herramienta de análisis que permite detectar y relacionar con las capacidades de la empresa, los riesgos asociados a dicho volumen [16]. Entre los elementos relacionados al indicador, y que una variación brusca en este podría desencadenar acciones correctivas o proactivas se encuentran:

- Fuerza y régimen de trabajo
- Espacio de almacenamiento
- Transporte interno
- Medidas de seguridad
- Documentación y tramitación aduanal, regulatoria, especial, etc

Con el cálculo de la AOS una empresa es capaz de prever los cambios y esfuerzos necesarios en los elementos anteriormente mencionados para gestionar correctamente los volúmenes de inventario que ingresan de manera estacional. Por ejemplo: Compras elevadas de reactivos en el primer trimestre

(diagnosticado a partir de un histórico en la AOS de años anteriores) que requieren mayor manipulación y medidas de seguridad, así como tramitación de documentación especial para el transporte de estos en la vía pública.

MEDIDAS DE VALOR

En primer lugar, las medidas de valor pueden centrarse en el valor monetario total y el costo total del inventario. Estas medidas se expresan comúnmente en Unidades Monetarias, y se utilizan para medir cuánto dinero se ha invertido en el inventario.

- Inventario promedio

El inventario promedio ofrece una estimación del inventario disponible durante un periodo fijado a conveniencia de la empresa. Este también es útil para la comparación con los ingresos, y de esta manera asociar ciertos niveles de inventario con los ingresos y saber qué nivel de inventario soporta qué nivel de ventas. [13]
También es útil para la comparación con los ingresos. Muchas empresas a menudo calculan el inventario promedio para el año en curso y, luego, comparan el saldo promedio del inventario con los ingresos acumulados hasta la fecha, para saber cuánta inversión de inventario era necesaria para apoyar un nivel actual de ventas. Esta medida también se utiliza para comparar los niveles de inversión de inventario a lo largo de varios periodos para hacer un seguimiento de los cambios significativos que pueden haber ocurrido en apoyo a las operaciones de la empresa.

- Ventas respecto a capital de trabajo (sales to working capital, SWC):

El SWC da una medida de la rentabilidad de la empresa en unidades monetarias de inventario, son las ventas respecto del capital de trabajo, la forma en la que se presenta en este trabajo, tiene en cuenta el inventario como elemento independiente del capital de trabajo.
Esto permite que a la hora de determinar el SWC, sea posible interpretar la efectividad del capital de trabajo, y la influencia de la retención de inventario sobre este indicador. Por esto es que en el apartado del inventario promedio se hace hincapié en la recolección de datos sistemática, para, entre otras razones, no subponderar el valor de las ventas respecto al capital de trabajo [17]. Como indica esta relación, un impulsor primario de esta medida es el inventario. Esta medida se utiliza a menudo para cuantificar aún más el valor de la inversión en inventario, colocándola en el contexto del capital de trabajo y asociándola con las ventas.
Si una empresa tiene SWC de 3.1, se podría interpretar que sugiere que un dólar en capital de trabajo produce tres dólares en ingresos. Dicho de otra manera, la empresa tiene aproximadamente un tercio de su nivel de ventas atado en capital de trabajo.

MEDIDAS DE VELOCIDAD

- Rotación de inventario

La rotación del inventario se convierte en una de las medidas más adoptadas y utilizadas de la eficacia en la administración del inventario. Como ya se mencionó, los consultores e investigadores de la cadena de suministro a menudo la utilizan para evaluar la velocidad de los procesos y las operaciones de la cadena de suministro de una empresa.

- Días de inventario disponible

Otra medida popular de la velocidad son los días de inventario disponible (DOI, por las siglas de days of inventory on-hand) que esencialmente es una interpolación adicional de la medida de rotaciones del inventario, pero utiliza la evaluación de velocidad en días en lugar de en rotaciones. [15]
Los DOI miden el promedio de días que un producto o una línea de productos pasa en el inventario. Si los días promedio de inventario disponible son pocos, se dice que la organización tiene una alta velocidad de inventario, lo que sugiere una cadena de suministro eficiente. Además, las empresas con un bajo DOI

requieren menos capital de trabajo para invertir en inventario, lo cual permite ahorrar capital de trabajo para ser utilizado en otros fines.

- Punto de reorden (PDR)

Teniendo en cuenta el inventario adicional siempre existente en el almacén, fija el instante (en nivel de inventario) en el que se realiza el pedido de materiales antes de que los niveles de inventario lleguen a cero, o al mínimo establecido. El punto de reorden anticipa la disminución de los niveles de stock por debajo del umbral establecido como seguro por la empresa.
Poder visualizar los KPIs es de suma importancia a nivel operativo, estratégico en una empresa para una mayor facilidad en la toma de decisiones. El impacto de un Dashboard es significativamente positivo porque permite que se tenga mayor eficiencia a la hora de planificar los pedidos para el abastecimiento de productos mediante la importación de estos, ya que al poder visualizar los KPIs por ejemplo de la rotación de inventarios, se puede decidir qué productos se importaran y cada cuanto se deberá hacer su reposición, lo que genera una ventaja competitiva para la empresa ya que al contar con stock de los productos que requiere la demanda en el almacén, se atenderán oportunamente los pedidos de los clientes, a su vez el almacén no se saturará, por tanto no se ocupará espacio ineficientemente lo que evitará que haya capital bloqueado, generando reducción de costos de almacenaje y mayor flujo de caja.[18]
Para la gestión de indicadores y la posterior toma de decisiones basadas en análisis analítico, se propone como herramienta de visualización Microsoft Excel para la generación de gráficos automáticos. Se definen como fuente de datos el sistema Mistral, de donde se obtendrá el dato necesario para el cálculo del indicador y se introduce de forma manual en la hoja Excel previamente programada. Con el propósito de mantener una trazabilidad en el tiempo se propone almacenar los cálculos hechos para cada periodo en un repositorio documental con almacenamiento en la nube.
Como parte de la documentación del procedimiento de cálculo se proponen las siguientes fichas de indicadores con el propósito de regular de forma estándar la estructura para el registro de información obtenida para cada indicador. Las fichas también tienen como objetivo facilitar el entendimiento de los indicadores para todos los roles involucrados en el proceso y para los trabajadores tanto de a UEB como de AICA central, es por esto que se especifica su objetivo, una breve descripción, las unidades de medida, los responsables y las fuentes de información y datos. En la figura 4 se puede ver la propuesta de la ficha diseñada.

| **FICHA DEL INDICADOR** | | | |
|---|---|---|---|
| | | Código: | CA-01 |
| Nombre del indicador: | Volumen de compra de inventario | | |
| Nombre del proceso: | Planificación de inventario | | |
| | | | |
| **Definición y cálculo** | | | |
| **Objetivo:** Controlar el crecimiento de las compras de inventario del período en relación a las ventas de la empresa en el período. | | | |
| **Descripción:** Porcentaje de valor de compras sobre las ventas. | | | |
| | | | |
| **Fórmula de Cálculo:** | 100 * (Total de compras /Total de ventas) | | |
| | | | |
| **Unidad de medida** | **Frecuencia** | **Numerador** | **Fuente de información** |
| Porcentaje | Mensual | Total de compra | Dpto. de Compras |
| | | **Denominador** | **Fuente de información** |
| | | Total de ventas | Dpto. de Ventas |
| | | | |

| | |
|---|---|
| **Datos para calcular el indicador:** Valores totales de compra bruta de inventario sobre ventas generadas. | |
| | |
| **Fuente de los datos:** Reportes del MISTRAL | |
| | |
| **Observaciones:** | |
| | |
| **Responsable de indicador**: Especialista de Compras | |

**Figura 4. "Propuesta de diseño de Ficha de Indicadores".** Fuentes: Creación propia basado en [19]

En la imagen 5 se puede observar el modelo propuesto de Cuadro de Mando, este consta de seis paneles que mostrarán los gráficos seleccionados por el usuario (de acuerdo a su nivel de acceso y área funcional). Cabe aclarar que los autores utilizan datos ficticios para la presentación de estos.

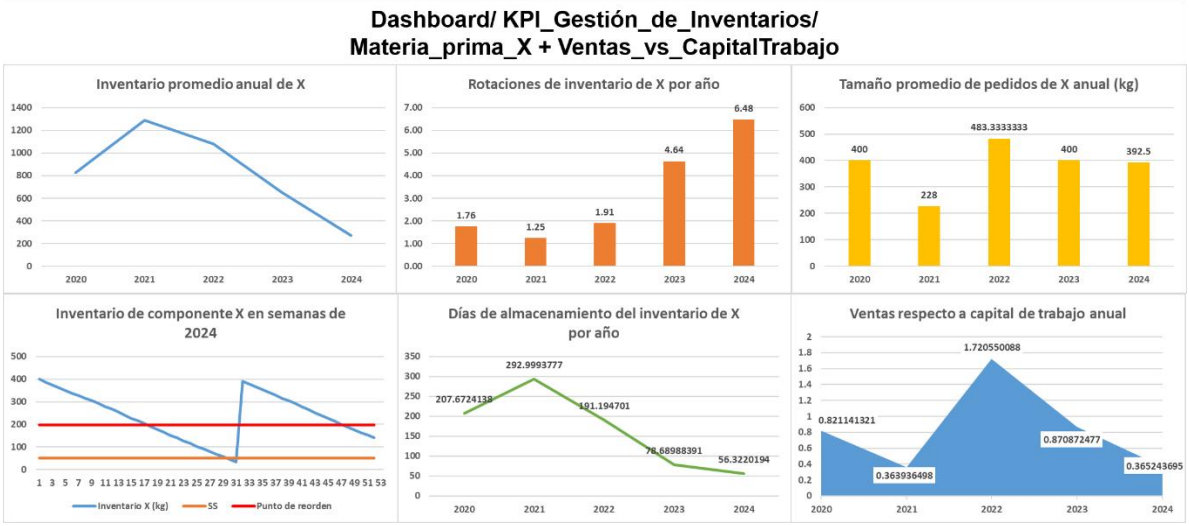



**Figura 5. "Demo del cuadro de mando para la gestión de indicadores asociados al inventario".** Fuentes: Creación propia

Los gráficos representan el comportamiento de los KPI (de acuerdo a su frecuencia de cálculo) a lo largo de los periodos de tiempo seleccionados, permitiendo comparar el comportamiento entre períodos y asociar fluctuaciones en estos, a otros indicadores, eventos y decisiones tomadas.
En el sentido de las manecillas del reloj, comenzando por el superior izquierdo, los paneles muestran la siguiente información, y desencadenando el análisis de la misma (asociado a la gestión de inventarios):

- **Inventario promedio anual de la materia prima X** desde 2020 hasta 2024, mostrando un decrecimiento en el volumen promedio anual almacenado de dicho componente, lo cual puede estar asociado a una mayor rotación de este.
- **Rotación de inventario de X por año desde 2020 hasta 2024**, la cual ha incrementado 5 veces desde 2020 a 2024. Esto puede asociarse a una mayor rapidez en el flujo del inventario de X, disminución de los costes de almacenamiento y sus riesgos.
- **Tamaño promedio de pedido de X anual**, se muestra constante, aunque la rotación haya aumentado, esto, entre otras cosas puede asociarse a un incremento de la demanda del componente X por parte de la empresa (demanda creciente, rotación creciente, tamaño de pedidos constante). Esta información permite conocer el nivel de manipulación y fuerza de trabajo vinculada a la gestión de los almacenes.
- **Ventas respecto a capital de trabajo anual,** muestra la razón entre las ventas respecto a las cuentas y el inventario (de todos los componentes), una disminución en este indicador puede ser

síntoma de problemas en la gestión financiera o altos niveles de inventario inmovilizado en alguno de los bienes almacenados, desencadenando la necesidad de encontrar dicha deficiencia.

- **Días de almacenamiento de X por año,** mostrando un decrecimiento (asociado a la rotación), significa que la cantidad de días que el inventario dura dentro del almacén ha disminuido, confirmando la alta rotación y la rápida circulación del inventario del componente X.
- **Inventario de componente X por semanas de 2024,** la evolución a lo largo de un año de los niveles de inventario en kg de X, muestran el mínimo seguro (inventario de seguridad), y la alarma que constituye la disminución por debajo de dicho umbral. De igual manera muestra el punto de reorden (basado en la tasa de consumo), para realizar la orden del componente a los proveedores teniendo en cuenta el plazo de entrega y la continuidad de las operaciones productivas.

## 4. CONCLUSIONES

A través de la realización de la realización de este trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. La empresa objeto de estudio se especializa en la producción de citostáticos y cuenta con un solo almacén ordenado por zonas, donde se realizan todas las operaciones relacionadas con el inventario físico.
2. Las principales deficiencias detectadas en el proceso de evaluación del rendimiento logístico, están relacionadas a la no existencia de un plan o procedimiento que utilice herramientas para ello, lo que conlleva a que las tomas de decisiones asociadas al inventario no estén basadas en un procesamiento analítico; además de que tampoco se compara el desempeño de la empresa respecto a períodos anteriores.
3. El poder determinar los indicadores a usar en la gestión de inventarios permite intervenir en situaciones en donde debido a una economía cambiante como la economía cubana se debe contar con información relevante y oportuna; así como, con herramientas necesarias que permitan visualizar dashboards con el fin de posibilitar la toma acertada de decisiones a futuro en el ámbito empresarial.

## REFERENCIAS

[1] Lopes Martínez, Igor. (2013). “Modelo de Referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos”. La Habana.
[2] Durán, Y., (2012). “Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas. Visión Gerencial”.
[3] Gołaś, Zbigniew. (2020). “Effect of inventory management on profitability, evidence from the Polish food industry: Case Study”. Agric. Econ. – Czech, 66; 234-242
[4] Toro-Benítez, L. A., & Bastidas-Guzmán, V. E. (2011). “Metodología para el control y la gestión de inventarios en una empresa minorista de electrodoméstico”.
[5] Dolores, M. (2015). Gestión de Inventarios: Una herramienta útil para mejorar la rentabilidad. Argentina-Buenos Aires
[6] Lopes, Gómez & Acevedo. (2012). “Situación de la gestión de inventarios en Cuba”. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
[7] Márquez, G. (2011). “Modelos contemporáneos de control interno. Fundamentos teóricos”.
[8] Chumpitaz, D. O. (2015). “Caracterización del control interno en la gestión de las empresas comerciales del Perú 2013”.
[9] Marsán Castellanos, J. (2011). “Organización del trabajo. Ingeniería de Métodos”. La Habana
[10] Moghadas Nian, S. and A. Yadegari. (2022) "Strategic KPI Frameworks for Airline Pricing and Inventory Control: Enhancing Revenue and Operational Efficiency."
[11] Halkola, M. (2021). "Setting up a global inventory management for a company."
[12] Bhat, N. A. R., S. Kale and P. S. Shrivastava (2019). A study of efficiency of inventory management using financial ratio.
[13] Espejo, M. (2022). Gestión de inventarios: métodos cuantitativos, Alpha Editorial.
[14] Klipfolio 2024. “Percentage of Out of Stock Items Metric”.

[15] Singh, P., Ghosh, S.N., Saraf, M., & Nayak, R. (2020). A Survey Paper on Identifying Key Performance Indicators for Optimizing Inventory Management System and Exploring Different Visualization Tools. 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 627-632.
[16] Tokat, S., Karagul, K., Sahin, Y., & Aydemir, E. (2022). "Fuzzy c-means clustering-based key performance indicator design for warehouse loading operations". Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences.
[17] Marziali, M., Rossit, D. A., & Toncovich, A. (2021). "Warehouse management problem and a kpi approach: A case study. Management and Production Engineering Review".
[18] Chavez Farfan, L., & Moreno Rodriguez, J. J. (2023) "Implementación de un Dashboard en el área de importaciones para el control del abastecimiento de inventario de una empresa del sector ferretero".
[19] Granda León, G. L., & Rodriguez Gaybor, R. E. (2013). "Diseño de un sistema de control basado en el Método ABC de gestión de inventarios, a través de indicadores de medición, aplicado a un estudio fotográfico en la ciudad de Machala". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador

# PROGRAMA GENERAL

# VII Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable

# (MACDES 2024)

# PROGRAMA GENERAL
## Séptimo Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable (MACDES 2024)
## Del 25 al 29 de noviembre de 2024

<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Día / Day</td></tr>
<tr><td>Horario/Hours</td><td>25.11</td><td>26.11</td><td>27.11</td><td>28.11</td><td>29.11</td></tr>
<tr><td>9.00 – 11.00</td><td colspan="3">Acreditación</td><td></td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>9:00</td><td rowspan="10">Acto inaugural<br>XXI CCIA<br>Sala 1</td><td>INAUGURACIÓN MACDES 2024</td><td rowspan="2">CONFERENCIA MAGISTRAL:<br>ARQUITECTURA PARA EL AMAZONAS. UNA PROPUESTA PARA LA BIODIVERSIDAD.</td><td rowspan="9"></td></tr>
<tr><td>9.10</td><td rowspan="2">CONFERENCIA MAGISTRAL: RETOS DEL PATRIMONIO MUNDIAL EN AMÉRICA LATINA.</td></tr>
<tr><td>9.50</td><td rowspan="3">COMISIÓN 3<br>Arquitectura sustentable<br>COMISIÓN 6<br>Energías renovables y otras eco técnicas<br>COMISIÓN 9<br>Capacitación<br>para la sustentabilidad</td></tr>
<tr><td>10.00</td><td rowspan="3">COMISIÓN 1<br>Ordenamiento territorial y hábitat rural<br>COMISIÓN 2<br>Ciudades sustentables<br>COMISIÓN 4<br>Conservación del patrimonio<br>COMISIÓN 7<br>Gestión para la sustentabilidad<br>COMISIÓN 8<br>Enfoques teóricos y metodológicos para la sustentabilidad</td></tr>
<tr><td>12.00</td><td rowspan="2">Acto de clausural<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>12:00 horas</td></tr>
<tr><td>12.45</td><td>CLAUSURA MACDES 2024</td></tr>
<tr><td>13:00</td><td colspan="3">Almuerzos. Restaurante El Bucán y Cafetería Flamboyán</td><td></td></tr>
<tr><td>14:00</td><td rowspan="3">Brindis bienvenida<br>XXI CCIA<br>Restaurante El Bucán<br>14.00 – 15.30</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Ceremonia Condecoraciones.<br>Sala 5, 14:00 – 16.00</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Almuerzo de despedida<br>XXI CCIA. Restaurante El Bucán<br>14:00- 17:00 horas</td></tr>
<tr><td>15.00</td></tr>
<tr><td>16.00</td><td></td></tr>
</table>

# Programa Técnico

## Séptimo Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable (MACDES 2024)
## Del 25 al 29 de noviembre de 2024

**Día:** 26.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dra C. Mabel Matamoros y Dr C. Ruslan Muñoz Hernández **Sala:** 7

| Horario | Código | Actividad | Ponente |
|---|---|---|---|
| 9:00 | | Inauguración MACDES 2024 | Dra Cs. Dania González Couret Presidente MACDES |
| 9.10 | CM_1 | CONFERENCIA MAGISTRAL: RETOS DEL PATRIMONIO MUNDIAL EN AMÉRICA LATINA. | Dr. C. Nilson Acosta Reyes. Presidente Comisión Monumentos Cuba |
| 10.00 | M_01001 | POLÍTICAS DE ERRADICACIÓN: PARQUES PROLETARIOS PROVISORIOS (RÍO, 1956) / NÚCLEOS HABITACIONALES TRANSITORIOS (BUENOS AIRES, 1968). | Guillermo Marcioni. ARGENTINA. |
| 10.10 | M_04012 | APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LA PROPIEDAD URBANA EN LA HABANA 1934-1960. | Lucia Silva Fernández, Ruslan Muñoz Hernández, Alexis Jesús Rouco Méndez_ CUBA |
| 10.20 | M_04026 | EVALUACIÓN ESPACIAL DEL PLAN DE MANEJO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO: RETOS JURÍDICOS Y EL POTENCIAL DE LOS SIG EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL | Rodrigo Zumaya Tapia, José Gabriel Castro Garza, Eduardo Fuentes Fuller_ MÉXICO |
| 10.30 | M_04005 | REFERENTES DE SUSTENTABILIDAD EN URBANIZACIONES MODERNAS DEL MUNICIPIO CERRO, LA HABANA. Alexis | Alexis Rouco Méndez, Dayra Gelabert Abreu, Ruslan Muñoz Hernández_ CUBA |
| 10.40 | M_04003 | RESTAURACION RESTAURANTE LOS MANANTIALES | Andrés López García_ MÉXICO |
| 10.50 | M_02011 | COMPARACIÓN DE SECCIONES DE VÍA URBANA EN DOS CIUDADES LATINOAMERICANAS A TRAVÉS DE ESQUEMAS CROMÁTICOS Y LA COTIDIANIDAD ASOCIADA A LA TEMPORALIDAD. | Grezzia de los Milagros Rengifo Velarde, Ader Augusto García-Cardona, Elisabeth Herreño-Tellez_ COLOMBIA |
| 11.00 | M_02017 | MONITOREO DEL MICROCLIMA URBANO COMO BASE PARA LAS ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL. | Dania González Couret, Lázaro Yerandy Morales Camacho, Natali Collado Baldoquin, Luis Alberto Rueda Guzmán, Dayra Gelabert_ CUBA |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 11.10 | M_02004 | ANÁLISIS DE MATERIALES FRENTE A PRECIPITACIONES EN EL ESPACIO PÚBLICO EN LADERA. | David Osorio Díez_ COLOMBIA |
| 11.20 | M_07024 | DESARROLLO DE UN MARCO PARA LA TRANSICIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LAS EMPRESAS TURÍSTICAS. | Blanca de Miguel-Molina, Marival Segarra-Oña, María de Miguel-Molin, Ángel Peiró-Signes_ ESPAÑA. |
| 11.30 | M_08016 | IMPACTO DE LAS TRANSFORMACIONES PROPUESTAS PARA UNA MEJOR ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL. | Dania González Couret, Guillermo Antonio de la Paz Pérez_CUBA |
| 11.40 | | DEBATE | |

**Día:** 27.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. C. Luis A. Rueda y Dra C. Dayra Gelabert **Sala:** 7

| Horario | Código | Actividad | Ponente |
|---|---|---|---|
| 9:00 | CM_2 | CONFERENCIA MAGISTRAL: ARQUITECTURA PARA EL AMAZONAS. UNA PROPUESTA PARA LA BIODIVERSIDAD | Dr. C. Ader Augisto García Cardona. Decano Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín |
| 9.50 | M_03018 | CLASIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA IBEROAMERICANA SEGÚN SU DESEMPEÑO ENERGÉTICO. VARIABLES A CONSIDERAR. | Dania González Couret, Luis Alberto Rueda Guzmán_ CUBA |
| 10.00 | M_03027 | PROPUESTAS PARA MEJORAR EL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN PORTOVIEJO. | José Fabián Véliz Párraga, Nicolás Francisco Álvarez Pesantes , Elim Marianela Zambrano Martillo_ ECUADOR |
| 10.10 | M_03009 | REFLEXIÓN EN TORNO A LAS VARIACIONES LUMÍNICAS DEL ESPACIO DOMÉSTICO: LA HABITACIÓN, IMPLICACIONES DEL COMPORTAMIENTO HUMANO EN LA ILUMINACION NATURAL | Diana Artemisa Arbeláez Arbeláez, Danny Palacio Rojas, Ader Augusto García, Elizabeth Herrero Téllez_ COLOMBIA |
| 10.20 | M_03014 | ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA SALPICADURA DE AGUA LLUVIA EN FACHADAS. | Julieth Gabriela Pantoja Rosero, Harley Dario Paredes Córdoba, Ader Augusto García Cardona, Elisabeth Herreño Tellez_ COLOMBIA |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10.30 | M_05008 | VALORACIONES SOBRE EL USO DEL BAMBÚ EN RELACIÓN CON LA SOSTENIBILIDAD DE LA ARQUITECTURA CUBANA. | Mabel Matamoros, Alfonso Alfonso González_ CUBA |
| 10.40 | M_06015 | SIMULATION-BASED ENERGY PERFORMANCE EVALUATION OF A LARGE-SCALE INDUSTRIAL GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEM. | Julio Vaillant Rebollar, Tom Prinzie, Arnold Janssens_ BÉLGICA |
| 10.50 | M_06029 | ASSESSING BOREHOLE THERMAL ENERGY STORAGE RESPONSE UNDER THE OPERATIONAL CONDITION OF VARIABLE HEATING POWER. | Julio Efrain Vaillant Rebollar, Tom Prinzie1, and Arnold Janssens_ BÉLGICA |
| 11.00 | M_09002 | SOBRE CÓMO ORIENTAR LAS DISCIPLINAS Y PRÁCTICAS EDIFICATORIAS HACIA UNA ÉTICA AMBIENTAL | Daniel Bronfman Rubli_ MÉXICO |
| 11.10 | M_09028 | ADAPTIVE REUSE: COMMUNITY PLACE MAKING IN HAVANA, CUBA. | Eric K. Daniels_ USA |
| 11.20 | M_09029 | A HOLISTIC SUSTAINABLE STRATEGY FOR A UNIVERSITY'S FACILITIES MASTER PLAN | Diana Jaramillo Keane_USA |
| 11.30 | | DEBATE | |
| 12.45 | | Clausura MACDES 2024 | Dra Cs. Dania González Couret Presidente MACDES |

# POLITÍCAS DE ERRADICACIÓN: PARQUES PROLETARIOS PROVISORIOS (RÍO, 1956) / NÚCLEOS HABITACIONALES TRANSITORIOS (BUENOS AIRES, 1968).

**Guillermo Javier Marzioni 1**

1Universidad Nacional Arturo Jauretche

1e-mail: guillermomarzioni@gmail.com

**RESUMEN**

La intervención urbana en la ciudad de río de janeiro, 1942, para la erradicación de favelas, incorporó un sistema de viviendas transitorias para alojar temporariamente a la población hasta tanto se resuelva la construcción de viviendas permanentes, así se instrumentaron los parques proletarios transitorios. Años más tarde, hacia 1968, en buenos aires, una política similar reproduce los núcleos habitacionales transitorios en el marco del programa de erradicación de villas de emergencia.

La metodología analiza y compara políticas de erradicación en brasil y argentina. A través de fuentes secundarias y empíricas la investigación se detiene en los barrios de vivienda transitoria como objeto de estudio en tanto fenómeno urbanístico, las continuidades de las políticas urbano habitacional, sus objetivos, métodos y las resultantes, en relación de similitud de estas propuestas.

En los resultados puede comprenderse que la política también se replica en las fases iniciales de su implementación los prototipos de viviendas transitorias, y que en las discontinuidades quedan en evidencia que los objetivos prioritarios aceleraron despejar áreas centrales y en construir los barrios transitorios que aún siguen presentes en la escena urbana. La erradicación de barrios populares surgidos como asentamientos informales ha sido una política propiciada desde el estado en tiempos de la segunda posguerra mundial, enlazado con la construcción de grandes ensambles habitacionales. Se articularon la demanda social y la planificación de mega obras públicas como motor del desarrollo urbano. Bajo ese ideario la resolución del problema de viviendas precarias en áreas centrales ha llevado a instrumentar erradicaciones hacia la periferia, replicándose estas políticas habitacionales en nuestras ciudades latinoamericanas.

**PALABRAS CLAVES:** desarrollo urbano, política habitacional; erradicaciones; vivienda transitoria.

# ERADICATIONS POLICIES: PROVISIONAL PROLETARIAN PARKS (RÍO, 1942) / TRANSITORY HOUSING NUCLEI (BUENOS AIRES, 1968).

**ABSTRACT**

The urban intervention in the city of Rio de Janeiro, 1942, for the eradication of favelas, incorporated a system of transitory housing to house, temporarily, the population until the construction of permanent housing was resolved, and thus the Transitory Proletarian Parks implemented. Years later, around 1968, in Buenos Aires, a similar policy reproduced the Transitory Housing Nuclei within the framework of the Program for the Eradication of Emergency Slums. The methodology analyzes and compares eradication policies in Brazil and Argentina. Through secondary and empirical sources, the research focuses on transitional housing neighborhoods as an object of study as an urban phenomenon, the continuities of urban housing policies, their objectives, methods and the results, in relation to the similarity of these proposals.

From the results, it can understand that the policy is also replicated in the initial phases of its implementation of the prototypes of transitional housing, and that in the discontinuities it is evident that the priority objectives accelerated the clearing of central areas and the construction of the transitory neighborhoods that are still present in the urban scene. The eradication of working-class neighborhoods that emerged as informal settlements has been a policy promoted by the state in post-World War II times, linked to the construction of large housing complexes. Social demand and the planning of mega public works as an engine of urban development were articulated. Under this

ideology, the resolution of the problem of precarious housing in central areas has led to the implementation of eradications towards the periphery, replicating these housing policies in our Latin American cities.

**KEY WORDS:** urban development, housing policy; eradications; transitional housing.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo la comparación entre los PPP y los NHT. Son el producto de la política habitacional relacionada con los sectores populares agolpados en la ciudad que han creado barrios a partir de resolver sus necesidades. Sustanciadas en los hechos en las ciudades de Río de Janeiro de Brasil y en Buenos Aires de Argentina. Y corresponden a una etapa relacionada al desarrollo de la segunda guerra mundial. En segunda instancia apunta a destacar la relación de las políticas nacionales con las corrientes internacionales. El estudio retoma la revisión histórica de lo urbano habitacional sobre la vivienda transitoria en tanto innovación para la intervención en las ciudades.

En relación al MÉTODO de la investigación se organiza una matriz comparativa para recomponer la política, desde el momento de surgimiento, cuestiones de gobierno con sus respectivas áreas estatales para la instrumentación y la cuestión urbano arquitectónico.

En los RESULTADOS se despliegan ambas propuestas urbano habitacionales. Se restituyen los datos de los PPP y los NHT en tanto tipología producidas en el marco de políticas públicas, y el contexto de época, en que se son puestos en marcha los barrios estudiados. Finalmente, la relación de la vivienda transitoria con los alcances de los Planes de Erradicación del Villas y de Favelas del centro de las ciudades, en el marco contextual del desarrollo urbano moderno. Y por último las conclusiones enfatizan sobre los hallazgos la relación de las tipologías con el clima de época.

## MÉTODO

La investigación iniciada hace una década sobre algunos barrios de viviendas transitorias fue convocando al estudio de las políticas públicas habitacionales y al anclaje en los ámbitos urbanos. A través de datos primarios y lectura de materiales producidos por la academia se ha podido indagar en la distinción de estas tipologías y concepciones sobre la intervención en las megalópolis son ámbitos de plasmación de los idearios modernistas. En el recorte temporal de la llamada guerra fría de expansión del desarrollismo.

Este articulo tiene como material de base el Informe de Avance de Investigación del doctorado de Estudios Urbanos: “Política Habitacional y la Transformación del Hábitat, Los Núcleos Habitacionales Transitorios del área Metropolitana de Buenos Aires, de 1968”. Polvorines: Instituto del Conurbano, Universidad Nacional General Sarmiento, presentado en el 2020. Sobre esta investigación se estable la confrontación con nuevos materiales para el recorte especifico relacionados a la experiencia brasilera.

## RESULTADOS

### Contexto histórico de la emergencia. Correlatos en lo urbano, la política habitacional y la vivienda

**Estudio sobre las metrópolis.** Al retomar los tres tiempos del urbanismo que distingue Alicia Novick (Novick,2003) [1], primero la evolución en pugna por instaurar el urbanismo en la política pública; segundo, el tiempo de la planificación de posguerra y tercero, tras la crisis del petróleo, los debates disciplinares con las prácticas sociales, queda claro que el programa de los PPP y de los NHT con su impronta de emergencia se inscribe en el urbanismo en el tiempo de posguerra.

**El modelo cultural para la ciudad del desarrollismo.** La arquitectura junto a otras disciplinas estaba dispuesta a despojarse de la ciudad existente. La recomposición del contexto de los años sesenta implica también incorporar aspectos de la cultura de la Modernidad del S.XX, difundidas a partir de la austeridad y agilidad que exigió la

emergencia de la posguerra, la cual se expresa gráficamente en los módulos, las cápsulas y la prefabricación de viviendas. Así se fue tallando en el legado de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna desde el funcionalismo en el primero en 1931 hasta las complejidades planteadas en el último CIAM de 1968 que vuelve a reconocer los valores de la ciudad ya construida y habitada.

Estos modelos innovadores de ciudad que tienen a la vivienda como célula inicial repetitiva de la configuración urbana, expresan el espíritu de época que incide en la inspiración del diseño de propuestas de los conjuntos habitacionales en los años de posguerra. La metodología de arribo de las erradicaciones de favelas o villas y de los efímeros PPP o NHT se puede comprender ligadas a estas ideas de circulación internacional. Estas provocaciones de la arquitectura y el urbanismo ciertamente utópicos se tropiezan en Americalatina con el bajo presupuesto en las políticas públicas, la poesía concreta de las urbes, arrabales con Juanito Laguna y los modos de habitar de los pueblos.



Imagen Nº 1. Film, Antonio Berni: Juanito and Ramona. Malba – Foundation Constantini, Buenos Aires and the Museum of fine arts, Houston on the occasion of de exhibition: MFAH, November 10, 2013 - January 26, 2014.

**Planificación para la modernización.** Es significativo el ideario creado en la época sobre una nueva ciudad basada en la planificación en clave de "modernización – industrialización – urbanización" (Novick, 2012) [3] que ha tenido una gran incidencia en la definición de la política socio territorial. Los años sesenta fueron una etapa dominada por la planificación centralizada que permitió la innovación sobre el uso del suelo priorizando el espacio público a la propiedad privada, los materiales en bruto y la sencillez de la forma. El urbanismo de ese momento fue considerado posteriormente como rechazado al identificarlo con un producto tecnocrático que no contemplaba los procesos de la "urbanización" (Novick, 2003, p. 7) [2] orgánicos al sistema de la ciudad existente y producía barrios satélites autónomos.

*En América Latina, la ecuación modernización-industrialización-urbanización fue también la clave de las políticas públicas de aquellos años. Sobre la idea del desarrollo económico y social tomaron forma proyectos de infraestructuras y equipamientos territoriales, grandes conjuntos habitacionales y polos de desarrollo productivo. (Novick, 2012, p. 24)* [2]

Como reconoce Novick, los efectos del ideario de la planificación no fueron de igual magnitud porque, en otras latitudes, los territorios se transforman estructuralmente, en tanto en América Latina se trató de operaciones de alcance restringido a los conjuntos habitacionales o partes de la ciudad. La composición de los conjuntos del PEVE que abreva de estos nuevos idearios urbano arquitectónicos resultan disruptivas respecto de las intervenciones a la manera de paisajes pintoresquistas (creados en el urbanismo de Pistarini) y de los trazados cuadriculares de la ciudad tradicional en donde se insertan.

**Transformaciones urbanas de la modernización.** Las ciudades delinean, en ese período, sus planes urbanísticos basado en la construcción de Autopistas tomadas de las nuevas perspectivas urbanas de las megalópolis (Mumford, 1966 p. 172) [3] para el impulso de obras mega ingeniería en favor del transporte automotor y en esta configuración se inserta la construcción de grandes complejos habitacionales. En América Latina se encaran propuestas sobre

definiciones urbanas que luego se dejan inconclusas en su ejecución. La ejecución de obras en plazos largos tiene lógica desde la perspectiva de la planificación, aunque en ocasiones está pensada desde la emergencia.

**La ciudad es entendida como un instrumento de modernización.** La propuesta de la urbanización, dependiente de vertientes marxistas, surge como respuesta a la teoría de la marginalidad, derivada de la teoría de la dependencia en el periodo neocolonial (Cravino, 2012) [4].

En Argentina la acción de los NHT está vinculada con retomar los grandes proyectos urbanos del gobierno de Perón entre 45/55, contemporáneo al de Vargas en Brasil, (Almeida, 2005) [5]. que habían sido abandonados y a la vez componen la posibilidad de la construcción de una ciudad nueva pergeñada en los congresos de arquitectura moderna, que contaban ahora con la posibilidad de un financiamiento internacional.

*La Alianza para el Progreso instituía un mecanismo de cooperación financiera –motorizado por Estados Unidos- que estuvo por detrás de la construcción y planificación nacional de cada país, cuyo objetivo era contrarrestar el impacto regional de la revolución cubana. En esta coyuntura, la Argentina desarrollista creaba un sistema de planeamiento con el objetivo de "modernizar" el sistema de formulación e implementación de las políticas públicas. (Novick, 2012, p. 75).*[2].

En este contexto de ideas modernistas, se diseña la operatoria de los PPP y de los NHT, basada en las relocalizaciones a una vivienda mínima para permanecer sólo por un tiempo hasta alcanzar la vivienda definitiva. La intervención se concreta bajo un régimen militar represivo que impone la mecánica de poner y sacar personas de un sitio a otro, obliga a la población a abandonar su territorio y aceptar las condiciones del traslado impuestos por la construcción de nuevos Conjuntos Habitacionales. La profunda transformación se justifica en la avanzada del desarrollo y con esta lógica modernizadora se piensan como oportunidad a los conjuntos habitacionales implantados en las periferias para crear una nueva urbanidad.

**La vivienda transitoria en la política habitacional**

Se presenta la relación entre las condiciones histórica del contexto político latinoamericano en su configuración epistémica de época en relación con el campo de la política habitacional a través del siguiente subtitulado: Contexto de la política Latinoamericana. Contexto en relación con la política habitacional. Políticas habitacionales con endeudamiento. Los tiempos del desarrollismo.

**El recorte temporal de las políticas comparadas.** Los PPP pertenecen a la política habitacional del gobierno de Vargas, en Brasil. Y los NHT pertenecen al ciclo de gobierno de las dictaduras militares entre 1966 y 1973 (Novick, 2012, p. 75) [2], autodenominada Revolución Argentina. Es el momento en que se pone en marcha el programa habitacional estudiado. Se revisa el tiempo más amplio para una mejor comprensión de la gestación proyectual de las operatorias orientadas a resolver desde la emergencia. El análisis de la obra conlleva a revisar el tiempo y contexto cultural social político que le dio nacimiento.

**Contexto de la política latinoamericana.** Uno de los desafíos buscado en la investigación se orientó a comprender el momento internacional latinoamericano y nacional en el que se inscribe la política habitacional en la que se gestó el programa de los PPP y de los NHT. Y, en consecuencia, enmarcar esta particular propuesta de relocalizaciones masivas transitorias en viviendas de durabilidad temporaria. Para ello, resultó necesario conocer más ampliamente cuál es el contexto en que surge la idea de erradicación de las llamadas favelas Brasil y villas miseria en Argentina y particularmente sobre el conglomerado urbano de las grandes metrópolis.

Desde la perspectiva política, la operatoria de los PPP y los NHT del PEVE se implementó en el marco de las medidas de modernización puestas en marcha en América Latina desde la Posguerra Mundial e instaladas con fuerte promoción en la región desde la constitución de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. En Argentina, el diseño programático de políticas de erradicación y construcción de viviendas masivas con la ejecución de viviendas temporarias está ligado a la obra de infraestructura ha tenido varias referencias. En tanto, la particular tipología de las viviendas transitorias en la metrópolis se implementó, en Brasil en el marco de un gobierno que instrumento el Estado de Bienestar, y Argentina en un gobierno dictatorial militar impuesto entre el 29 de junio de 1966 y el 8 de junio de

1970, momento en que se desplegó la maquinaria de represión y control de los movimientos sociales y políticos, sin embargo, la idea del derecho a la vivienda acuñada en la posguerra se mantenía en marcha.

Se apunta, a la comprensión del momento en que surgió la idea de la emergencia habitacional expresada como respuesta al problema de las favelas o las villas miserias y al posterior momento de la puesta en marcha de la operatoria de lugares transitorios. Entonces el relato se extiende para una mejor comprensión del preciso momento analizado de instrumentación del programa, por lo tanto, se hace referencia a la conformación mundial desde la posguerra y se observan las resultantes de la huella de la política habitacional que ha dejado en las ciudades hasta la actualidad. De este modo, se aspira a comprender los sedimentos de los programas a lo largo de décadas.

Bajo la aparente paz mundial, en el plano discursivo de la guerra fría, coexisten las contiendas. El armado de redes entre los países permea las políticas nacionales. Se talla un variado accionar gubernamental en las diversas áreas que inciden también en el aspecto urbano habitacional. El foco puesto en el recorte temporal en el que se implementan los PPP y los NHT otorga claridad para conocer el contexto en que se piensa esta política habitacional de producción de vivienda transitoria.

La principal referencia es la CEPAL como organismo de la ONU, la relación de los países latinoamericanos con el FMI y la creciente instalación del modelo Desarrollista con la inscripción en la Alianza para el Progreso que trajo aparejado el modelo neoliberal en la económica y conservador en tanto favorecedor del modelo de concentración oligárquico, propagado por las democracias dependientes e instalado a fuerza de dictaduras militares.

Este tiempo de complejidades está relacionado con los PPP y los NHT, su modo y lugar de instalación en la metrópolis. Durante este período se ejecutan acciones de urbanismo y desarrollo de la infraestructura hasta la consecuente instrumentación del PEVE y la relación con las siguientes actuaciones sobre la ciudad construida. Tal ubicación temporal se apoya en los textos de urbanistas o de quienes configuran desde la teoría la cuestión urbano – habitacional. Los lineamientos y luego el accionar de los Organismos Internacionales que actuaron en América Latina se fueron enmarcando en las teorías de la modernización (Prebisch, 1949) [6] bases del desarrollismo trazadas en el contexto de posguerra, perfeccionadas hacia la década de los 60.

La existencia de entidades de préstamos internacionales podría ser factor muy eficaz en el esbozo de un programa semejante, en el cual, con la colaboración de los distintos países, se examinan los tipos de inversión más convenientes al desarrollo económico de la América Latina, mediante su contribución a la productividad del trabajo y al desarrollo de la necesaria aptitud de reembolso. Este programa abarca también el campo de las inversiones privadas destinadas a las empresas para la producción de viviendas definitivas. Con ello, y con una eficaz ayuda técnica, sería dable desarrollar una política de inversiones, que cuente en todas las partes interesadas con un ambiente público favorable, en virtud de sus recíprocas ventajas. (Prebisch, 1949, p. 45) [6].

Endeudarse, resulta incongruente para algunos países al punto de que los ingresos de exportación son insuficientes para pagar sus deudas, o al menos sus intereses. “Por medio de estos créditos, los países del Norte han adquirido un derecho de vigilancia que va hasta la intervención física sobre los países deudores” (Calcagno, 1981, p. 179) [7]. Se produce la tensión entre el modelo de desarrollo y las inversiones de capital necesarios para la industrialización que hubiese apuntado a la autonomía de los países.

**Vivienda transitoria de emergencia, referencias y la propuesta del desarrollismo**

La vivienda transitoria en la política habitacional tiene referencias internacionales. El objeto de investigación en el marco del Doctorado de Estudios Urbanos arrojó una tesis sobre los NHT, Núcleos Habitacionales transitorios, en Argentina sobre esta política habitacional. La búsqueda de antecedentes permitió trazar una relación con la experiencia de la política habitacional brasileña de los PPP que fue puesta en marcha varios años antes y pueden haber sido una referencia para los NHT.

**La política de viviendas transitorias en el desarrollismo de posguerra.** La producción habitacional estuvo ligada a Obras de Infraestructuras y a la Erradicación de Favelas en Brasil y Villas de Argentina. Se construyeron barrios como artefactos sociales (Babbie, 1996) [8] destinados a la población relocalizada. La concepción sobre la política de vivienda del desarrollismo dejó en la memoria algunos nombres ligados a este criterio de abordaje sobre la ciudad

como los estigmáticos núcleos habitacionales transitorios que provocaron fragmentación social y urbana. Las viviendas transitorias expresan procesos de diferenciación y desigualdad de las clases sociales, en el espacio urbano.

## CASOS ESTUDIADOS: VIVIENDA TRANSITORIA EN ARGENTINA Y BRASIL

### Los PPP (Parques Proletarios Provisorios)

En Brasil, los Parques Proletarios Provisorios en los suburbios en Río de Janeiro han constituido una política gubernamental del Estado Novo en 1942 durante la presidencia de Getulio Vargas en torno a la solución del problema de las favelas.

El mentor de esta empresa ha sido el médico Oswaldo Cruz, quien sostiene una perspectiva sanitarista (Rodrigues, 2013, p. 3) [9]. El programa de los Parques Proletarios Provisorios fue elaborado en los inicios de 1940, presentado como un esbozo de un plano de acción gubernamental sobre las favelas de Río de Janeiro. El programa proponía la relocalización de los habitantes de favelas hacia los alojamientos provisorios ubicados en áreas del entorno, mientras se construían las viviendas definitivas en el suburbio de la ciudad sobre tierras del Estado. El programa contaba con un fuerte componente de "control social" según lo analizado por algunos autores disidentes del Estado Novo. En el gobierno de Vargas, la aplicación de las políticas de bienestar en Brasil, que incluía la remoción de favelas, estaba ligada a estos Parques Proletarios Provisorios para la planificación de Sao Paulo y Río de Janeiro.

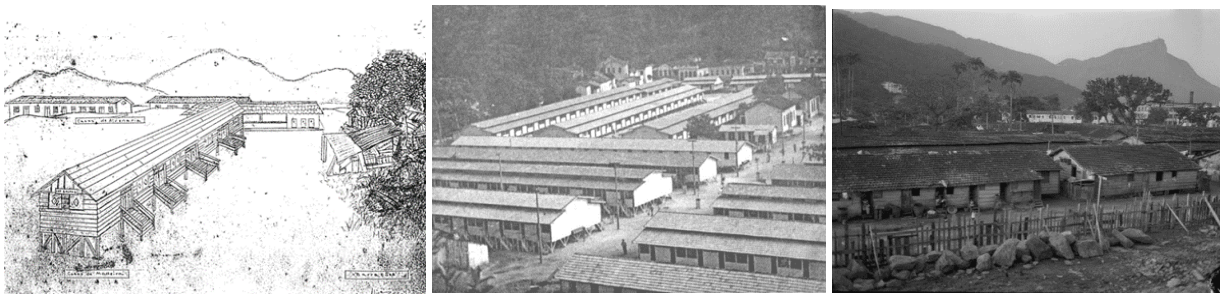
*"Segundo Lucien Parrisse, (Parrisse, 1969). ao longo das décadas de 1940 e 1950, todas as gestões do governo local sugeriram propostas que já haviam sido delineadas no programa dos parques proletários provisórios para fazer frente ao 'problema das favelas'". [16] (Rodrigues, 2013, p.3)* [9]

Algunos se reconstruyeron sobre favelas preexistentes y otros en nuevos emplazamientos, en terrenos del Estadual o Municipal, para los que se previó la expropiación. Las barracas enfiladas de reducidas dimensiones superan las condiciones anteriores. La información y el análisis de Rodrigues admiten encontrar muchas similitudes del Programa brasilero de los PPP con los NHT. En tanto, en las favelas, el código de obras estableció un reglamento que prevé la intervención estatal en el mercado de tierra que se desocupara con las erradicaciones. Dos artículos del código urbano merecen destacarse pues definían la formación de "núcleos habitacionales mínimos" (art.347) y la "extinción de la vivienda antihigiénica" (art.347) que deberían ser "dispuestas en agrupamientos convenientemente trazados" aunque los estándares eran menos exigentes que las demás zonas de la ciudad.

*"Além do Parque Proletário Número 1, na Gávea, a prefeitura construiu 2 outros parques: Parque Número 2, no Caju, e Parque Número 3, no Leblon (ao lado da favela da Praia do Pinto), entre 1941 e 1943.18 Nos três casos, a prefeitura alocou terrenos para alojar pessoas removidas de favelas, onde foram construídos barracões de madeira como alojamento provisório. Os moradores deveriam pagar aluguel, ainda que em valores módicos, à administração dos Parques. Nos três parques os terrenos eram de propriedade de órgãos públicos, ou arrendados pela prefeitura". (Rodrigues, 2013, p. 19)* [9]

Los ejemplos permiten entender que la ubicación de los núcleos transitorios estaba en zonas integradas de la ciudad y que la población estaba bajo pautas de habitación de alquiler.

*Los PPP, política habitacional brasileña*



*a) Imagen Nº 3: PPP proyectado para Gavea, Esbozo del Modelo, 1942. Fuente: (Duarte, 2018); b) Imagen Nº4: PPP Nº 1 Marques de Sao Vicente da Gávea, Ultima Hora, 15-10-1954. c) Imagen Nº5: PPP. Fuente: Archivo Publico Estado Sao Paulo.*

La utilización de un dispositivo temporario tiene sentidos prácticos, Rodrigues distingue que la misma solución tipológica habitacional puede ser utilizada desde distintos enfoques ideológicos, enmarcada en metodologías totalmente opuestas respecto del abordaje territorial que cada gobierno le otorgó en el componente político social.

*"O presente artigo reuniu evidências de que, a partir da década de 1940 e até meados da década de 1960, as gestões do governo local tomaram a iniciativa de criar novos assentamentos para favelados em terrenos estatais, principalmente nos subúrbios, amparados pela legislação urbanística então vigente. Estas ações governamentais, embora tenham sido diferenciadas e tenham adquirido significado político diferente em cada administração, tiveram uma referência 'teórica' em comum associada a 'lógica' de um 'plano para as favelas' que fora delineado no início dos anos 1940, e que deu origem ao programa dos Parques Proletários Provisórios". (Rodrigues, 2013, p. 19)* [9]

El abandono de la lógica política por la que se originó el programa y con el paso de los años, resulta la matriz de surgimiento de algunas nuevas favelas.

**Los NHT (Núcleos Habitacionales Transitorios). Leyes para instrumentar la erradicación de villas**

En los primeros años de la posguerra durante el gobierno de Perón, contemporáneo al de Vargas se encaran obras de gran escala para la instrumentación del estado de bienestar con el eje principal en el derecho del pueblo a la vivienda (Almeida, 2005) y se construyen barrios jardín y edificios en altura o se promueve la vivienda individual a través de crédito. El abordaje de la política tiene un tratamiento diferente a partir de 1955, con el énfasis puesto en la erradicación de villas en tanto operación urbana sobre la ciudad formal. Se imparten programas y leyes en ese sentido.

En 1964, durante la presidencia de Arturo Illia, se promulga la Ley 16.601: "Plan de Construcción de Viviendas con destino exclusivo a los ocupantes de Villas de Emergencia". La ley permitió dar continuidad a la tradición de construcción de viviendas del período peronista que siguió instalado entre las demandas de la población y responder al reclamo mediático sobre las Villas. El accionar del gobierno estaba justificado en el paradigma del desarrollismo, bajo el cual se venían implementando otros proyectos de Emergencia tal como se detalló en el Capítulo 1. En la ley, se nombra la palabra erradicación en un contexto de solución habitacional de los habitantes; se incluye en el texto original del que se reproduce el primer artículo.

Ley N° 16.601. Art. 1°: A partir del 1° de noviembre de 1964, la Secretaría de Estado de Obras Públicas tendrá a su cargo la ejecución y dirección de un plan de construcción de viviendas permanentes con la finalidad de erradicar definitivamente las actuales villas de emergencia en todo el país ajustándose a las disposiciones municipales vigentes.

En virtud del cumplimiento de esta ley, en 1965, se crea la Secretaría de Vivienda en el Ministerio de Bienestar Social de la Nación. Durante la dictadura militar que abarcó tres presidencias entre 1966 y 1973, las acciones de erradicación fueron sistemáticas, sustentadas con un discurso tecnocrático, en el próspero proceso de modernización cepalino (Prebisch, Germani) de la administración pública, de prevención sanitarista que se promovía desde la OMS (aunque ahora con Carrillo proscripto) y que era posible poner en práctica.

En diciembre del 1967, el Poder Ejecutivo, a través de una nota del dictador presidente de la nación, somete a consideración del Poder Judicial un proyecto de ley por el cual el Ministerio de Bienestar Social debe poner en ejecución un plan habitacional basado en la erradicación a través de la indicación textual: "2 programas por 7 años, el alojamiento transitorio anual de 8000 familias, la promoción social integral de los grupos humanos y el alojamiento definitivo". Luego, se promulga la Ley 17.605 sobre el PEVE y los NHT, que establece:

*Ley 17.605: Plan de Construcción y Financiación de Vivienda. Art. 2° - El plan a que se refiere el artículo anterior consta de 2 programas: 1. Un Programa de alojamiento transitorio, que se desarrollará mediante la construcción de 8000 viviendas en terrenos públicos para el alojamiento de igual número de familias provenientes de las villas a erradicar y que no tengan posibilidades de una solución propia inmediata. 2. Un Programa de Alojamiento definitivo. (Boletín Oficial del 10 de Enero de 1968, p. 3).*

En el marco de estas leyes, se iniciaron las acciones de construcción de las viviendas transitorias en el área metropolitana en 1968. Es el momento de inicio de los NHT. Sobre la instrumentación del Plan de Erradicación de Villa de Emergencia se han producido materiales para su puesta en marcha dirigidos a los diversos estamentos de gobierno involucrados en la ejecución. El Ministerio de Bienestar de la Nación, a través de la Secretaría de Estado de Promoción y Asistencia de la Comunidad, instruye a través de un Manual de Acción Comunitaria que considera "la pobreza como injusticia" y "desigualdades irritantes". En tanto evocan "una dialéctica esclarecedora". Bajo esta noción el gobierno "considera comunidad, a toda población definida por el área geográfica en que está asentada" (SEPAC, 1968, p. 11). Las propuestas se iniciaron con perspectiva humanitaria, se produjeron materiales bien explicativos para la "operacionalización", la difusión y propaganda en la sociedad (Blaustein, 2001) [10], pero luego fueron tomando otro giro y se distanciaron de los iniciales reclamos habitacionales esgrimidos por el movimiento villero.

**Documentos de organismos públicos de la época**

El Poder Ejecutivo Nacional a través del Ministerio de Bienestar Social instrumentó una operatoria que dejó constancia en el documento: "Plan de Erradicación de Villas de Emergencia de la Capital Federal y del Gran Buenos Aires. Primer Programa de Erradicación y Alojamiento Transitorio" (Ministerio de Bienestar Social, 1968), conocido por su sigla PEVE, que destinó fondos de rentas generales para el financiamiento en el Área Metropolitana de Buenos Aires; y fondos previsionales y provinciales para el interior del país, complementarios de los fondos crediticios internacionales del BID.

*Los NHT, política habitacional argentina*



*a) Imagen Nº 6: Proyecto de los NHT. Perspectiva Área (Manual de Monitoreo, 1968). b) Imagen Nº7: Fotograma. Vista área conjunto en construcción. Prefabricación, modulación, instalación de infraestructura. c). Imagen Nº8: Fotograma. La calle peatonal. Vista a un punto de fuga.*

Con ese material se han establecido algunas relaciones valiosas para ir a la esencia y restitución del momento inicial del programa. Los planteos teóricos recuperados en el capítulo 1 explican que en el tiempo y contexto de esta propuesta está basada en los idearios internacionales de posguerra en el proceso de modernización- industrialización-urbanización (Novick) siendo los NHT partes componentes en fase intermedia de una cadena de producción de la

máquina de habitar, que se lleva adelante desde un rol del estado que se muestra eficiente, puesto en boga en el ámbito local apelando a los imaginarios culturales del desarrollismo. Los NHT, activaron la fase inicial de la puesta en marcha del PEVE, también accionaron las expectativas de recuperación de la política habitacional y la esperanza de acceso al derecho a la vivienda.

## ARRIBOS

### La política habitacional propuesta en la posguerra

De los estudios surgen que se reiteran situaciones en ambos países en que los barrios de las viviendas transitorias han sido los núcleos generadores de nuevas favelas o villas. A su vez, la particular tipología de lo transitorio, al desplazar a la población de bajos ingresos de las áreas centrales, quedó a merced de los intereses de la oligarquía más que a la solución de la penuria habitacional del pueblo.

Este debate se ve proyectado en las resultantes de las diferentes opciones que ha tomado la política habitacional. En tanto se abandonó la reivindicación del derecho a la vivienda, las nuevas obras de conjuntos habitacionales quedaron paralizadas durante décadas tomando plazos muy largos para lograr cumplimentar los procesos constructivos. Por el contrario, a la prosecución del derecho, la vivienda transitoria es perentoria y quedó asociada en la historia como sinónimo de procesos de urbanización inconclusos.

El programa estudiado se diseñó como una compleja operación de emergencia que consistió en la erradicación de favelas, en Brasil y villas, en Argentina, y en estos casos estudiados particularmente sobre en sobre las metrópolis de Río de Janeiro y del Área Metropolitana de Buenos Aires.

El estudio sobre la epistemología de la emergencia, en el contexto en el que surgen los PPP y los NHT, dejó en evidencia que la propuesta habitacional transitoria para trabajadores es constitutivo del esquema ideológico gubernamental ligado a la oligarquía, el cual está gravitado en el encuadre político teórico de la modernización universalista promovida por la ONU en particular por la CEPAL (Centro de Estudios Económicos para América Latina y El Caribe) y la variación brasileña de la teoría de la dependencia que, en su búsqueda alternativa, finalmente, reafirman el modelo neo colonial hegemónico bicéfalo de posguerra.

La confrontación entre el ideario de modernización desarrollista con los modelos de la planificación urbana y de la política habitacional nacionales tienen relación con debates teórico político en Latinoamérica y el Caribe.

### Ubicación, tipologías y materiales de las viviendas transitorias

La tipología de vivienda transitoria sigue vigente circunscrita como herramienta en la resolución de emergencias.

En materia de tecnología, los PPP han sido desplegados como barracas de madera, sobre zonas de suelos bajos con cotas de inundabilidad por eso mismo se han despegado del piso con sistemas de pilotes. Las techumbres con sistemas de ventilación natural superior para provocar circulación de aire por los techos. Cada una de las piezas para alojamientos tiene una única puerta de entrada sin aventamientos. La serie de piezas alineadas a ambos y yuxtapuestas por espalda y laterales.

En los NHT, alojados en la periferia, en áreas de cota de inundación, se producen relocalizaciones que alejan a la población de la villa donde habitaban. En lo constructivo recurre como innovación a la tecnología de cimientos de platea de hormigón armando. Para resolver los muros sobre estas plateas se anclan placas de sistemas constructivos prefabricados: placas de hormigón horizontal, placas verticales de material de yeso sobre cartón y se eligen diversos modos de resolución de acuerdo a cada uno de los barrios. La tipología comprime al máximo la métrica de cada pieza, en dimensiones y en altura. Son tiras de una pieza en fila en fondo, queda así liberado el fondo, evitando la proximidad de otra pieza, y en cada habitación se ´puede permitir la ventilación.

El desafío para plantearse es que, en el amplio abanico de acciones que componen la política habitacional, la vivienda transitoria es un dispositivo que se enfoca en la urgencia y que una perspectiva de revisión de estas intervenciones estuvieron diagramadas como dispositivos habitacionales utilizados para superar la inmediatez del conflicto

emergentes, dentro de procesos urbanos impulsados por las grandes inversiones con financiamiento internacional basado en la deuda publico privada, más que integrados al pueblo y su territorio.

## CONCLUSIONES

La compresión de las políticas públicas de los PPP en los años 40 y los NHT en los 60 relacionadas en su tiempo y contexto permite observarlas como parte de procesos más amplios, quitándolas del hecho aislado o de la rareza sino encaramadas entre las proezas de la modernidad que intervinieron en las ciudades. Se puede distinguir a los NHT como una acción replicada de los PPP, luego de dos décadas.

La metodología de investigación de la tesis doctoral abrió el interés a relacionar la política nacional con otras políticas de la región latinoamericana. La dimensión de análisis, sobre la cuestión de la emergencia, permitió comprender los compromisos con las tendencias internacionales de reconstrucción de posguerra, ideaciones e inspiraciones técnico-políticas que llevaron a formular la política habitacional en los gobiernos de cada uno de los países con el impulso del desarrollismo. Situación en la que encuadran los PPP (1940-1960) y los NHT (1956 a 1973) en tanto políticas de viviendas transitorias como paso intermedio para la población que va destinada hacia la vivienda definitiva en un nuevo conjunto habitacional.

En los resultados se han comprendido los posicionamientos de las políticas públicas en el contexto de época a partir de las formas arquitectónicas de los edificios habitacionales, acercada desde el diseño de tipologías constructivas particulares, como el de las viviendas transitorias. En estos casos quedaron ligados a las políticas de modernización del gobierno que los implementó como parte de su política habitacional.

## AGRADECIMIENTOS

A Cristina Cravino y a sus redes de relaciones interuniversitaria que tendieron los hilos para encontrarse en el marco del trabajo por el derecho a la vivienda.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] NOVICK, Alicia. (2003) “El urbanismo en las historias de la ciudad”. Buenos Aires: Revista Registros N° 1, noviembre, 2003. pp. 5-26.

[2] NOVICK, Alicia (2012, p. 24). Proyecto Urbanos y Otras Historias. Nobuko.

[3] MUMFORD, Lewis (1966). La Carretera y la Ciudad. p. 172)

[4] CRAVINO, Cristina (2012). Repensando la ciudad informal en América Latina. Universidad Nacional de General Sarmiento.

[5] ALMEIDA, H. (2005). Bajo los ojos de Perón - el Brasil de Vargas y las relaciones con la Argentina. Record.

[6] PREBISCH, Raúl (1949) El Desarrollo Económico de América Latina y sus principales problemas. [s.l.] Naciones Unidas Consejo Económico y Social. https://www.cepal.org/es/publicaciones/40010-desarrollo-economico-la-america-latina-algunos-sus-principales-problemas

[7] CALCAGNO, (1981, p. 179). Calcagno, A. E. y Jakobowicz, J. M. (1981). Monólogo norte-sur y la explotación de los países subdesarrollados. Siglo Veintiuno.

[8] BABBIE, E. (2004). The practice of social research. Belmont: Thomson/Wadsworth.

[9] RODRIGUES, R. I. (2013), p.3 y p.19 Os ‘Parques Proletários’ e os subúrbios do Rio de Janeiro: aspectos da política governamental para as favelas entre 1930-1960. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/131003_favelas_rio_parques_proletarios.pdf

[10] BLAUSTEIN, Eduardo (2000) Prohibido vivir aquí. Una historia de los de erradicación de la última dictadura. Comisión Municipal de la Vivienda, Capital Federal.

Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable
Built Environment and Sustainable Development
MACDES.2024
Séptimo Congreso Internacional

del 25 al 29 de noviembre del 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LA PROPIEDAD URBANA EN LA HABANA [1934-1960]

**Lucía Silva Fernández**[1], **Ruslan Muñoz Hernández**[2], **Alexis Jesús Rouco Méndez**[3]

[1,2 ,3]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Avenida 114 N.º 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana

[1]e-mail: luciasilvaf22@gmail.com; [2]e-mail: ruslanmunoz@gmail.com; [3]e-mail: ajroucos8@gmail.com

**RESUMEN**

A 143 años de haber surgido el Centro de la Propiedad Urbana de La Habana, una de las instituciones cubanas que más contribuyó a forjar la historia nacional según apuntó el desatacado arquitecto Joaquín Weiss y a 90 de la fundación de la Federación Nacional de la Propiedad, conviene hacer una revisión histórica que documente el peso de esta institución en el desarrollo urbano arquitectónico de la ciudad en el siglo XX. La presente investigación de carácter histórico, reconstruye la génesis y desarrollo de la propiedad urbana en La Habana entre 1934 y 1960, la cual representó un pilar para el sostenimiento de su propia autonomía y gestión. El estudio de las condicionantes históricas y de los factores jurídicos y financieros que se articularon en torno a la propiedad urbana, permiten afirmar que su existencia dejó un legado que amerita estudiarse para comprender parte de la evolución de la ciudad en dicho periodo. Hoy, cuando se hace un llamado a la urgencia de repensar la ciudad y su gestión territorial e inmobiliaria, a fin de que pueda ser sostenible y con mayor equidad para sus ciudadanos, repasar estos antecedentes puede resultar útil para extraer lecciones para el futuro. Los resultados alcanzados se sustentaron en fuentes primarias de información.

**PALABRAS CLAVES:**

La Habana Siglo XX, propiedad urbana, mercado inmobiliario, suelo urbano.

# HISTORICAL APPROACH TO URBAN PROPERTY IN HAVANA [1934-1960]

**ABSTRACT**

According to architect Joaquín Weiss, the Urban Property Centre of Havana was one of the Cuban institutions that most contributed to forging national history. After 143 years after its creation, and 90 years after the founding of the National Federation Property, it is advisable to carry out a historical review that document the importance of this institution in the urban and architectural development of the city in the 20th century. The present historical investigation reconstructs the genesis and development of urban property in Havana between 1934 and 1960, which represented a pillar for the maintenance of its own autonomy and management. The study of the historical conditions and the legal and financial factors that were articulated around urban property allows us to affirm that its existence left a legacy that deserves to be studied to understand part of the evolution of the city in this crucial period. Today, when there is an urgent call to rethink the city and its territorial and real estate management, so that it can be sustainable and with greater equity for its citizens, reviewing this background can be useful to draw lessons for the future. The results achieved were based on primary sources of information.

**KEY WORDS:**

Havana 20th century, urban property, real estate market, urban land.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Propiedad Urbana en Cuba representó una gran parte de la riqueza nacional, y constituyó uno de los pilares fundamentales del sostenimiento de la autonomía y gestión de las ciudades, pues la contribución en impuesto territorial sobre fincas urbanas era la principal fuente de ingresos de los Municipios y de los Gobiernos Provinciales. La Habana concentró el grueso de las inversiones en el sector de la propiedad inmueble, dejando como evidencia una urbe de notables valores culturales.

En medio de los revolucionarios cambios que repercutieron en La Habana del siglo XIX, como las influencias del pensamiento higienista que marcaron el surgimiento de nuevos barrios, ordenanzas e infraestructuras urbanas, y la introducción y desarrollo del ferrocarril, entre otros, surgió en 1881 el Centro de la Propiedad Urbana de La Habana (CPUH), institución estrechamente ligada al desarrollo de la ciudad y creada con el propósito de representar los intereses de los propietarios de los bienes inmuebles y las fincas urbanas o rústicas.

Con el advenimiento de la República, la clase propietaria se fue consolidando hasta agruparse en la Federación Nacional de la Propiedad (FNP) en 1934. Tras superar paulatinamente las severas consecuencias de la crisis económica de la década de 1930, La Habana reactivó su crecimiento urbano a partir de los años cuarenta. El golpeado mercado inmobiliario se recuperó mediante el impulso de las inversiones constructivas y la consolidación de algunas industrias. En su desarrollo, la Propiedad Urbana estuvo marcada por las regulaciones en el régimen de alquiler, las crisis de materiales y de viviendas, a la par de trascendentales transformaciones de la urbe, que perseguían adecuarse al sostenido incremento demográfico, cuya cifra sobrepasaba el millón de habitantes en los años cincuenta.

El desarrollo de La Habana asociado expresamente a la historia y evolución de la Propiedad Urbana ha sido abordado escasamente en la literatura especializada, por lo que la investigación permite acercarse y documentar su gestión y alcance en el periodo analizado. Con el interés de entender la significación de la Propiedad Urbana y el mercado inmobiliario, y su consecuente reflejo en la ciudad, se comenzó explorando en 2022 el Seguro Hipotecario y el régimen de la Propiedad Horizontal, mecanismos claves que incidieron en la dinámica constructiva de la urbe de finales de la década de 1950. [1, 2]

Teniendo en cuenta dicho vacío historiográfico, en la presente investigación se expone parte de los resultados de una continuidad exploratoria de este tema, para dar respuesta a las siguientes inquietudes: ¿Qué papel jugó la Propiedad Urbana en el desarrollo urbano arquitectónico de La Habana entre 1934 y 1960? ¿En qué contexto surgió y evolucionó? ¿Qué legado dejó en la historia urbana y social de la ciudad? Es por ello que el objetivo central del texto es documentar y analizar el rol de la Propiedad Urbana en la historia urbano arquitectónica de La Habana entre 1934 y 1960.

El periodo de análisis quedó determinado por la gestión de la FNP y de la edición de la Revista Nacional de la Propiedad Urbana (RNPU) como su órgano oficial de divulgación entre 1934 y 1961. La cota temporal máxima se fijó en 1960, en que se instituyó la Ley de Reforma Urbana, con consecuentes cambios sobre la propiedad. La investigación, de carácter histórico, partió de la consulta, procesamiento e interpretación de la valiosa documentación de fuentes primarias de información[1]. Se revisaron todos los números disponibles de la Revista Nacional de la Propiedad Urbana, las revistas Arquitectura y Cuba Eco-nómica y Financiera, que junto a otros textos aportaron elementos de análisis del desarrollo del objeto de estudio.

## 1. BREVES APUNTES DEL CRECIMIENTO DE LA HABANA

La Habana, fundada en torno a su bahía en el siglo XVI, experimentó rápidamente un crecimiento en los siglos posteriores favorecido por su ubicación geográfica, convirtiéndola en neurálgico centro comercial. Un temprano sistema de fortificaciones le permitió consolidar su importancia económica y política en el área del Caribe. Los ecos de la revolución industrial llegaron a la Isla dinamizando la producción azucarera y con ella la propia estructuración del territorio. Para el siglo XIX, La Habana vivió grandes trans-

[1] En los archivos de la Biblioteca Nacional José Martí (BNJM) de La Habana, ejemplares disponibles de la Revista Nacional de la Propiedad Urbana. La Habana (1934-1961), Arquitectura (1941-1957), Bohemia (1947), y periódico Noticias de Hoy (1952), además de libros y documentos legislativos de la época.

formaciones, entre ellas el derribo de sus murallas a partir de 1863, que permitió la fusión de sus áreas urbaniza-das. El establecimiento del ferrocarril urbano en 1859 facilitó el enlace de la vieja ciudad con zonas peri-

féricas ya interconectadas por una amplia red de caminos, algunos de los cuales se convertirían en sus futuras arterias viales principales.

Tras el fin del dominio colonial español y al asumir el carácter de República en 1902, comenzó un fuerte proceso de modernización de las infraestructuras. Un sistema de alcantarillado, la introducción del automóvil y nuevas Ordenanzas Sanitarias comenzaron a marcar el valor de las operaciones urbanas. La Habana, cuya población superaba los 200 mil habitantes, se expandió aceleradamente en busca de espacio hacia el sur y el oeste en un crecimiento vertiginoso [3]. Este proceso, derivado del auge económico a causa de la exportación azucarera, se vio temporalmente interrumpido desde los últimos años de la década de 1920, para entrar en una contracción económica severa que impactó en todas las ramas de la sociedad cubana [4]. Tras la crisis de la década del 30, se reactivó su crecimiento, esta vez con mayor rapidez, lo que conurbó sus términos municipales, potenciado por la modernización de sus infraestructuras viales. Ya de escala metropolitana, La Habana llegó a 1960 con una población que superaba el millón de habitantes.

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PROPIEDAD URBANA. EL CENTRO DE LA PROPIEDAD URBANA DE LA HABANA

En Cuba, el concepto de propiedad se ha visto plasmado con dos enfoques: el de derecho y el del objeto de ese derecho. El derecho de propiedad tiene la modalidad de urbana cuando su objeto, denominado finca urbana, tanto edificada como yerma, se encuentra situado en núcleos urbanos. Asimismo, la propiedad urbana suele asimilarse en contraposición con la propiedad rural o rústica, denominándose así a la situada en áreas no urbanizadas. Ambas constituyeron los dos tipos fundamentales de propiedad territorial o inmueble existentes en la nación. Es posible definir entonces a la propiedad urbana como un tipo de propiedad concerniente a las áreas urbanas y cuya existencia está supeditada a las leyes o disposiciones que regulan el derecho de propiedad, que incluyen mecanismos de tributación fiscal.

La figura del propietario o “dueño de casas en la ciudad” ya existía en Cuba desde el periodo colonial y este podía arrendar su propiedad a un precio que se correspondiese con su valor inicial. De esta forma se desarrolló el negocio del inquilinato, mediante el cual el ocupante de la casa o inquilino pagaba un alquiler mensual al propietario para ocupar la vivienda, mientras que este último constituía el responsable de mantener las condiciones del inmueble: higiene, servicios, reparaciones necesarias, así como el pago de todos los impuestos y contribuciones que gravaran a su finca, de acuerdo con lo dispuesto por la gobernanza pública. La contribución de los propietarios urbanos permitía el sostenimiento de las cargas de la Administración Pública a través de los fondos aportados al Erario.

La propiedad urbana representó una gran parte de la riqueza nacional, ya que mientras las grandes fincas azucareras, las manufacturas de tabaco y una considerable fracción del capital de la nación estaban en manos extranjeras, el capital restante se refugiaba enormemente en la propiedad territorial urbana, la cual pertenecía casi en su totalidad a manos cubanas. Por ello, el propietario urbano cubano constituía una figura de notable influencia, que contribuía al progreso de las urbes y a su bienestar común. La competencia natural resultante del negocio del inquilinato engrandecía, mejoraba y embellecía a las ciudades, siendo La Habana expresión significativa de este accionar.

Tras el fin de la Guerra de los Diez Años en 1878, se inició en la Isla un periodo de rectificaciones y reformas económicas y sociales en que las empresas privadas, bajo el fervor nacionalista, buscaban impulsar y desarrollar sus actividades comerciales para intentar restañar la débil economía insular tras años de contienda. En la etapa finisecular, la sociedad cubana transitó de la tradición a la modernidad, con la introducción de innovaciones como el telégrafo, el teléfono y la luz eléctrica, como también se evidenció a través del incremento de publicaciones que reflejaban la opinión pública y la creación de formas asociativas que protegían los intereses de individuos, sectores y grupos sociales tras la Ley de Asociaciones de 1888. En las últimas décadas del siglo surgieron varias sociedades mercantiles, bancarias y crediticias, entre ellas: Crédito Territorial Hipotecario de la Isla de Cuba (1882) y La Bolsa de La Habana (1883). En este contexto, se gestó el CPUH en julio de 1881, por iniciativa de los miembros de la Compañía de Seguros El Iris.

El Centro devino en un organismo que defendía los intereses de los propietarios habaneros y que los representaba ante los gobiernos metropolitano, provincial y municipal. Su propósito inicial era que los asociados, dueños de fincas urbanas o rústicas, contribuyeran con una cuota mensual en centavos plata, pagaderos por semestres adelantados. A cambio de estas contribuciones, el Centro brindaba a sus asociados los servicios de gestión de asuntos relacionados a sus inmuebles en el Gobierno, el Ayuntamiento y la Hacienda, tales como demandas de desahucios, rebajas de la contribución del impuesto de agua, rectificaciones del amillaramiento, construcción de aceras, alumbrado público, y recogida de basuras, entre otros. Para fines de 1886 ya se habían asociado cerca de 900 propietarios, con un total de 2.340 casas, lo cual representaba aproximadamente el 13 % de las 18.000 que existían en La Habana en ese entonces.

## 3. UN FRENTE ÚNICO EN DEFENSA DE LA PROPIEDAD. LA FEDERACIÓN NACIONAL DE LA PROPIEDAD

Durante el siglo XX, el CPUH continuó sus funciones representando a los propietarios habaneros. En la segunda mitad de la década de 1920, la situación de inestabilidad social, condicionada por los efectos de la crisis económica, hizo mermar el rendimiento de la propiedad urbana. Miles de casas se encontraban desalquiladas, al punto de que los propietarios debían aceptar las rebajas que sus inquilinos les imponían con tal de seguir cobrando una mínima renta. En 1925, la lucha del Centro por la defensa de los intereses de los propietarios tomó mayor connotación; en marzo del propio año se celebró una asamblea de propietarios y se gestaron las primeras intenciones de unir a todos los Centros de la Propiedad de la República en un frente único, hecho que se materializaría años después. Por otro lado, como reflejo del empobrecimiento social, solo en los juzgados de La Habana se procesaron 28.923 desahucios en 1927.

Tras el derrocamiento de la presidencia de Gerardo Machado en 1933, el nuevo gobierno de Ramón Grau San Martín llevó a cabo una serie de prórrogas en los lanzamientos de los juicios de desahucio, lo cual perjudicó fuertemente a los propietarios e hizo que dejaran de recibir ingresos en sus fincas urbanas. Las campañas desarrolladas por el CPUH para hacer llegar sus protestas a los poderes públicos, aunque exitosas, no parecían tener la fuerza suficiente para responder a las cargas que pesaban sobre los contribuyentes y sus derechos. Era necesario para los propietarios contar con un organismo superior, con un "frente único", que representara los intereses de la clase propietaria a escala nacional. Es por ello que, en abril de 1934 y desde el propio seno del Centro de propietarios habaneros, se constituyó la FNP, institución que se proclamó como la: "representación más poderosa de los propietarios, porque la integran todas las colectividades de esta índole existentes en la República" [5].

Al ser una organización sin fines de lucro, sufragaría sus gastos por las asociaciones que la integraran, admitiendo también toda clase de donativos externos. Desde su fundación, se adhirieron a la Federación quince Centros de la Propiedad, doce Asociaciones de Propietarios y una Unión de Propietarios, sumando un total de 28 organizaciones regionales en todo el país. Durante los años siguientes, se sumaron varias Asociaciones de Propietarios urbanos de barrios de La Habana; en el último listado documentado de asociaciones federadas, fechado en noviembre de 1960, se contabilizaban 31 organizaciones inscritas. A lo largo de su gestión, la FNP estuvo acompañada de su único órgano oficial de divulgación: la RNPU, editada entre 1934 y 1961, valioso documento que recoge no solo la historia de la Federación, sino también notables análisis de interés nacional de historia urbana, entre otros tópicos.

## 4. LOS CONGRESOS NACIONALES DE LA PROPIEDAD (1942, 1945 Y 1952)

Como evidencia de la consolidación y madurez de la clase propietaria, la FNP, durante su existencia, organizó la celebración de tres Congresos Nacionales de Propietarios. Las principales resoluciones y acuerdos adoptados fueron en torno a la necesidad de contar con nuevas disposiciones a favor del progreso y la planificación de las ciudades cubanas, el apoyo a la realización de nuevos proyectos urbanos, la creación de escuelas, museos y bibliotecas públicas por parte del Municipio, entre otros.

El 2do Congreso, celebrado del 21 al 24 de abril de 1945 en La Habana, contó con un mayor alcance, no solo en el número de trabajos presentados sino también en cantidad de entidades patrocinadoras, pues

además de la FNP estuvieron: el Colegio Nacional de Arquitectos, el Colegio Provincial de Arquitectos de La Habana, la Sociedad Cubana de Ingenieros, el Colegio de Corredores de la Propiedad Inmueble, la

Federación Patronal del Ramo de Construcción y la Asociación Nacional de Ferreteros. En este cónclave profundizaron con nuevos análisis en la propiedad como concepto de derecho y su papel en el desarrollo económico de la nación; se deliberó sobre la importancia del urbanismo y la salubridad en las ciudades, y en el problema de la vivienda, cuya carencia por el incremento poblacional en la capital se hacía latente.

Varias ponencias proponían soluciones enfocadas fundamentalmente al desarrollo de las llamadas viviendas económicas: "Contribución al estudio de las viviendas económicas", del profesor Arq. Alberto Prieto, y "El estímulo oficial, única solución al problema de la vivienda", del Ing. Julio Lecuona, entre otros trabajos. El tema de las rentas constituyó la principal preocupación abordada durante los tres congresos, dada la existencia de disposiciones de control de alquileres que limitaban el desarrollo de inversiones en la construcción y, con ello, los intereses de la clase propietaria. Al referirse a este congreso, y en especial a este tema central, Bartolomé Santana Padilla, quien figuró como secretario durante los tres eventos celebrados, expresó: "[…] atendiendo a que la propiedad inmobiliaria es la mayor riqueza de Cuba, debe merecer más consideración y mejor trato por parte de los gobiernos [...]." [6, p.2]

## 5. LA PROPIEDAD URBANA, SU DISTRIBUCIÓN Y RENTAS INMOBILIARIAS EN EL MUNICIPIO. RELACIÓN DE LA CLASE PROPIETARIA CON LA GOBERNANZA PÚBLICA

En 1899, la provincia de La Habana concentraba el mayor valor de la propiedad urbana de toda Cuba, al contar con un estimado de 84.804 miles de pesos, lo cual representaba el 61 % del valor total de este tipo de propiedad territorial en la nación. Al iniciarse la República, su valor ascendió a 100 millones de pesos para un total de 27.701 casas habaneras; sin embargo, solo el 48 % de estas casas contaban con instalaciones sanitarias, tales como inodoro y conexión con el alcantarillado general. La mejora en la calidad de los materiales de construcción, así como equipamiento interior de las viviendas durante las primeras tres décadas del siglo XX, trajeron consigo una revalorización económica de esas propiedades urbanas, cuyo número, hacia 1933, ascendió a unas 50.000 casas, con un valor total de 340 millones de dólares.

Estos cambios también implicaron modificaciones en la forma de calcular los tributos y gravámenes de las propiedades urbanas, con descuentos por distintos conceptos, como el servicio de agua, impuestos, administración, depreciación, reparaciones y mantenimiento, tiempo sin alquilar, entre otros. Teniendo en cuenta el costo o valor de la propiedad, estos gastos se aplicaban a la renta bruta obtenida, dando como resultado un porcentaje de renta líquida que representaba el verdadero ingreso del propietario.

Uno de estos gravámenes era la contribución urbana, un tipo de tributación territorial por parte de las fincas urbanas hacia el Municipio y que estaba dictada por la Ley Orgánica de los Municipios de 1908, que establecía para la propiedad urbana un tipo de impuesto que no excedería del 12 % sobre su producto líquido. Paulatinamente, fue reajustándose la ley para cobrar los tributos de edificios de oficina y las ciudadelas, cuyos gastos representaban el 48 % del precio del alquiler, así como de los edificios de apartamentos, cuyos descuentos ascendían a entre un 30 % y un 50 % del alquiler, en dependencia de si este contaba o no con elevador.

El cobro de la contribución urbana se realizaba de manera trimestral en cada Término Municipal. Su objetivo era sostener los gastos declarados en el presupuesto municipal anual, dentro de los cuales figuraban servicios como los de alumbrado público, salubridad e higiene, policía, asistencia pública, agua, mantenimiento del acueducto, entre otros. A inicios de la década de 1930, el impuesto territorial sobre fincas urbanas suponía en la provincia de La Habana el 22,4 % de los ingresos municipales, mientras que en 1939 este tipo de recaudación en el Término Municipal de La Habana se elevaba al 36 % de los ingresos por concepto de impuestos municipales, la mayor proporción de los ingresos de este tipo.

Debido a ello, el sector de la propiedad urbana constituía uno de los pilares fundamentales del sostenimiento de la autonomía municipal y, al mismo tiempo, el impuesto territorial era uno de los

principales gravámenes de la propiedad urbana. La clase propietaria estaba consciente de que la Municipalidad era el principal organismo responsable de ocuparse del urbanismo, invirtiendo en mejoras que contribuyeran a embellecer la ciudad y, por consiguiente, aumentaran el valor de sus propiedades urbanas. El CPUH contaba en sus oficinas con una sección para tramitar el pago de las contribuciones urbanas de sus asociados. Según los datos registrados en sus memorias anuales, el importe de los tributos pagados al Municipio ascendió a más de 200 mil pesos con una tendencia creciente cada año a partir de 1947.

La Ley de Obras Públicas, reglamentada en 1925 durante el gobierno de Machado, estableció la creación de un impuesto para la realización de obras de utilidad pública nacional. Estipulaba abonar "un impuesto del dos por ciento sobre toda renta o producto de bienes inmuebles o derechos reales de censo o hipoteca" [7, p. 44]. Además, este dos por ciento se cobraría a los contribuyentes al mismo tiempo que estos abonaran su adeudo al Municipio, el cual tenía definida como obligación el depósito por concepto de esta Ley en su presupuesto anual. En 1937, se autorizó a los propietarios la realización de determinadas obras bajo autorización y supervisión del Departamento de Obras Públicas, argumentando para ello el propósito que tenía el Gobierno de estimular la cooperación privada para mayor utilidad pública.

El Ministerio de Obras Públicas, creado en 1940, contando con diferentes conceptos de recaudación, debía responsabilizarse del mantenimiento y reparación de las calles de la ciudad, así como dotar de vías de comunicación urbanas que conectaran las diferentes barriadas. Para el cumplimiento de esta labor, las diferentes asociaciones de propietarios de La Habana ejercían su influencia, comunicando a la Secretaría de Obras Públicas su interés sobre la realización de determinadas obras, las que se incrementaron como expresión de la recuperación financiera de la economía cubana. En este escenario resultó importante el Decreto 3213 de octubre de 1948 para el fomento de zonas residenciales económicas, el cual ofrecía a toda entidad que parcelara, urbanizara o edificara en terrenos vinculados a ellas, la exención de impuestos por 10 años, facilitando su rápida ocupación. No es casual que varios repartos urbanos se fomentaran en torno a ejes industriales como la Carretera Central, la avenida de Rancho Boyeros o la propia Vía Blanca.

## 6. LA VIVIENDA DE ALQUILER EN LA HABANA: ENTRE LEYES Y REGULACIONES (1939-1958)

Desde 1927, el precio de los alquileres en La Habana descendió a su momento más crítico entre 1933 y 1934. Varias familias comenzaron a reunirse en la misma vivienda, lo que dio origen a la desocupación de numerosas casas, de tal manera que más de un 80 % de la propiedad habanera llegó a estar desalquilada y los propietarios se veían en la necesidad de rebajar sus rentas a cantidades ínfimas para poder continuar arrendando sus propiedades, resultando memorable el anuncio: "Esta casa se alquila, por lo que usted quiera pagar". Las pérdidas por concepto de rentas alcanzaron, entre 1932 y 1934, la cifra de 44 millones de pesos, llevando a la depreciación de la propiedad inmueble en un promedio del 37 % de su valor representativo. [8] Asimismo, se calculó que, entre 1933 y 1935, el valor de la propiedad disminuyó en un 60 %, convirtiendo los 350 millones del valor de la propiedad habanera en solo 140 millones de pesos. [9]

Desde finales de 1934, tímidamente la economía comenzó a mostrar ciertos síntomas de recuperación. Por consiguiente, se inició un acompasado proceso de alza de alquileres y un retorno en la demanda de viviendas. Los propietarios elevaron nuevamente sus rentas, algunos incluso de forma abusiva. Este nuevo escenario no fue bien acogido por los inquilinos, los cuales emitieron denuncias a los juzgados correccionales y demandaron la creación de un decreto ley que regulara el precio del alquiler de las habitaciones, departamentos, accesorias y casas pequeñas de acuerdo con la cantidad en que estaban amillaradas, su capacidad y condiciones. Muestra de la fuerza de sus reclamos fue el protagonismo de la Unión General de Inquilinos de La Habana.

Esta campaña de ley cobró mayor impulso con la presentación a la Cámara de Representantes de un primer proyecto de ley sobre la regulación de los alquileres de las fincas rústicas y urbanas en 1936, conocí- do como Ley Palma debido al nombre de su autor. La misma establecía que los dueños de inmuebles no podrían cobrar por el arrendamiento de sus fincas un alquiler superior al que regía para estas el 1º de enero de ese mismo año. Un segundo proyecto, que vio la luz en septiembre de 1936 a nombre del Dr. Antonio Bravo Acosta, expresaba similares criterios de fijación del alquiler.

Los propietarios urbanos, a través del CPUH, reaccionaron de inmediato a estos proyectos, argumentando que su aprobación pondría en peligro las futuras inversiones en la construcción urbana y harían mermar

las entradas del Municipio, con el consiguiente perjuicio para la economía de las localidades. El gremio de arquitectos se pronunció de igual forma e hizo constar a las autoridades que la disposición sobre alquileres atacaba sus medios de vida como profesionales, así como de todos aquellos que desarrollaban sus actividades en el sector de la construcción, el cual resultaría notoriamente afectado. La expectativa generada por estas propuestas jurídicas, así como los nuevos proyectos presentados en 1938, hizo que muchos inversionistas retuvieran sus capitales a la espera de un ambiente más seguro para financiar obras.

No fue hasta el 25 de marzo de 1939 que entró en vigor un proyecto de Ley de Alquileres presentado el 27 de febrero del propio año que fijó el precio de las rentas, fenómeno, conocido como "congelación de alquileres". Una de sus principales consecuencias fue la división de los propietarios en dos clases: aquellos que edificaron con anterioridad a 1937, que vieron congeladas sus rentas, y aquellos que edificaron con posterioridad a la ley, que contaban con total libertad de contratación y precios.

Los impactos en la inversión no se hicieron esperar, ya que, si bien habían sido concedidas exenciones de impuestos a las nuevas construcciones, los inversionistas se verían obligados a rebajar las rentas de sus nuevas propiedades para competir con aquellas existentes cuyos alquileres estarían regulados por la ley, con lo que no verían estímulo alguno en la fabricación. Sobre el tema, señalaron desde Arquitectura:

> "[…] en los primeros 19 meses de la vigencia de la Ley, o sea, de Abril de 1939 a Octubre de 1940, ambos inclusives [sic], se han invertido en nuevas edificaciones en la Capital y sus repartos un total de 18 millones 800 mil pesos, según valor declarado, equivalente a 23 millones 500 mil pesos, valor más probable. En igual período de los años anteriores en que no existía dicha Ley de exención de contribuciones, o sea, en los 19 meses comprendidos de Abril de 1937 a Octubre de 1938, se invirtieron en nuevas construcciones sólo 9 millones 300 mil pesos, valor declarado, equivalente a 11 millones 700 mil pesos de valor más probable, o sea, menos de la mitad de lo invertido al amparo de la referida Ley, en sus primeros 19 meses de vigencia." [10]

La ley primitiva de 1939 fue secundada por varias prórrogas a lo largo de la década de 1940; aunque en algunas de ellas se autorizaron aumentos anuales de un 10 % de los alquileres, estos volvían a prohibirse regularmente por una siguiente disposición. Esta situación se replicó cuando, en 1942, se fijó como precio máximo del arrendamiento de casas, departamentos, locales y habitaciones, aquel que regía en marzo del propio año. La "congelación" se aplicó nuevamente en 1944, en 1949, y en 1952, provocando una progresiva afectación a los propietarios urbanos y la concesión de garantías a los que invirtieran con posterioridad a estas fechas.

A esta problemática se le adicionaron numerosas disposiciones aprobadas otorgando derecho de permanencia a los inquilinos mientras estos pagaran puntualmente su alquiler, lo cual limitó los desahucios y, con ello, la reedificación o modernización de las propiedades urbanas. Además, estimuló el desarrollo de la llamada "bolsa negra de alquileres", mediante la cual los ocupantes, gozando del derecho de permanencia, realquilaban la propiedad en que vivían para recibir ingresos de la misma, realizando modificaciones en las viviendas sin contar con el propietario ni cumplir con las obligaciones municipales que a este último le correspondían. Ello trajo consigo que grandes residencias originalmente unifamiliares fueran subdivididas con tabiques, estimándose más de 150 edificaciones en esta situación solo en el término municipal de Marianao a finales de la década de 1940.

Las disposiciones sobre regulación de alquileres y los decretos de permanencia constituyeron los principales ataques al derecho de propiedad denunciados desde las páginas de la RNPU. La primera de estas temáticas fue abordada en los tres Congresos Nacionales de Propietarios y constituyó motivo de protesta recurrente de las diferentes asociaciones de propietarios habaneros. Aunque algunos de los objetivos de la primera Ley de Alquileres de 1939 fueron cumplidos, tales como evitar un aumento desmedido de las rentas y estimular la construcción para contrarrestar el déficit de alojamientos existente en la ciudad, el incentivo no funcionó para la edificación de viviendas modestas, necesarias para el ciudadano de bajos recursos económicos. Las nuevas inversiones inmobiliarias se enfocaron en la construcción de apartamentos y residencias de alto costo y rentas elevadas, solo asequibles para las clases media y alta.

El auge constructivo que se produjo durante la década de 1950 vio nacer y ampliarse numerosos repartos, promovidos por la implementación de nuevas modalidades y regímenes de la propiedad inmueble. Los moderados costos del terreno en las alejadas periferias, las exenciones tributarias concedidas a nuevos inversionistas, así como la facilidad de compra del automóvil particular, estimularon el fomento de más de sesenta repartos próximos o distantes a la zona central de La Habana. Sin embargo, el epicentro comercial, sede del gobierno y la banca, encabezado por la "Habana Antigua", no logró desarrollarse de la misma manera. Al tratarse de las propiedades urbanas de más antigua construcción, sus alquileres se encontraron congelados a los precios que tenían en 1937 y las ganancias obtenidas por sus dueños impidieron que estas fueran restauradas o remozadas. Las trabas impuestas a los desalojos dificultaron la demolición y modernización de los viejos inmuebles de la época colonial, al tiempo que eran alrededor de 120 mil las personas que, a finales de la década, aún vivían en cuarterías, ciudadelas o solares.

Dentro de la distribución del presupuesto familiar, el pago del alquiler constituía el segundo gasto más importante, después de la alimentación. En 1934, la renta representaba el 18,6 % de los ingresos de las familias pobres de La Habana; en 1955 significó 11,2 % de los gastos totales y el 27,4 % en 1958. [11] El salario mínimo en 1955 era de 80-85 pesos en perímetros urbanos, sin embargo, para 1957, un 53 % de los trabajadores urbanos devengaban menos de 75 pesos mensuales. El costo de un apartamento de una habitación, comedor, cocina y baño estaba entre 30-56 pesos; mientras que el de dos habitaciones, comedor, cocina y baño, era entre 65-75 pesos. Los precios de alquiler de cuartos en solares y antiguas casas de vecindad también se incrementaron, llegándose a cobrar por ellos 10, 12 y hasta 15 pesos al mes.

## 7. EL *BOOM* INMOBILIARIO DE LOS 50 Y SUS EFECTOS URBANOS

En los primeros años de la década, el ingreso nacional y el comportamiento del mercado de las construcciones mostraron tendencias opuestas. Ello se debió a que la fabricación reflejaba con cierto retraso el período de bonanza económica vivido en el país durante años anteriores. La irrupción en el poder de Fulgencio Batista mediante un golpe militar en 1952 eliminó las garantías constitucionales, lo cual generó temor en la sociedad y coartó las reacciones de la opinión pública y de la prensa. Si bien hubo durante 1952 un clima de tensiones y desconfianza con los reclamos populares por la rebaja de los alquileres, ello no impidió que a partir de mediados del siguiente año se desarrollara un incremento en el valor de las edificaciones nunca antes registrado en la ciudad de La Habana.

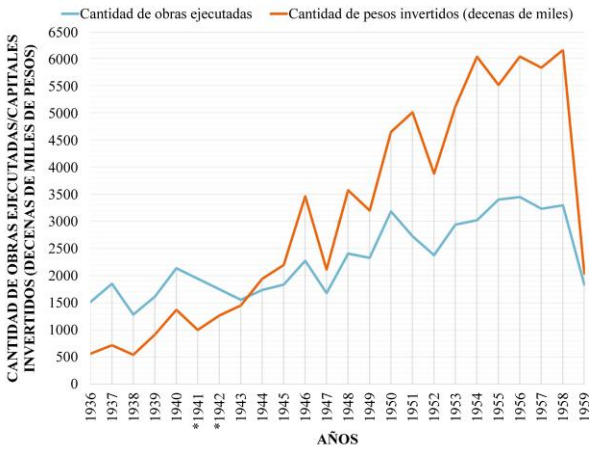



Figura 4: Ritmo de construcción e inversiones en La Habana (1936 y 1959)

Para transmitir confianza a los inversionistas, Batista puso en marcha un nuevo Plan de Obras Públicas que acometió la fabricación de nuevos edificios y negocios que reproducían íntegramente las inversiones realizadas en ellos, como es el caso de la prolongación del malecón habanero. Por consiguiente, los propietarios se vieron más beneficiados y la iniciativa privada desarrolló mayor confianza para sufragar los gastos de estas obras. Por otra parte, se promulgaron nuevos decretos ley que se convertirían en dinamizadores de las inversiones constructivas, ellos fueron la Ley-Decreto 407 de 1952, conocida como Ley de

Propiedad Horizontal, y la Ley-Decreto No. 750 de 1953, sobre el Seguro de Hipoteca. El inversionista cubano, que solía inclinarse hacia los bienes raíces al considerarlo el tipo de inversión más segura, comenzó a volcar las utilidades acumuladas en la construcción de viviendas, en momentos en que el descenso de las exportaciones mermaba las ganancias del país.

Con ambas leyes se lograba la democratización de la propiedad, al hacer que pasara a manos de personas con diversos rangos de ingresos económicos. No obstante, se beneficiaron esencialmente sectores de la llamada clase media. Estos mecanismos jurídicos financieros repercutieron en la cuidad, por un lado, un progresivo verticalismo residencial en áreas urbanas de alto valor y adquirió especial énfasis en el barrio de El Vedado, en el que se debió ejercer presión constante para modificar las regulaciones urbanas sobre la altura máxima de los inmuebles y aprobar la construcción de cada vez más altas torres de apartamentos.

En tanto, el Seguro de Hipoteca, conocida como Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA), impactó por las garantías que ofrecía a los inversionistas. Basó su gestión en el crédito hipotecario como vía para lograr mayor estabilidad en las inversiones. Se trató de una entidad aseguradora que concertaba préstamos y planes de amortización para facilitar a los inversores la compra de terrenos y la construcción de viviendas. Hasta inicios de 1960, se habían fomentado por este sistema un total de 37 proyectos de urbanización, 23 de ellos en La Habana, haciendo que la ciudad duplicara su área urbana y se consolidara su escala metropolitana. A fines de 1957, se estimaba en más de 75.000 nuevas viviendas y 88 nuevas zonas residenciales construidas. [12]

## 8. LA LLEGADA DE 1959 Y LOS CAMBIOS. LA REFORMA URBANA

Con la caída del régimen de Fulgencio Batista en 1959, se instauró un Gobierno Provisional fruto de un proceso insurreccional con Fidel Castro como líder. La Revolución Cubana marcó, a partir de este momento, un viraje en la historia de la nación desde todos los puntos de vista. Para ese entonces, La Habana se encontraba en franca expansión producto del *boom* constructivo de los años anteriores, sin embargo, profundas disparidades sociales marcaban el carácter dual de la urbe. Uno de los más graves problemas era el de la vivienda, pues los intereses privados dominaban el mercado inmobiliario y el negocio del inquilinato. La vivienda social pensada para los sectores vulnerables y aclamada por arquitectos y propietarios constituyó una deuda política de los diferentes gobiernos republicanos.

Para solucionar la problemática de la vivienda social y masiva, el Gobierno Revolucionario implementó políticas encamina-das a beneficiar a amplios sectores sociales, una de las primeras fue la creación el 17 de febrero de 1959 del Instituto Nacional de Ahorro y Vivienda (INAV), de amplio alcance nacional. Su propósito era llevar a cabo la construcción de nuevas viviendas empleando los fondos de la Renta de la Lotería Nacional.

En poco tiempo, las contradicciones entre gobierno y clase propietaria comenzaron a evidenciarse. La aspiración de justicia social de la joven Revolución por dar solución al tema habitacional y materializarlo como parte de su programa político, llevó a modificar la estructura legal que favorecía hasta ese momento a la clase propietaria de inmuebles y terrenos. La primera de las disposiciones fue la suspensión de los lanzamientos de desahucio por 45 días y la reducción drástica del costo de los alquileres en un 50 % cuando no excedieran de cien pesos, un 40 % cuando no llegaran a doscientos pesos y un 30 % cuando fueran superiores a doscientos pesos. Meses más tarde se aprobó la Ley de Solares Yermos que estableció la venta forzosa de los solares yermos y fijó el precio legal de los mismos en 4 pesos por metro cuadrado, abriendo paso a la administración estatal para ejecutar obras de utilidad pública, con ello se ponía fin a la contratación de bienes territoriales, que había conducido a la especulación sobre el suelo urbano. Asimismo, se estableció la Ley 691 del 23 de diciembre de 1959, que prohibió nuevas ventas de solares yermos en los repartos urbanizados. Finalmente, se produjo la intervención estatal mediante el control de los terrenos urbanos en más de 100 repartos aún no concluidos.

La repercusión de estas disposiciones sobre muchos pequeños propietarios se tradujo en la imposibilidad de pagar la contribución territorial municipal. Esta situación generó un desplome de la inversión privada en construcciones, que hizo decaer los valores registrados entre 1953 y 1958. El volumen de construcción de viviendas por esta iniciativa cayó verticalmente en 1959, con pérdidas de 41 millones de pesos. [17]

A su vez, el mercado de viviendas ahora estaba dividido. Por un lado, las viviendas construidas por el Estado, principalmente por el INAV (solo entre 1959 y 1962 se ejecutaron 4.979 unidades en La Habana) [18] y, por otro, la inversión privada, que continuó realizando algunas construcciones para fines de renta, pero notablemente menor ante la incertidumbre de los inversionistas que esperaban un posible ajuste a la legislación. La serie de nuevas disposiciones aprobadas en el transcurso de poco más de un año, hicieron que en agosto de 1960 la RNPU augurara y, a su vez, rechazara el advenimiento de la Reforma Urbana: "De producirse una Reforma Urbana en los términos que están en la mente de los que aspiran a convertirse "de derecho" en dueños de la propiedad ocasionaría el derrumbe de los Municipios, cuyo sostenimiento depende principalmente de la propiedad urbana." [19, p. 3]

La Ley de Reforma Urbana, aprobada el 14 de octubre de 1960, puso fin al mercado inmobiliario privado en Cuba. Declaró la prescripción de los arrendamientos de inmuebles urbanos de cualquier otro negocio o contrato que conllevara a la cesión del uso total o parcial de un inmueble urbano. Otorgó el derecho de propiedad de la vivienda a sus inquilinos e hizo que se archivaran todos los juicios de desahucio, prohibiendo su práctica. El Estado se encargó de amortizar mensualmente el valor de las viviendas con lo que se pagaba por renta en un período entre cinco y veinte años. Si bien este pago no debía superar el 10 % del ingreso familiar, su beneficio a grandes sectores populares fue significativo.

La gestión de tal empresa se llevó a cabo con la creación de un Consejo Superior y siete Consejos Provinciales de la Reforma Urbana. Ante estos últimos, todo propietario urbano debía declarar los inmuebles de que era propietario y por los que cobraba renta. Los Consejos, a su vez, entregarían a los antiguos propietarios una parte del precio que recibieran producto de la amortización de las viviendas. Desde las páginas de la RNPU se anunciaba el profundo golpe que había recibido la clase propietaria con la Ley de Reforma Urbana. Además, se explicaba el giro total que se había producido en la historia inmobiliaria cubana. La transformación experimentada con la Reforma Urbana marcó una nueva etapa en las actividades tradicionales del CPUH. En una circular del 17 de octubre de 1960, la dirección de la organización declaró su propósito de continuar orientando a sus asociados sobre sus derechos y obligaciones, argumentando sobre la subsistencia de la propiedad inmueble privada como institución. La RNPU, que había constituido el vocero del CPUH y de todas las asociaciones de propietarios urbanos de La Habana y del resto de la nación, publicó su último número en diciembre de 1961.

Las medidas que transformaron la matriz del mercado inmobiliario y uso de suelo urbano, si bien priorizaron las funciones públicas bajo una visión inclusiva, su excesivo control, así como la anulación de los mecanismos de mercado y la cancelación de las rentas generadas por él, como el impuesto de amillaramiento de fincas urbanas, generó la descapitalización del suelo en términos financieros. Fue debilitándose así una base económica, que, sumada a las complejidades del momento, no generó nuevas riquezas que permitieran sostener en el tiempo, tanto el mantenimiento del fondo construido heredado como la generación de un nuevo fondo en función de la demanda.

## CONCLUSIONES

La Propiedad Urbana, como institución jurídica, constituyó una parte intrínseca del desarrollo urbano arquitectónico de La Habana, ya que su existencia permitió la generación de utilidades mediante la inversión en un fondo construido que perdura hasta la actualidad. El Impuesto Territorial sobre fincas urbanas permitió garantizar tanto el mantenimiento de la infraestructura de la ciudad y de su fondo inmueble, como el financiamiento de obras de utilidad pública nacional. La figura del propietario urbano representó el principal actor en este proceso, por lo que su gremio, consolidado durante la década de 1930 a través de diversas organizaciones y un medio de prensa que dio voz a su quehacer, constituyó parte del contrapeso como sociedad civil con la gestión gubernamental de la ciudad.

El negocio de arrendamiento de propiedades urbanas vio limitados sus intereses con los sucesivos métodos de control de alquileres y obstaculización de desalojos, lo cual condujo a la depreciación de las zonas centrales, las más afectadas por estas disposiciones. En cambio, las edificaciones posteriores a 1939 se vieron estimuladas con exenciones tributarias y liberación de rentas, agudizando la polarización del mercado inmobiliario y dificultando el acceso a la vivienda.

Las crisis económicas y de materiales de construcción, los vaivenes en las cargas tributarias de las fincas urbanas, así como las diversas leyes y decretos sobre arrendamiento, constituyeron limitantes o estimulantes de la inversión en propiedades urbanas a lo largo del período de estudio. Si bien los capitales invertidos y la cantidad de obras ejecutadas mantuvieron una tendencia ascendente desde la década de 1930, no fue hasta los años 50 que se desarrolló el mayor auge constructivo y boom inmobiliario en La Habana estimulado jurídicamente, pero dirigidos a los sectores de ingresos medios y altos. La elevada especulación territorial y un mercado enteramente privado excluyó a las amplias mayorías.

Con la llegada al poder del Gobierno Revolucionario tuvieron lugar cambios sustanciales en el desarrollo de la propiedad urbana, que produjeron una contracción en los capitales privados en construcciones. Las diversas disposiciones aprobadas modificaron la matriz de las inversiones en edificación y la orientaron a la solución del problema de la vivienda, cumpliendo esencialmente una función social. La cúspide de estos cambios lo fue la Ley de Reforma Urbana, que puso fin al negocio de arrendamiento de fincas urbanas y anuló los mecanismos del mercado inmobiliario que rigieron el crecimiento de La Habana en años anteriores. La propiedad, si bien se mantuvo como institución jurídica, perdió toda finalidad de generación de capital, por lo que el suelo disipó el valor económico que sustentaba la edificación y el mantenimiento de los inmuebles urbanos. La clase propietaria, mortalmente herida debido a los propios cambios, fue desapareciendo y con ella su voz, la Revista Nacional de la Propiedad Urbana, en 1961.

Comprender la articulación de los mecanismos jurídicos y socio-económicos que permitieron sostener y hacer crecer a la ciudad en la primera mitad del siglo XX, así como de los complejos procesos de interacción social entre propietarios, arquitectos, inquilinos y actores de la gobernanza pública en torno al valor y función social de la propiedad, no solo es importante por su repercusión directa en la propia historia urbana y social de la urbe sino, además, para extraer las lecciones que puede ofrecer para el momento actual. Asimilar la historia como herramienta para la sostenibilidad urbana es esencial, más cuando una ciudad cuenta con un amplio patrimonio edificado que debe ser gestionando y recuperado. Hoy La Habana posee amplias potencialidades en materia de suelo urbano edificable, así como de reúso de su fondo inmobiliario. Entender estos antecedentes históricos y relaciones de la Propiedad Urbana podrían hacer más consistentes la creación de nuevos instrumentos para la valoración óptima de ese suelo construido y no construido, los cuales deben integrar sistemas de impuestos y contribuciones territoriales. A su vez, esta mirada histórica del proceso podría contribuir a la evaluación de futuras acciones de inversiones para la ciudad presente y futura, con el reto y el compromiso de preservar sus valores urbanísticos, únicos en la región.

**REFERENCIAS**

1. MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan; ROUCO MÉNDEZ, Alexis Jesús; y GONZÁLEZ PANECA, Carla. “Periferias hipotecadas. El impacto de la FHA en el crecimiento urbano de La Habana [1953-1963]”. *CyTET*, 2023, vol. 55, núm. 216, pp. 467-486. Disponible en web: https://doi.org/10.37230/CyTET.2023.216.11.

2. MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan; ROUCO MÉNDEZ, Alexis Jesús; y FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Beatriz. “El verticalismo residencial en La Habana promovido por la Ley de Propiedad Horizontal (1952-1959)”. *IJCS*, 2023, vol. 15, núm. 2, pp. 283-306, Disponible en web: https://www.scienceopen.com/collection/4a86a894-91a1-439c-bb98-b2e3053e07cf?22.

3. MARURI, Carlos Manuel. “La Habana de 1956. Estudio presentado al Congreso de Planificación”. *Arquitectura*, 1957, vol. 25, núm. 282, pp. 35-42.

4. ZANETTI LECUONA, Oscar. *Cuba: El largo siglo XX*. La Habana: Ediciones Temas, 2021. 1019 pp. ISBN 978-959-310-086.

5. GÓMEZ ARIAS, M. M. “La Federación Nacional de la Propiedad”. *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1934, vol. 1, núm. 3, p. 7.

6. GARCÍA BANGO, Rafael; y SANTANA PADILLA, Bartolomé. "El presidente y el secretario. Dos valiosas opiniones". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, vol. 19, núm. 219, p. 2.

7. *Ley de Obras Públicas y Reglamento para la administración y cobranza de los impuestos que por ella se crean.* La Habana: Imprenta y Papelería de Rambla, Bouza y Ca., 1925. Artículo XVIII, pp. 44-45.

8. PORTO, Enrique. "Depreciación de la Propiedad Inmueble. Medidas necesarias para obtener su mejoramiento". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1935, vol. 2, núm. 17, p. 5.

9. "Alternativas de la propiedad en los últimos años". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1936, vol. 3, núm. 34, pp. 11-12.

10. NIETO, Amado César. "Necesario que se prorrogue la exención de contribuciones a los nuevos edificios". *Arquitectura*, 1941, vol. 9, núm. 90, p.36.

11. RODRÍGUEZ, José Luis; y CARRIAZO MORENO, George. *Erradicación de la pobreza en Cuba*. La Habana: Ciencias Sociales, 1987. 207 pp.

12. "Sigue el elevado ritmo de las construcciones". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1957, vol. 24, núm. 280, pp. 28.

13. "Inspiran confianza a los propietarios las declaraciones del Premier Dr. Fidel Castro". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1959, vol. 26, núm. 300, p. 20.

14. "Demos apoyo económico al nuevo gobierno". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1959, vol. 26, núm. 299, p. 5.

15. *Leyes del Gobierno Provisional de la Revolución. V 1º al 31 de marzo de 1959*. La Habana: Editorial Lex, 1940, pp. 49-55.

16. "El ahorro y su función". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana* 1959, vol. 26, núm. 301, p.14.

17. SANTANA PADILLA, Bartolomé. "EI descenso en las construcciones". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1960, vol. 26, núm. 311, p. 3.

18. MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan; y ZARDOYA LOUREDA, María Victoria. "La producción habitacional estatal en La Habana entre 1959 y 1964 a través de sus entidades ejecutoras". *Registro*, 2022, vol. 18, núm. 1, pp. 43-62. Disponible en web: http://revistasfaud.mdp.edu.ar/registro/article/view/558.

19. SANTANA PADILLA, Bartolomé. "No más Reforma". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1960, vol. 27, núm. 318, p. 3.

20. SANTANA PADILLA, Bartolomé. "La Reforma Urbana". *Revista Nacional de la Propiedad Urbana*, 1960, vol. 27, núm. 320, p. 3.

**Sobre los autores**

**Lucía Silva Fernández**
Arquitecta recién graduada, con el ejercicio de culminación de estudios "Significación de la propiedad Urbana en el desarrollo urbano arquitectónico de La Habana 1934-1960", con la tutoría de los arquitectos Dr. Ruslan Muñoz Hernández y MSc. Alexis Jesús Rouco Méndez, desarrollada dentro del grupo de investigación Conservación y Estudios del Patrimonio.

**Ruslan Muñoz Hernández.** Arquitecto. Doctor en Ciencias y Máster en Vivienda Social. Profesor Auxiliar de Teoría e Historia de la Arquitectura y el Urbanismo, Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae (Cuba). Miembro de: grupo de investigación Conservación y Estudios del Patrimonio; Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); Do.Co.Mo.Mo-Cuba, y colaborador de Icomos-Cuba.

**Alexis Jesús Rouco Méndez.** Arquitecto. Máster en Vivienda Social. Profesor Auxiliar de Diseño, Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae (Cuba). Miembro de: grupos de investigación Diseño y Conservación y Estudios del Patrimonio; Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); y Do.Co.Mo.Mo-Cuba.

# EVALUACIÓN ESPACIAL DEL PLAN DE MANEJO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO: RETOS JURÍDICOS Y EL POTENCIAL DE LOS SIG EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL.

**Rodrigo Zumaya Tapia [1], José Gabriel Castro Garza [2], Eduardo Fuentes Fuller [3].**

Departamento de Teoría y Análisis, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

1e-mail: rzumaya@correo.xoc.uam.mx

**RESUMEN.**

La Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales de 1914 marcó el inicio de la protección del patrimonio cultural y natural en México, inspirada en modelos europeos pero adaptada al contexto nacional. Este marco legal sentó las bases para una conservación estructurada, que se fortaleció con la Carta de Venecia (1964) y la Convención de la UNESCO (1972), influyendo en la Ley Federal sobre Monumentos Históricos de 1972. Aunque la Ley de 1972 ha logrado avances, aún enfrenta desafíos operativos y técnicos significativos. El Plan de Manejo del Centro Histórico de la Ciudad de México ha mejorado la movilidad y la conservación en algunas áreas, pero persisten deficiencias en la catalogación de monumentos y la adaptación del uso del suelo. La integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es fundamental para un diagnóstico más preciso y una gestión más eficaz del patrimonio, superando la fragmentación en las políticas actuales y mejorando la planificación y preservación del patrimonio cultural.

**PALABRAS CLAVES:** Conservación, Evaluación, Centro Histórico, Sistemas de información Geográfica, Plan de rescate

# SPATIAL EVALUATION OF THE MANAGEMENT PLAN FOR THE HISTORIC CENTER OF MEXICO CITY: LEGAL CHALLENGES AND THE POTENTIAL OF GIS IN CULTURAL HERITAGE CONSERVATION.

**ABSTRAC.**

The Law on the Conservation of Historical and Artistic Monuments and Natural Beauties of 1914 marked the beginning of the protection of cultural and natural heritage in Mexico, inspired by European models but adapted to the national context. This legal framework laid the foundation for a structured conservation effort, which was strengthened by the Venice Charter (1964) and the UNESCO Convention (1972), influencing the Federal Law on Historical Monuments of 1972. While the 1972 Law has achieved progress, it still faces significant operational and technical challenges. The Management Plan for the Historic Center of Mexico City has improved mobility and conservation in some areas, but deficiencies persist in the cataloging of monuments and land use adaptation. The integration of Geographic Information Systems (GIS) is essential for a more accurate diagnosis and more effective management of heritage, overcoming fragmentation in current policies and improving the planning and preservation of cultural heritage.

**KEYWORDS:** Conservation, Evaluation, Historic Center, Geographic Information Systems, Rescue Plan.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La preservación del patrimonio cultural y natural es un tema de creciente relevancia en el ámbito global, especialmente en ciudades con una rica herencia histórica como la Ciudad de México. La conservación de monumentos históricos y espacios emblemáticos no solo se trata de preservar la memoria colectiva, sino de garantizar que las generaciones futuras puedan apreciar y entender su legado cultural y arquitectónico.

En México, la protección del patrimonio tiene sus raíces en la Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales de 1914, la primera legislación en el país destinada a salvaguardar bienes culturales y naturales. Esta ley sentó las bases para la protección de monumentos, edificios y bellezas naturales, estableciendo un modelo que ha evolucionado a lo largo de los años.

Uno de los hitos más significativos en la conservación del patrimonio a nivel internacional fue la adopción de la Carta de Venecia en 1964, que ofreció un marco teórico y práctico para la conservación y restauración de monumentos y sitios históricos. Esta carta, junto con la Convención de la UNESCO de 1972, influyó profundamente en la formulación de políticas nacionales y en la creación de marcos normativos globales.

En México, la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos de 1972 consolidó y expandió las protecciones para el patrimonio cultural, estableciendo mecanismos de conservación más robustos y un sistema de registro público. A pesar de estos avances, la implementación efectiva de estas leyes enfrenta desafíos, como la fragmentación en la gestión del patrimonio y la falta de coordinación entre diferentes enfoques de desarrollo urbano y conservación.

El Plan de Manejo del Centro Histórico de la Ciudad de México, iniciado en 2007, busca abordar estos desafíos mediante una estrategia integral que considera aspectos de habitabilidad, economía, turismo y patrimonio. A través de este plan, se pretende no solo conservar los inmuebles y espacios históricos, sino también revitalizar el área de manera sostenible y respetuosa con su valor cultural.

En este contexto, la aplicación de herramientas avanzadas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrece una oportunidad para mejorar el diagnóstico y la planificación en la conservación del patrimonio. Los SIG pueden proporcionar una visión más clara de las dinámicas territoriales y ayudar a tomar decisiones informadas para la preservación de centros históricos y otros bienes culturales.

Este documento explora los antecedentes históricos y legales de la conservación del patrimonio en México, los desafíos actuales en la gestión del Centro Histórico de la Ciudad de México, y el potencial de los SIG para mejorar la planificación y conservación del patrimonio cultural. A través de un análisis detallado, se busca ofrecer una visión comprensiva de las estrategias y herramientas necesarias para preservar el legado cultural y arquitectónico de la Ciudad de México para las futuras generaciones.

## 2. ANTECEDENTES.

La conservación del patrimonio cultural en México ha sido influenciada por diversas leyes y acuerdos internacionales. Uno de los primeros hitos fue la Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales de 1914, que, inspirada en legislaciones europeas, estableció la protección de monumentos y bellezas naturales como un asunto de utilidad pública, sentando las bases para la conservación en el país.

A nivel internacional, la Carta de Venecia de 1964 fue clave al promover la preservación del patrimonio de forma integral, no solo de los monumentos individuales, sino también de su contexto histórico. Este documento influyó directamente en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos de 1972 en México, que amplió la protección a conjuntos arquitectónicos y paisajes, y estableció mecanismos de conservación que siguen vigentes.

La Convención de la UNESCO de 1972, que estableció un marco global para la protección del patrimonio cultural y natural, también jugó un papel importante en la política mexicana, reforzando la cooperación internacional y las normativas nacionales de preservación.

En el contexto específico del Centro Histórico de la Ciudad de México, el Plan de Manejo ha sido una herramienta clave para la gestión y conservación de este patrimonio. La Autoridad del Centro Histórico, creada en 2007, ha coordinado iniciativas enfocadas en el desarrollo sostenible de esta zona, buscando revertir el deterioro urbano y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. El Plan de Manejo del Centro Histórico se ha estructurado en tres periodos: 2012-2016, 2017-2022 y 2023-2028, abarcando 10 polígonos de actuación y centrándose en cuatro ejes principales: habitabilidad, economía y turismo, funcionalidad y seguridad, y ciudadanía y cultura cívica. Uno de los objetivos fundamentales del plan es la preservación

del patrimonio arquitectónico, siguiendo las recomendaciones de la UNESCO, y asegurando la integración del patrimonio cultural en un contexto de desarrollo urbano sostenible.

Los antecedentes de la conservación del patrimonio cultural en México reflejan una evolución continua que ha sido profundamente influenciada por marcos internacionales como la Carta de Venecia y la Convención de la UNESCO de 1972. Estos documentos han establecido principios clave que han guiado tanto la formulación de leyes nacionales como la implementación de políticas de conservación. En el caso del Centro Histórico de la Ciudad de México, el Plan de Manejo constituye un esfuerzo concreto para garantizar la preservación de su patrimonio cultural

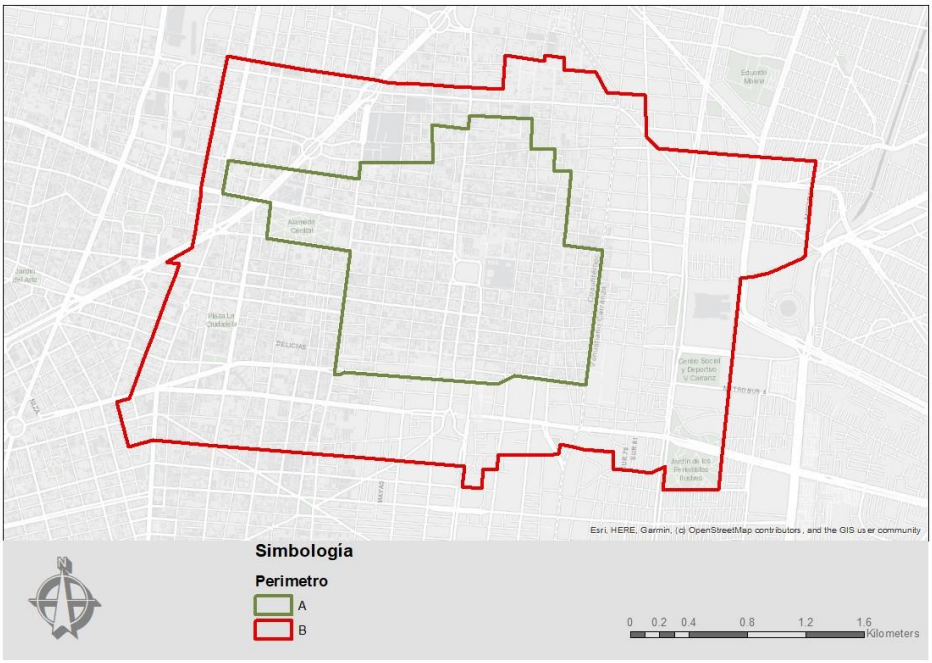



Figura 1. Perímetros de conservación. Fuente: elaboración con base en Secretaría de Cultura (st), Instituto.

Tabla 1. Líneas de acción (2017-12022) plan de manejo del centro histórico de la CDMX.
Fuente: Plan de manejo del centro histórico de la CDMX (2017-2022)

| | |
|---|---|
| Habitabilidad | Desarrollo urbano y vivienda |
| | Patrimonio |
| | Espacio Público |
| | Sustentabilidad |
| Economía y Turismo | Comercio y servicios |
| | Turismo |
| Funcionalidad y seguridad urbana | Movilidad y Accesibilidad |
| | Seguridad y Riesgos |
| Ciudadanía y cultura cívica | Cultura Cívica |

## 3. LA FRAGMENTACIÓN EN LA GESTIÓN DEL PATRIMONIO: DEFICIENCIAS EN ESTUDIOS INTEGRALES, CRITERIOS NO HOMOLOGADOS Y EL USO LIMITADO DE SIG.

La conservación del legado cultural del centro histórico de la Ciudad de México, uno de los más ricos de América Latina, enfrenta una serie de desafíos que comprometen su preservación integral. A pesar de contar con un marco jurídico, autoridades encargadas y recursos, aunque limitados, la realidad es que las intervenciones en monumentos individuales han sido más exitosas en comparación con los esfuerzos por conservar y restaurar conjuntos más amplios como centros, poblados y barrios históricos.

Un problema crítico que emerge es la coexistencia de dos familias de leyes y reglamentos: aquellos enfocados en el desarrollo urbano y aquellos dedicados a la conservación del patrimonio cultural. Esta dualidad no solo se refleja en el marco normativo, sino también en la estructura institucional y profesional, donde urbanistas y restauradores actúan simultáneamente, pero sin lograr unificar criterios ni enfoques que permitan una gestión coherente y efectiva del patrimonio en los centros históricos.

La falta de coordinación entre estas dos esferas de acción ha llevado a un enfoque fragmentado en la conservación, donde los esfuerzos por preservar el patrimonio cultural a menudo se ven obstaculizados o contradichos por políticas de desarrollo urbano. La integración de estos enfoques es esencial para abordar de manera eficaz la conservación de los centros históricos, evitando que la preservación del patrimonio quede relegada o subordinada a intereses de desarrollo que puedan comprometer su integridad y valor cultural [2]

**El Potencial No Aprovechado de los SIG en el Diagnóstico-Pronóstico para la Conservación del Patrimonio Cultural.**

El diagnóstico-pronóstico es un proceso fundamental para la planificación efectiva de la conservación de centros históricos. Este enfoque permite identificar problemas y oportunidades, proporcionando una base sólida para la formulación de objetivos y la elección de estrategias adecuadas. Sin embargo, la integración de herramientas avanzadas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha sido limitada en este proceso, a pesar de su capacidad para transformar el diagnóstico-pronóstico en una herramienta más dinámica, precisa y multidimensional.

Los SIG han revolucionado múltiples campos, ofreciendo herramientas poderosas para el análisis espacial, la visualización de datos y la toma de decisiones informadas. No obstante, en el ámbito del patrimonio cultural, su uso se ha restringido principalmente a tareas básicas, como la georreferenciación de monumentos y sitios históricos. Esta subutilización representa una pérdida significativa de potencial en la gestión integral del patrimonio, especialmente considerando la complejidad y las múltiples dimensiones que caracterizan a los centros históricos y otros bienes culturales.

La conservación de centros, poblados y barrios históricos enfrenta múltiples desafíos que requieren un enfoque integral y multidisciplinario. A continuación, se describen las principales problemáticas y cómo los SIG podrían ser una herramienta clave para el diagnóstico y la planificación.

Tabla 2. Elementos para el diagnóstico-pronostico.

| | |
|---|---|
| Interacciones con el medio natural | Componentes fisiográficos: clima, relieve, hidrología, geología, suelos. |
| | Componentes bióticos: vegetación y fauna. |
| | El patrimonio natural |
| | Las alteraciones al medio ambiente y sus consecuencias. |
| Aspectos socioeconómicos y culturales | Dinámica demográfica |
| | Aspectos económicos |
| | Aspectos socioculturales |
| | El patrimonio intangible asociado |
| Estructura urbana y patrimonio cultural | El contexto urbano y regional |
| | El patrimonio cultural urbano-arquitectónico |
| | Uso del suelo |
| | Vivienda |
| | Infraestructura y servicios urbanos |
| | Equipamiento urbano |
| | Riesgos y vulnerabilidad |

## 4. EVALUACIÓN DEL PLAN DEL CENTRO HISTÓRICO MEDIANTE INDICADORES ESPACIALES.

La evaluación de un plan de conservación y desarrollo en un área tan compleja y significativa como el Centro Histórico de una ciudad requiere de un enfoque multidimensional que considere tanto los aspectos físicos como los sociales y económicos. En este contexto, los indicadores espaciales emergen como herramientas fundamentales para comprender las dinámicas territoriales y medir el impacto real de las políticas implementadas. Estos indicadores permiten no solo visualizar la distribución y el estado de diversos factores clave, sino también identificar patrones, tendencias y áreas críticas que podrían no ser evidentes a través de métodos de evaluación más tradicionales.

El presente capítulo se enfoca en la evaluación del Plan del Centro Histórico utilizando indicadores espaciales como medio para analizar cada uno de sus ejes estratégicos A través de estos indicadores, se busca proporcionar una visión clara y objetiva del estado actual del centro histórico, evaluando tanto los logros como las áreas de oportunidad que requieren atención.
Aquí tienes una versión revisada del capítulo, enfocando el concepto de *orden espacial* en el uso de los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**:

## EVALUACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EL ORDEN ESPACIAL A TRAVÉS DEL USO DE LOS SIG.

El *orden espacial* es un concepto clave en la evaluación del patrimonio arquitectónico, que implica la organización armoniosa del espacio tomando en cuenta sus dimensiones sociales, económicas, ambientales, culturales y estéticas. En este sentido, los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** se han convertido en una herramienta fundamental para analizar y gestionar el orden espacial de manera más eficiente y precisa, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en la conservación del patrimonio [5]

**El Papel de los SIG en el Orden Espacial del Patrimonio.**

El uso de los SIG permite evaluar el patrimonio arquitectónico desde una perspectiva de *orden espacial* al facilitar la integración de datos geoespaciales y urbanos. Estos sistemas permiten mapear de manera detallada la interacción entre el patrimonio y su entorno, identificando las relaciones de complementariedad y armonía entre los elementos arquitectónicos y urbanos. Además, los SIG permiten analizar cómo las intervenciones en el espacio afectan la coherencia y el equilibrio del entorno patrimonial.

Los SIG son especialmente útiles para capturar y visualizar el contexto físico de los monumentos, ayudando a comprender cómo los edificios patrimoniales se integran o contrastan con el tejido urbano. Esta capacidad es crucial para el análisis del *orden espacial*, ya que permite identificar desajustes o áreas donde la intervención puede mejorar la armonía entre el patrimonio y su entorno. A través de análisis espaciales, es posible evaluar la interacción entre monumentos y edificios no patrimoniales, la conectividad urbana, la accesibilidad y el impacto ambiental de las zonas patrimoniales.

**Aplicación de los SIG en el Diagnóstico del Orden Espacial.**

El uso de los SIG en el diagnóstico del orden espacial del patrimonio arquitectónico permite generar modelos espaciales que integran múltiples capas de información, desde datos topográficos hasta censos demográficos y mapas de infraestructuras. Esto permite un análisis holístico que evalúa cómo cada dimensión del orden espacial se manifiesta y cómo se pueden implementar mejoras para asegurar la armonía entre los elementos patrimoniales y el entorno urbano.

Mediante los SIG, es posible realizar análisis multicriterio que consideren los factores sociales, ambientales y económicos en la planificación de intervenciones. Por ejemplo, se pueden identificar zonas de riesgo, como áreas propensas a desastres naturales o con deterioro estructural, y planificar la conservación del patrimonio de manera preventiva. Los SIG permiten también simular escenarios futuros de desarrollo urbano y su impacto sobre el patrimonio, asegurando que las nuevas construcciones no comprometan el orden espacial y la integridad de los monumentos

**Habitabilidad.**

La habitabilidad de un área se mide por su capacidad para satisfacer las necesidades de sus residentes, promoviendo un entorno urbano inclusivo y sostenible. En el Centro Histórico y Perímetro B, el número de viviendas habitadas creció entre 2010 y 2020 a tasas del 2.86% y 6.63%, respectivamente, indicando una estabilidad o expansión en estas zonas. En contraste, Perímetro A vio una disminución del -10.21% en el número de viviendas habitadas, sugiriendo problemas potenciales en demanda, infraestructura o condiciones económicas que afectan negativamente esta área [7]

Tabla 3. Total de viviendas habitadas.

| | Viviendas Habitadas 2010 | Viviendas Habitadas 2020 | Tasa de crecimiento |
|---|---|---|---|
| Centro Histórico | 43506 | 44750 | 2.86 |
| Perímetro A | 9747 | 8752 | -10.21 |
| Perímetro | 33759 | 35998 | 6.63 |

**Parques y jardines.**

El análisis del componente patrimonial vinculado al turismo en el Centro Histórico revela un enfoque positivo en el refuerzo de recorridos peatonales y la intervención en espacios simbólicos, con un énfasis particular en las zonas poniente y sur. Sin embargo, el espacio público enfrenta desafíos significativos como el deterioro, la contaminación atmosférica y sonora, y la presencia de partículas suspendidas. Estos problemas ambientales subrayan la necesidad urgente de una mejora en la calidad del entorno urbano, destacando el papel crucial de la vegetación para mitigar los efectos negativos.

La rehabilitación y el mejoramiento ambiental han avanzado principalmente en la zona poniente, lo que indica una respuesta efectiva en esa área. No obstante, es esencial que estas medidas se refuercen en el oriente y el perímetro B, donde los problemas son más acentuados. La adecuada atención y mantenimiento de los 26 parques y jardines catalogados, así como de las 30 plazas catalogadas, junto con las áreas no catalogadas, deben ser prioritarios para asegurar un desarrollo más equilibrado y sostenible del Centro Histórico.




Figura 2. Plazas parques y jardines. Fuente: Elaboración propia con datos del SIGCDMX.

**Vivienda.**

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, el perímetro A del Centro Histórico alberga 9,647 viviendas con una población de 29,218 habitantes, resultando en un promedio de tres ocupantes por vivienda. En contraste, el perímetro B cuenta con 40,551 viviendas y una población de 115,922 habitantes, con una densidad de 2.8 ocupantes por vivienda. Las franjas norte y sur del perímetro B concentran la mayor parte de la vivienda en el área. Además, entre 2019 y 2021, el Instituto de Vivienda de la Ciudad de México identificó 51 inmuebles en situación de riesgo, 36 de los cuales están catalogados como patrimoniales. Esta situación resalta la necesidad urgente de contar con información actualizada sobre la vivienda y su estado físico para planificar adecuadamente las intervenciones y gestionar eficazmente con las autoridades correspondientes.

El repoblamiento se ha establecido como una prioridad en el diseño de intervenciones inmobiliarias, destacando la importancia de la vivienda social mediante esquemas de financiamiento que también incluyan el mejoramiento del entorno urbano de los inmuebles catalogados. De los inmuebles catalogados, 1 está concluido, 11 en proceso, 8 en trámite y 16 por iniciar, mientras que, de los no catalogados, 3 están concluidos, 3 en proceso, 6 en trámite y 5 por iniciar. Esta información sugiere que, aunque se han logrado avances en la rehabilitación y conservación de viviendas, es crucial acelerar los procesos pendientes y asegurar la continuidad de los trabajos para fortalecer el repoblamiento y mejorar la calidad del entorno urbano.



Figura 3. Viviendas catalogadas. Fuente: Elaboración propia con datos del SIGCDMX.

**Economía y turismo.**

Entre 2010 y 2020, las unidades económicas en la Ciudad de México crecieron significativamente de 41,509 a 407,141. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 no solo reveló la vulnerabilidad del comercio, sino que también alteró las dinámicas territoriales, destacando la necesidad de políticas públicas que fortalezcan la resiliencia del sector en este nuevo contexto. Los mercados públicos, considerados patrimonio cultural intangible, y los comercios tradicionales requieren un marco institucional adaptado para mejorar su desempeño y asegurar su sostenibilidad. Asimismo, es crucial abordar los desafíos del comercio en vía pública y las nuevas dinámicas territoriales mediante enfoques innovadores de gobernanza y manejo del espacio público.

**Patrimonio.**

La Zona de Monumentos Históricos (ZMH) en la Ciudad de México, compuesta por los perímetros A y B, alberga un patrimonio cultural y arquitectónico vasto y diverso. Incluye 1,652 monumentos históricos reconocidos por el INAH, 1,597 monumentos artísticos identificados por el INBAL y 3,497 inmuebles con valor urbano arquitectónico, según la SEDUVI. Además, hay

dos importantes sitios arqueológicos: el Templo Mayor y Pino Suárez, ambos bajo custodia del INAH. Los 3,497 inmuebles catalogados están distribuidos en diversas categorías: 689 son habitacionales, 2,376 son habitacionales con comercio, 72 están destinados a la educación, 180 a la cultura, 9 a la salud, 35 a la asistencia social, 40 al espacio público, 2 al deporte, 3 a los servicios urbanos, 37 a la administración pública y 14 al comercio. Estos inmuebles y sitios arqueológicos son objeto de intervenciones permanentes para su rehabilitación, pero también enfrentan desafíos como la transformación de espacios habitacionales en bodegas y el uso inadecuado de edificaciones. El rescate y conservación de este patrimonio requiere herramientas de identificación, registro, y difusión, aunque persisten desafíos en la inscripción de inmuebles privados en los registros públicos correspondientes.

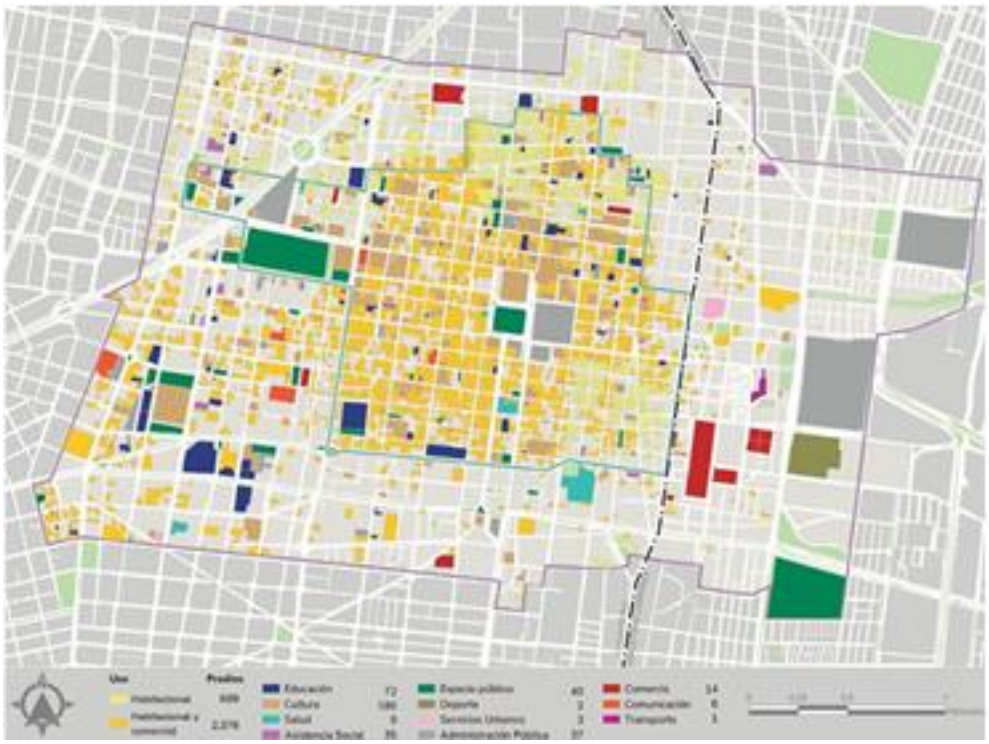


Figura 4. Inmuebles patrimoniales catalogados, según uso de suelo. Fuente: Elaboración propia con datos del SIGCDMX.

**Movilidad.**

El Plan Integral de Manejo del Centro Histórico de la Ciudad de México 2023-2028 incluye estrategias dirigidas a mejorar la movilidad en la zona, con un enfoque en la movilidad activa, segura, y accesible. Entre las acciones propuestas destacan la revitalización de la infraestructura para la movilidad peatonal, priorizando áreas específicas como el nororiente y suroriente del perímetro B, donde se busca implementar calles flexibles y ordenar el comercio en vía pública. Además, se plantea la creación de intersecciones seguras en áreas con alto tráfico vehicular y cercanas a estaciones del Metro y Metrobús.

La infraestructura ciclista es otro eje clave, con propuestas para conectar ciclovías existentes y crear bici estacionamientos en puntos estratégicos. También se busca regular y fortalecer el servicio de ciclotaxis, proponiendo bases en varias zonas del Centro Histórico y estableciendo tarifas en coordinación con las autoridades y cooperativas.

Se reconoce que se han hecho esfuerzos significativos para incrementar la infraestructura ciclista y peatonal en el Centro Histórico, lo cual es crucial para descongestionar el tráfico vehicular y

reducir la contaminación. Sin embargo, es necesario evaluar si estas intervenciones han logrado un impacto real en la mejora de la calidad de vida de los habitantes y visitantes de la zona. La implementación de calles flexibles y la creación de más intersecciones seguras son pasos importantes, pero su éxito dependerá de la correcta coordinación entre las diferentes instancias involucradas y de la participación activa de la comunidad.

En cuanto a la movilidad motorizada, el plan sugiere ordenar el transporte público concesionado y mejorar la circulación de vehículos privados y de carga a través de un anillo vial que canalice el tráfico hacia ejes viales primarios. Además, se propone la expansión de la red de estacionamientos públicos, regulando tarifas y ofreciendo espacios específicos para motocicletas y motonetas.

## 5. RECOMENDACIONES.

Para fortalecer la gestión del patrimonio cultural, es crucial implementar una serie de recomendaciones que aborden tanto la cooperación interinstitucional como el uso de tecnologías avanzadas. En primer lugar, es fundamental homologar los criterios entre instituciones y convenciones internacionales. Esto implica alinear las políticas de conservación con los estándares globales, como los establecidos por la UNESCO y la Carta de Venecia. La adopción de estas normas garantizará una mayor coherencia en las estrategias de preservación y permitirá una protección más efectiva de los sitios patrimoniales.

Además, se propone la realización de un congreso unificado que reúna a instituciones, academia y expertos en patrimonio. Este congreso, de carácter anual, fomentará la colaboración interdisciplinaria, permitiendo que los diferentes actores involucrados en la gestión del patrimonio cultural discutan desafíos comunes y compartan mejores prácticas. La creación de redes de colaboración sólida entre las instituciones y los expertos facilitará la generación de soluciones innovadoras y consensuadas para la preservación del patrimonio.

En tercer lugar, es esencial desarrollar un catálogo unificado de monumentos. Este catálogo consistirá en una base de datos centralizada que registre todos los monumentos históricos, incluyendo información sobre su estado de conservación y su relevancia cultural. La integración de los datos existentes a nivel nacional y local en un sistema de inventario digital permitirá una gestión y monitoreo más eficiente del patrimonio, asegurando que todas las entidades trabajen con información precisa y actualizada.

Otra recomendación clave es el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión del patrimonio. La integración de tecnologías SIG mejorará significativamente la planificación, conservación y gestión de los sitios patrimoniales. Es necesario capacitar a las instituciones en el uso de estas herramientas y desarrollar plataformas que permitan el análisis espacial del patrimonio. Con ello, se optimizará la toma de decisiones basada en datos, mejorando la eficacia de las intervenciones en el patrimonio cultural.

Asimismo, se recomienda realizar un diagnóstico y pronóstico con la integración de SIG. Este enfoque permitirá combinar estudios detallados del estado actual del patrimonio con proyecciones futuras, utilizando herramientas SIG. Implementar metodologías que anticipen los impactos sobre el patrimonio permitirá planificar intervenciones a largo plazo, asegurando la sostenibilidad y resiliencia de los sitios patrimoniales frente a cambios sociales, ambientales y económicos.

Finalmente, es crucial establecer mecanismos para la evaluación constante de los planes y programas relacionados con la gestión del patrimonio. La implementación de revisiones periódicas permitirá ajustar y mejorar las estrategias de conservación, garantizando que las políticas sean efectivas y adaptables a nuevos desafíos y necesidades. Estas recomendaciones,

presentadas como un enfoque integral, buscan asegurar que la gestión del patrimonio cultural sea más coherente, colaborativa y eficiente, garantizando su preservación para las futuras generaciones.

## 6. CONCLUSIÓN.

El Plan de Manejo del Centro Histórico de Ciudad de México ha mostrado avances notables, especialmente en la mejora de la movilidad urbana, facilitando un entorno más accesible y funcional. No obstante, persisten deficiencias importantes en áreas cruciales. La atención a la vivienda ha sido insuficiente, con una falta de interés social evidente, y la catalogación de monumentos históricos ha sido deficitaria, impidiendo una adecuada preservación y protección. Además, el cambio de uso de suelo de muchos monumentos históricos ha llevado a usos que no siempre son los más adecuados para mantener su integridad histórica y cultural.

En términos de movilidad, se ha logrado una mejora significativa, demostrando que el plan ha tenido éxito en esta área. Sin embargo, para una gestión más integral y efectiva del patrimonio histórico, es esencial considerar un enfoque más holístico y basado en datos.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha revelado como una herramienta fundamental en la gestión del patrimonio. La integración de SIG en el análisis y la gestión del Centro Histórico no solo permite un seguimiento más preciso de los cambios y necesidades del área, sino que también facilita una mejor planificación y toma de decisiones basadas en datos concretos. Este enfoque basado en datos es crucial para abordar de manera efectiva las deficiencias en la catalogación de monumentos y el manejo del uso del suelo. La implementación de SIG permite una visión global e integrada del patrimonio histórico, superando la visión fragmentada e individual que limita la eficacia de los esfuerzos de conservación.

El modelo de gestión aplicado en el Centro Histórico, aunque con limitaciones, puede servir como referencia para otras áreas con monumentos históricos, siempre que se realice un diagnóstico y pronóstico adecuados. La integración de SIG debería ser una herramienta central en la gestión del patrimonio, permitiendo un análisis detallado y una gestión más efectiva.

Uno de los mayores desafíos es la homologación de criterios entre instituciones. Esta tarea, aunque difícil, es esencial para preservar la identidad histórica y cultural de las ciudades. La estandarización de criterios y prácticas a través de una plataforma unificada, respaldada por el uso de SIG, facilitaría una conservación más coherente y eficaz del patrimonio histórico. El esfuerzo por alinear estos criterios permitirá una gestión más armoniosa y eficiente, asegurando que el patrimonio histórico se preserve de manera adecuada y se integre eficazmente en el contexto urbano contemporáneo.

## 7. REFERENCIAS.

1. Rodríguez, M. L. (2011). Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales, promulgada el 6 de abril de 1914. Boletín de Monumentos Históricos, 21-27.

2. Díaz Berrio, F. S. (2012). Comentarios a la Carta Internacional de Venecia. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

3. Castillo, R. K. (2023). El patrimonio arquitectónico a partir de la declaratoria de patrimonio mundial. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

4. UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio, cultural y natural. París: UNESCO.

5. Díaz Berrio, S. , & González Pozo, A. (2006). Ciudades históricas en México: rehabilitación y desarrollo. En Planificación territorial y urbana: Investigaciones recientes en México y España (págs. 105-139). Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

6. Łaszkiewicz, E., Nowakowska, A., & Adamus, J. (2022). How Valuable is Architectural Heritage? Evaluating a Monument's Perceived Value With the Use of Spatial Order Concept. Sage Open, 12(4). https://doi.org/10.1177/21582440221142720

7. Autoridad del Centro Histórico de la Ciudad de México. (2022). Plan integral de manejo del Centro Histórico de la Ciudad de México.

8. Morales, J. M. (12 de agosto de 2024). Autoridad del Centro Histórico de la Ciudad de México. Obtenido de https://www.autoridadcentrohistorico.cdmx.gob.mx/dependencia/acercade#:~:text=La%20Autoridad%20del%20Centro%20Histórico.

9. Agencia Digital de Innovación Pública "Sistema Abierto de Información Geográfica (SIGCDMX)" Disponible en: https://sig.cdmx.gob.mx/

**Sobre los autores.**

**Rodrigo Zumaya Tapia.** Ayudante de investigación. Departamento de Teoría y Análisis, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

**José Gabriel Castro Garza**. Profesor investigador. Departamento de Teoría y Análisis, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

**Eduardo Fuentes Fuller.** Profesor investigador. Departamento de Teoría y Análisis, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable
Built Environment and Sustainable Development
MACDES.2024
Séptimo Congreso Internacional

del 25 al 29 de noviembre del 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# REFERENTES DE SUSTENTABILIDAD EN URBANIZACIONES MODERNAS DE LA HABANA

**Alexis Jesús Rouco Méndez[1], Dayra Gelabert Abreu[2], Ruslan Muñoz Hernández[3]**

[1, 2, 3] Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, Avenida 114 N.º 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana

[1]e-mail: ajroucos8@gmail.com, [2]e-mail: dayra@arquitectura.cujae.edu.cu, [3]e-mail: ruslanmunoz@gmail.com

**RESUMEN**

El Movimiento Moderno renovó forma y espacio, basado en la razón y los avances tecnológicos, dándole peso al valor social de la arquitectura y el urbanismo. Su internacionalización condujo a versiones regionales, con aportes particulares válidos. En La Habana, su consolidación coincidió con la expansión acelerada de la urbe en un entramado heterogéneo de parcelaciones residenciales. A la luz de hoy, se detectan modos de actuación que, sin que entonces se conceptualizara sobre la sustentabilidad en el diseño urbano-arquitectónico, que hoy pudieran servir de referentes para la creación de nuevos entornos. La ponencia muestra valores de la modernidad en cuatro urbanizaciones del municipio Cerro, que responden a criterios actuales de sustentabilidad y cuya aplicación resulta posible en el contexto cubano contemporáneo. Se emplearon métodos teóricos y empíricos de investigación, entre los que se destacan el trabajo de campo y la búsqueda de archivo, y los resultados se insertan en una investigación macro sobre la arquitectura moderna habanera.

**PALABRAS CLAVES:**

Movimiento Moderno, sustentabilidad, urbanizaciones, periferia, sur de La Habana.

# SUSTAINABILITY REFERENCES IN MODERN NEIGHBORHOODS OF HAVANA

**ABSTRACT**

The Modern Movement renewed form and space, based on reason and technological advances, giving weight to the social value of architecture and urbanism. Its internationalization led to regional versions with particular and valid contributions. In Havana, its consolidation in Havana, its consolidation coincided with the accelerated expansion of the city in a heterogeneous network of residential plots. In today's light, there are ways of acting that, without conceptualizing sustainability in urban-architectural design at that time, could serve as references for the creation of new environments. The paper shows values of modernity in four urbanizations of the Cerro municipality, which respond to current criteria of sustainability and whose application is possible in the contemporary Cuban context. Theoretical and empirical research methods were used, among which field work and archival research stand out, and the results are inserted in a macro research on Havana's modern architecture.

**KEY WORDS:**

Modern Movement, sustainability, urbanizations, urban periphery, south of Havana.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como término en evolución, el concepto de sustentabilidad sufre transformaciones constantes. Actualmente, uno de los temas relevantes en el debate continúa siendo lo relacionado con sus dimensio-

nes, inicialmente ambiental, social y económica. Aunque es usual encontrar el término asociado al empleo de las energías renovables y el diseño bioclimático [1], la sustentabilidad abarca problemáticas no solo ambientales, sino también económico-tecnológicas y socio-culturales. Pedemonte y Yarke [2] consideran que no existe posibilidad alguna de sustentabilidad en el desarrollo global sin una contribución importante del sector de la construcción y, por otra parte, según Zarta Ávila [3], el término es socialmente aceptado y relacionado con todo lo que perdure en el tiempo.

La sustentabilidad urbana se enfoca en la protección y el aprovechamiento máximo del suelo urbano, el verde urbano, el relieve, la topografía y el agua, y de las materias primas productoras de los materiales de construcción. Varios de estos criterios fueron apoyados desde hace casi cuatro décadas por Bazant [4], en un estudio sobre el diseño urbano en función de la eficiente utilización del suelo. Asimismo, entre las principales tendencias que apuestan por soluciones urbanas más sustentables están el incremento de las densidades para un mejor uso del suelo y las alternativas para reducir los requerimientos de la transportación [3].

La arquitectura sustentable se enfoca en resolver, fundamentalmente, los aspectos vinculados al diseño y la ejecución que permiten proveer una alta calidad de vida para las personas, así como la posibilidad de transformación de las soluciones en el tiempo según necesidades y preferencias [5, 6, 7]. En el diseño sustentable, Kim y Rigdon [8] categorizaron tres puntos centrales: economía de recursos, diseño de ciclo de vida de los materiales y diseño humano. Según Lárraga et al. [9], otros autores se han enfocado en los materiales tradicionales y su relevancia en la cultura y el medioambiente, la arquitectura bioclimática, vernácula o tradicional.

La valoración de la sustentabilidad en lo existente es comúnmente vinculada con su intervención y adaptación a nuevas necesidades, y se manejan criterios que, por lo general, dirigen el enfoque hacia la búsqueda de métodos y estrategias para la conservación y el reúso de edificaciones antiguas, monumentos y sitios con valor histórico [10]. Durante mucho tiempo, la conservación en el mundo centró su interés solo en lo antiguo. Las posiciones teóricas actuales valoran positivamente el pasado de todas las épocas y consideran valioso lo excepcional y lo representativo con significado cultural, donde incluyen la considerada en algún momento como «arquitectura menor» [11]. Reconocer el impacto de las arquitecturas anónimas debe ser parte de las radicales modificaciones en los procedimientos de desarrollo a que aspira la sustentabilidad [12].

En este sentido, el patrimonio modesto o común, entendido como el conjunto de inmuebles que conforman el paisaje cotidiano de las ciudades [13], aún en uso, no ha sido lo suficientemente estudiado, a pesar de tener mayor presencia cuantitativa y geográfica, y constituir el componente predominante en la conformación de las ciudades actuales. Estudios recientes se han enfocado en el análisis de los aspectos vinculados a la sustentabilidad existentes en la arquitectura tradicional en algunas ciudades [9, 14, 15], lo que pone de manifiesto su valor en este campo y la importancia que ha ido adquiriendo como elemento de identidad y cohesión social. Actualmente, los cambios de paradigma en la valoración del patrimonio se vinculan a la consideración de que la sociedad debe desarrollarse en los sistemas ecológico, económico y social con un enfoque holístico, los que son tomados en consideración por el patrimonio modesto, compuesto por edificaciones vinculadas a la función de habitar y que, silenciosamente, hacen la ciudad. La valoración ecológica o ambiental no se limita a las características geográficas y climáticas: incluye el paisaje, la vegetación, la selección de los materiales, el desempeño de las envolventes y los sistemas constructivos con el menor impacto al entorno y a la salud humana, así como las relaciones a escala urbana y micro-urbana. Según Casal [16], entender la dimensión social de la arquitectura del Movimiento Moderno (MoMo) ofrece mejores herramientas para intervenir proyectualmente sus inmuebles, y abre caminos creativos y respetuosos de su origen, para su puesta en valor.

En este sentido, Guillén Gutiérrez [14] considera que el patrimonio construido anónimo y modesto aporta al término su adaptación a las condiciones del lugar y del clima, y el aprovechamiento de recursos, materiales y tradiciones locales, aspectos integrados desde el diseño de las obras. A la luz de hoy, esta arquitectura ha aplicado criterios sustentables, como la continuidad en el uso de diversos materiales locales y del conocimiento arquitectónico y constructivo anterior, los saberes transmitidos entre genera-

ciones y que son componentes del patrimonio cultural; la adaptación de los costos de construcción al contexto económico local; y la diversidad de soluciones que satisfacen las necesidades de vivienda [9]. Casal [17] coincide al considerar que las obras modestas representan arquitecturas cuyo valor está basado en la eficiente respuesta a las necesidades funcionales, ambientales, tecnológicas, constructivas y de significación de sus usuarios, en función de los recursos contextuales.

El hábitat disperso puede ser considerado hoy una práctica no sustentable por el uso extensivo del terreno, el mayor consumo energético derivado de la segregación de usos y los desplazamientos, y la similitud de las ordenaciones residenciales en diferentes geografías sin atender al clima, la idiosincrasia y la identidad local [18]. Sin embargo, autores como Torrent [18] identifican en la arquitectura moderna códigos que apuntan a la sustentabilidad y reconocen que muchos de sus valores originales se mantienen vigentes. La arquitectura del siglo XX ha sido testimonio de los cambios de la sociedad y ha tenido la capacidad de respuesta a tales cambios; es un patrimonio amplio, diverso y en uso, que debe ser conservado por sus dimensiones cultural, tecnológica y social, además de ser manifiesto de una condición de vida. La sustentabilidad es dar "continuidad a la existencia del patrimonio", ya sea ejerciendo su práctica, conservando o adecuando su propia materialidad [19, p. 13].

El MoMo lleva la sustentabilidad en su origen, al tomar recursos disponibles para generar los edificios en el momento y tiempo requeridos. En este sentido, Fuentes Freixanet [19], considera aportes los criterios bioclimáticos y sustentables de la arquitectura moderna, y base de la arquitectura bioclimática debido a su aplicación no solamente empírica sino más analítica.

La arquitectura cubana del MoMo es amplia y diversa. En La Habana tuvo un peso importante en la consolidación de la mancha urbana durante el siglo XX, periodo en el que experimentó un crecimiento extensivo de urbanizaciones, mayormente económicas y de clase media [20]. Publicaciones previas [21, 22], han precisado sus aportes en varios campos, pero con un enfoque hacia las obras representativas, generalmente construidas para la élite, restando visibilidad a los atributos de valor existentes, en relación con la sustentabilidad, en las urbanizaciones más modestas.

Partiendo de estas reflexiones, y tomando como referencia el texto "El Movimiento Moderno: sus valores como referentes para una arquitectura sustentable", previamente citado [23], cuyo objeto de estudio son los edificios de apartamentos de la ciudad de Camagüey, si se tiene en cuenta la relativa juventud de la aplicación intencionada de los criterios de sustentabilidad en la arquitectura, vale la pena preguntarse ¿qué se puede aprender del patrimonio residencial moderno cubano, desde el punto de vista de la sustentabilidad?

Cabe destacar que la presente ponencia se inserta en una investigación de mayor alcance de los autores, actualmente en desarrollo, sobre el patrimonio urbano arquitectónico del Movimiento Moderno y su impacto en el crecimiento de La Habana entre 1940 y 1960. En este período, numerosas urbanizaciones fueron concebidas en las áreas suburbanas de La Habana, contribuyendo al crecimiento y consolidación de la trama urbana de la ciudad y a la conformación de sus límites actuales [20]. Convertidas en polígonos experimentales del MoMo, estas parcelaciones constituyen un valioso repertorio de tendencias y soluciones urbano-arquitectónicas, con gradaciones dentro del estándar medio y particularidades territoriales. Sin embargo, su carácter modesto y menos elitista y su lejanía de las áreas centrales, ha limitado su visibilidad y han permanecido al margen de estudios especializados [24]. Esta investigación tuvo un resultado parcial sobre la producción urbano-arquitectónica del municipio Cerro [25], del que en este artículo se propone realizar una mirada de análisis desde la óptica de la sustentabilidad.

## 2. MÉTODOS

Para este análisis se tomó como punto de partida la investigación "El legado urbano-arquitectónico residencial del Movimiento Moderno en el municipio Cerro" [25], en la que se tomaron como casos de estudios la arquitectura y el urbanismo de cuatro repartos modernos del actual municipio Cerro: Parcelación Buenos Aires, Residencial Casino Deportivo, Alturas de Palatino y Santa Catalina, representativos de las urbanizaciones del MoMo habanero. Se seleccionó el Cerro por contener urbanizaciones construidas en varios momentos en el marco temporal definido, diferentes gradaciones dentro del estándar medio y diversas cualidades urbano-arquitectónicas. (Fig. 1) (Tabla 1)

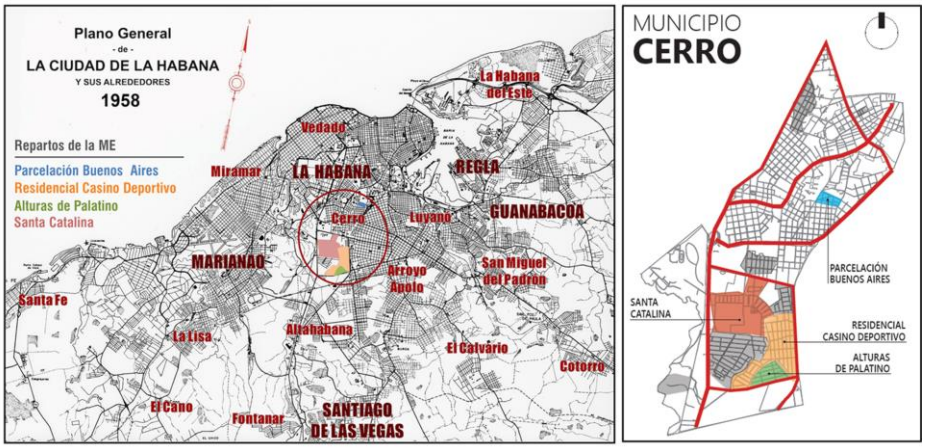



Figura 1: Emplazamiento de las urbanizaciones seleccionadas en La Habana de 1958 y el municipio Cerro

Tabla 1: Cualidades generales de las urbanizaciones de la muestra de estudio.

| Urbanización | Año de aprobación | Área (ha) | Estándar | Trazado | Manzanas típicas | Tipología edilicia predominante |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Parcelación Buenos Aires | 1950 | 5,21 | Económico | Irregular | Semi cuadradas | Viviendas aisladas<br>Edificios de apartamentos<br>Edificios mixtos |
| Residencial Casino Deportivo | 1953 | 47,56 | Económico | Regular | Rectangulares | Viviendas aisladas<br>Edificios de apartamentos<br>Edificios mixtos |
| Alturas de Palatino | 1956 | 13,58 | Medio | Regular | Rectangulares | Viviendas aisladas<br>Edificios de apartamentos |
| Santa Catalina | 1957 | 27,61 | Medio-alto | Mixto | Rectangulares y quebradas | Viviendas aisladas |

Adicionalmente, los proyectos en estas urbanizaciones fueron firmados por arquitectos de diversas generaciones, reconocidos en el contexto profesional o docente, con vasta obra en el mercado inmobiliario, o con trayectoria notable y premiada. Entre los más destacados se encuentran Emilio del Junco, Mario Romañach, Manuel Gutiérrez, Enrique Gutiérrez, Raúl Álvarez, Joaquín Weiss y Henry Griffin. Asimismo, gran cantidad de jóvenes graduados experimentaron aquí con sus primeras obras, luego de trabajar y adquirir experiencia en reconocidos estudios de arquitectura como asalariados.

Se parte de los resultados de una investigación teórica [24], que define los elementos de significación para evaluar las soluciones urbano-arquitectónicas, y su análisis se enfoca con la mirada de la sustentabilidad. En este sentido, se precisó que para evaluar su potencial sustentable es determinante considerar aspectos concebidos desde el diseño arquitectónico, en coincidencia con Carelli Cerdá y Salinas [25], y para ello se analizan las soluciones contextuales, formales, funcionales, espacio-ambientales y técnico-constructivas. Asimismo, para evaluar el potencial sustentable de la forma urbana, los estudios de Zumelzu y Espinoza [18] recomiendan asumir los criterios de: escala (forma urbana a través de manzanas y lotes), accesibilidad y conectividad (recorridos caminables, contacto entre personas y recursos) y diversidad (de uso de suelo y tipología de viviendas), los que en el presente resultado se han agrupado como aspectos generales relacionados con la forma urbana.

Como resultado del análisis documental teórico de esta etapa se asumen como elementos de influencia en la evaluación de la sustentabilidad urbano-arquitectónica en la muestra de estudio los siguientes, de lo general a lo particular: aspectos relacionados con la forma urbana, infraestructura y equipamiento de servicios; ocupación del suelo y preservación del ambiente natural; reducción del consumo de energía; habitabilidad y calidad de vida (vistas desde las cualidades espaciales y dimensionales, y la vida útil de la vivienda), y aprovechamiento adecuado de saberes, materiales y técnicas constructivas.

La segunda fase de la investigación se ha basado fundamentalmente en la consulta e interpretación, a partir del análisis histórico y documental, de fuentes primarias de información, utilizando métodos de la investigación empírica cuantitativa y cualitativa. Al no existir publicaciones o estudios precedentes que aborden el tema en el área de estudio, fue necesaria una profunda y rigurosa búsqueda y revisión en diferentes archivos de la ciudad[1]. De la muestra intencional compuesta por las cuatro urbanizaciones se logró acceder a 1068 proyectos (4 urbanos y 1064 arquitectónicos). Un posterior y amplio trabajo de campo, permitió realizar registros fotográficos, completar y precisar datos, y constatar la calidad de diseño urbano-arquitectónico de la muestra seleccionada. En la tercera etapa se analizó la muestra seleccionada en función de las variables de estudio definidas en el marco teórico, cuyos principales resultados se muestran a continuación.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la década de 1940, como parte de los planes estatales de obras públicas, se establecieron regulaciones para las nuevas urbanizaciones residenciales a construir en el perímetro de la ciudad, que exigían el cumplimiento de determinados requisitos en relación con el emplazamiento, la vialidad, la infraestructura y los servicios, el equipamiento y la cantidad y dimensión de los lotes [26]. La estandarización de la lotificación atrajo inicialmente a empresas promotoras de viviendas seriadas, y las urbanizaciones periféricas rápidamente se convirtieron en puntos dinamizadores urbanos y de atracción para inversionistas y propietarios [28, 29]. Si bien sus grados de urbanización y ocupación difieren, la forma, las dimensiones y la disposición de sus lotes en las manzanas adoptaron como premisa garantizar las condiciones de habitabilidad, privacidad y confort ambiental. Es así que en estas urbanizaciones predominó la construcción de viviendas aisladas de hasta dos niveles y de edificios de apartamentos de hasta cuatro plantas, con cualidades formales, funcionales, constructivas y ambientales que sintetizan los códigos desarrollados por la arquitectura residencial del MoMo cubano [24].

Este patrimonio se caracteriza por una doble dimensión. En la físico-arquitectónica, es posible reconocer su valor desde aspectos urbanos (trazado, amanzanamiento y lotificación, ambiente natural y relación contextual) y arquitectónicos (tipologías, morfologías, relación tipicidad-singularidad y particularidad de soluciones a las necesidades humanas). En la socio-cultural, responden a la calidad de vida y al ambiente social de un periodo histórico determinado. Gracias a su adaptabilidad, aún se conserva gran parte de este patrimonio y sus valores son reconocidos por sus residentes[2]. La relación entre los factores sociales y culturales ha permitido, además, definir atributos identitarios asociados al patrimonio intangible local y desarrollar el sentido de pertenencia al lugar. Puede incorporarse la dimensión económica, si se tiene en cuenta que fue una obra construida según los intereses de los futuros moradores, sus necesidades y expectativas, y sus recursos disponibles, lo que complementa la concepción integral y sustentable de las soluciones.

### Aspectos generales relacionados con la forma urbana

Según Bazant [4], el valor del terreno obliga a la búsqueda de soluciones eficientes en el uso de suelo y que reduzcan el exceso de vialidad, mientras que el trazado urbano debe enfocarse considerando las redes de servicio y el dimensionamiento del loteo. Varios autores citados por Zumelzu y Espinoza [15], consideran que las manzanas más pequeñas y la frecuencia de cruces generalmente proporcionan mejor interacción entre las personas de una misma clase social; sin embargo, también consideran que las manzanas entre 60 y 100 m son engranadas y muy convenientes para peatones, no así las mayores. Aunque Bazant [4], recomienda lotes ortogonales, cuyos lados tengan una proporción entre 1-1 y 1-5, in-

[1] Archivo Nacional de Cuba (ANC), Archivo de la Dirección Provincial de Planificación Física de La Habana (DPPFH), Archivo del Arquitecto de la Comunidad del Municipio Cerro, y documentos privados de propietarios.

[2] Si bien no se ha contabilizado en encuestas, se aprecia un consenso cualitativo entre los residentes, en estudios previos realizados entre 2017 y 2021, en 15 urbanizaciones de la ciudad por el autor principal de este trabajo, que han derivado en resultados de investigaciones precedentes relacionadas con el tema objeto de estudio.

dica que los rectangulares con menos frente de calle son mejores en el aprovechamiento de la red de servicios. Asimismo, sugiere que el diseño de la lotificación debe ofrecer condiciones similares de acceso, orientación y pendientes a todos los lotes.

En tres de las urbanizaciones estudiadas, la forma de las manzanas es básicamente rectangular y de dimensiones variables, con predominio de longitudes de 70-150 m y anchos de 50-70 m (distancia que posibilita dos lotes con frentes hacia calles opuestas), lo que contribuye a balancear su relación proporcional. En los casos de manzanas con longitudes mayores, estas se flexionan e incorporan circulaciones peatonales intermedias, recurso que contribuye a propiciar y generar un frente con mejor relación con la calle. Solo Parcelación Buenos Aires, surgido como zona de costura entre repartos antiguos a cuyos trazados debió adaptarse, posee retícula semicuadrada; sin embargo, sus manzanas rondan los 70 m de lado. Los trazados son articulados y en estrecha relación con las parcelaciones colindantes, y en su diseño se tuvo en cuenta, al menos, un mínimo ordenamiento funcional de suelo. Sus estructuras ofrecen sentido y orientación, y accesibilidad y conectividad con las urbanizaciones colindantes. Por su poca extensión (entre 500 y 1000 lotes), sus recorridos interiores tienden a ser cortos y fácilmente caminables. En el loteo, se buscaba la mayor cantidad de parcelas con dimensiones y emplazamiento similares (homogeneidad y uniformidad), con una proporción de frente-profundidad de 1-1,5 y 1-3, con su lado menor de 10-15 m hacia la calle. (Fig. 2)

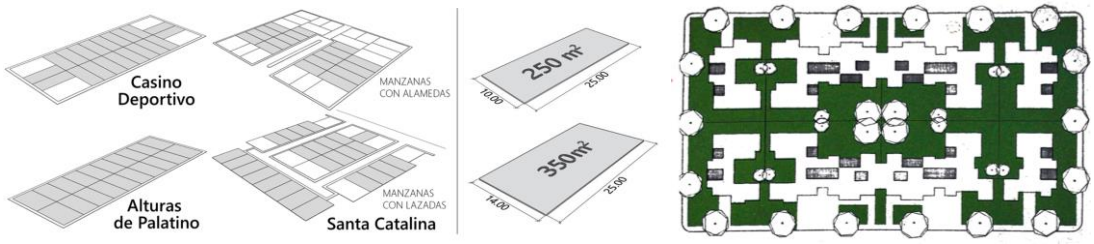



Figura 2: Manzanas (izquierda) y lotes (centro) regulares de los repartos seleccionados. Ocupación del suelo en una manzana de Santa Catalina (derecha)

En relación con el uso de suelo y tipología de viviendas, aunque la gestión en la ocupación fue privada e individual, finalmente en estas urbanizaciones se observa diversidad y equilibrio en las tipologías, aspecto que solo varía con el estándar. En la mayoría predomina la vivienda aislada, pero en la trama se insertaron edificios de apartamentos y mixtos de baja altura, que contribuyen con el equilibrio visual del contexto, aprovechan más el suelo y aumentan la densidad).

**Infraestructura y equipamiento de servicios**

Las urbanizaciones estudiadas se fomentaron en torno a ejes industriales y de servicios públicos ya consolidados. Asimismo, se adosaron a importantes vías salientes o circundantes de la ciudad, como las avenidas Vía Blanca y Rancho Boyeros, y las calzadas de Vento, Santa Catalina y Camagüey, lo que llevó al perfeccionamiento de la estructura vial y al relleno y ocupación paulatina de los espacios entre vías. A partir del desarrollo del transporte público y del auge del uso del automóvil, estas vías facilitaron la rápida conexión entre el área recién urbanizada y el centro de la ciudad, factor presente en la propaganda de la época para estimular la compra de parcelas en estas urbanizaciones.

Se garantizaba la infraestructura y el equipamiento necesarios mediante la existencia de alumbrado público, eficientes sistemas de alcantarillado y suministro de agua, y red telefónica directa. Por otro lado, y en relación con la dotación de servicios públicos, cada nueva urbanización contaba con el suyo a diferentes escalas, que le permitía cierta independencia de la ciudad. Santa Catalina, por su mayor estándar, se concibió con zonificación integral. Incluyó el emplazamiento de zonas comerciales, deportivas, industriales, e instalaciones y servicios comunales, en correspondencia con el área residencial al que tributaban. La distribución de plazas, parques y áreas verdes seguían normas de planificación, entre ellas, reparto equitativo en las zonas vecinales, facilidad de acceso desde los distintos lotes y un mínimo de cruce de calles.

En el resto se reservaban manzanas completas o grupos de lotes de dimensiones generosas, en áreas centrales o con frente a vías importantes, para servicios públicos. Los parques y áreas verdes se disponían ocupando manzanas completas y bordes, aprovechando cualidades naturales, ambientales y paisajísticas. El completamiento funcional a menor escala era posteriormente asumido por la iniciativa privada, con servicios básicos como pequeños comercios, farmacias y peluquerías, situados en pequeños lotes de esquina o en plantas bajas de edificios multifamiliares. En 1959, estas urbanizaciones se encontraban ocupadas solo parcialmente. Por tanto, la disponibilidad de terrenos permitió la incorporación de nuevas funciones de carácter social, en correspondencia con el incipiente proceso revolucionario, tales como escuelas, guarderías, hogares maternos y consultorios médicos, diversificando así el uso del suelo y potenciando las relaciones sociales.

**Ocupación del suelo y preservación del ambiente natural**

Desde su origen, estas urbanizaciones se integraron de manera coherente con la naturaleza por su ubicación y topografía, pues ocuparon terrenos generalmente vírgenes e inexplorados. La modificación mínima posible del entorno natural, su vinculación con la arquitectura y el respeto de accidentes naturales y vegetación, constituyeron la base de sus ordenamientos urbanos.

Si bien es posible considerar que la morfología semicompacta generaba un coeficiente de ocupación del suelo (COS) no muy alto, las soluciones volumétrico-espaciales de las edificaciones sí aprovechaban al máximo el suelo como recurso urbano no renovable. Las condicionales de fabricación exigían dimensiones mínimas para franjas de jardín y pasillos perimetrales, que garantizaban al menos un 33 % de superficie descubierta por parcela. Con el fin de respetar el ambiente natural, en las edificaciones situadas en pendientes, los desniveles eran aprovechados para estacionamientos vehiculares, garajes, locales de servicio o jardines en terrazas. En Santa Catalina, el diseño del trazado vial y la geometría y disposición de las manzanas, asumió la topografía del lugar. Se llamó a sus avenidas principales: de la Ceiba, de los Ocujes y del Palmar, en referencia a sus especies de árboles; mientras que los patios traseros de las viviendas modelo constituían un bloque verde único en el interior de la manzana que aprovechaba la vegetación existente. La integración entre naturaleza y arquitectura respondió a códigos aplicados por el MoMo cubano en el diseño paisajístico. En patios y jardines se hizo una precisa selección de plantas, según características físico-morfológicas (forma, altura y dimensión), ambientales (tipo de suelo, humedad, condiciones de iluminación y tolerancia al viento) y socio-culturales (aspectos formales de la planta, floración, fructificación y utilidad).

**Reducción del consumo de energía**

La consideración de las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del entorno en que se construyeron las edificaciones, fueron aspectos esenciales para obtener el máximo rendimiento con el menor impacto. En el diseño se observan soluciones frecuentes de protección de la envolvente, como aleros (que protegen parte de los muros del sol directo), celosías y entramados de madera o barro (que absorben calor), y cierres permeables (que facilitan la circulación del aire y la entrada de luz), que contribuyen a reducir el consumo de energía en refrigeración, iluminación y otros equipamientos.

El porciento de espacio libre y verde exterior del lote, ocupado por jardines, pasillos perimetrales y patios, contribuye significativamente en la regulación climática de las viviendas, al reducir el incremento en la temperatura interior. Los patios interiores funcionan como elementos termorreguladores de los espacios circundantes, generan zonas de luz y de sombra, y refrescan el aire que pasa por ellos antes de entrar a los locales. Además del portal tradicional situado al frente, otros espacios abiertos y techados, como terrazas, porches, balcones y estacionamientos vehiculares, poseen contacto directo con el exterior y, climáticamente, funcionan como umbrales de protección y sombrean las fachadas. Los puntales más elevados, en las soluciones con cubiertas a desniveles, inclinadas, plegadas o curvas, alejan de los usuarios las zonas de mayor temperatura e irradiación térmica.

Se emplearon materiales de construcción considerados sustentables (como la madera y mampostería de ladrillos), que acumulan calor en su masa térmica y mantienen frescos los interiores en horario nocturno.

El uso recurrente de persianas de madera, con características y emplazamientos diversos en fachadas e interiores, contribuye a tamizar los rayos solares, controlar la incidencia de luz y regular la entrada del viento. Un elemento de particular interés lo constituye el empleo de losas de barro en las cubiertas, como versión moderna de las tejas criollas utilizadas como material aislante en la arquitectura colonial cubana, absorben calor y refrescan techos y espacios interiores. (Fig. 3)



Figura 3. Soluciones de diseño que favorecen el confort ambiental: aleros, persianas de madera y patios interiores con vegetación en Santa Catalina

La ventilación resulta favorecida por la ubicación disgregada de los edificios en las manzanas y su asociación a través de pasillos de separación de 2-3 m, posibilitando la formación de canales de viento que redistribuyen el paso multidireccional de las brisas. Las viviendas volumétricamente articuladas e irregulares poseen más paredes expuestas al exterior, con aberturas para entrada y salida de aire que favorecen una ventilación cruzada. En las viviendas compactas, los locales poseen al menos una pared con abertura en contacto con el exterior, y la edificación no sobrepasa las dos crujías de ancho, por lo que el recorrido interior del viento es más corto y enfrenta menos obstáculos. En los espacios interiores, la ventilación cruzada se logra con la ubicación de muros calados o bajos, y ventanas de persianas fijas o regulables, que permiten el paso del aire de una fachada a otra. Los paños de carpintería en los muros perimetrales son, generalmente, más amplios y permeables. En las edificaciones con más de una planta, el aire circula en sentido vertical a través del hueco de las escaleras, por lo que puede afirmarse que estas viviendas fueron concebidas como cajas atravesables por los vientos, sin precisar del uso de equipos de climatización.

La iluminación natural se logra en mayor medida con el uso de patios interiores, paños de vidrio en fachadas protegidas o en zonas de tránsito (escaleras y galerías interiores), lucetas en porciones de muro en sombra (por aleros u otros elementos) o sobre mesetas de cocina, y tragaluces en lugares de servicio. La forma geométrica de los esquemas funcionales hace que a todos los locales llegue la luz natural, incluso hasta áreas de servicio y circulación. Esta solución favorece el confort visual y reduce la necesidad de iluminación artificial durante el día, con el consecuente ahorro de energía.

**Habitabilidad y calidad de vida**

Mientras que, a escala urbana, la arquitectura residencial cubana adoptó el patrón de hábitat disperso proveniente de los Estados Unidos, a escala arquitectónica manejó premisas conceptuales similares a Latinoamérica y el Caribe, entre ellas: la apropiación de la tradición, la adaptación al contexto natural, la respuesta a los requerimientos climáticos, la continuidad espacial, la relación interior-exterior, el aumento del área de aberturas, el uso de transparencias, y el aprovechamiento de las cualidades expresivas de materiales y terminaciones, aspectos relacionados directamente con el estilo de vida promovido en la época: casa propia, independiente y aislada, abierta al exterior pero privada. Por otro lado, internacionalmente, desde 1939 se apostaba por la construcción seriada y la incorporación de recursos técnicos para lograr viviendas económicas, pero con calidad [28].

Las regulaciones generales para lograr uniformidad a escala urbana no impidieron que las soluciones arquitectónicas en estas urbanizaciones fueran particulares para cada emplazamiento. Los proyectos contenían variaciones en el tipo de carpintería y su ubicación en las fachadas, y los modelos seriados se

reflejaban o modificaban para adaptarlos a las condiciones del contexto, soluciones específicas que responden a la sustentabilidad. Aunque la tipificación abusiva es contraria a la sustentabilidad, resulta necesario aclarar que las viviendas seriadas que se produjeron no tuvieron implicaciones urbanas negativas y su inserción en los contextos respondió a requerimientos ambientales.

En relación con la economía, se adoptó un enfoque integral que difiere de la visión limitada que poseen la mayoría de los planes habitacionales actuales en Cuba, cuya concepción de vivienda económica se asocia con menor área y calidad, por lo que distan de satisfacer la demanda y las necesidades de la población cubana.

Resulta positivo que las viviendas de las urbanizaciones estudiadas mantengan aún su uso original, con algunas variaciones. De hecho, en el actual mercado inmobiliario informal tienen un peso relevante las construcciones anteriores a 1959, las que son consideradas de mayor valor [29], entre otras causas, por sus cualidades espaciales, ambientales y constructivas, su durabilidad y fácil adaptación a los diferentes procesos de vida de la familia cubana durante los años de ocupación. Las viviendas en estudio contienen locales especializados, de servicio y para almacenamiento, como estudios y áreas para coser, planchar y lavar, esta última asociada a patios; y poseen espacios libres, protegidos y privados, como áreas de descanso, para juegos infantiles y estacionamiento vehicular. El dimensionamiento espacial permite el desarrollo adecuado de actividades familiares y personales sin interferencias, así como la incorporación de equipamiento y mobiliario para ello.

Un factor importante relacionado con la perdurabilidad de las viviendas modernas consiste en su flexibilidad a cualquier cambio o ampliación. Según Nicolás Quintana [30], su arquitectura se basa en lo humano y es consciente de su mutabilidad, lo que facilita las alteraciones a lo largo de la vida del edificio. Sus cualidades dimensionales, ambientales y de privacidad, entre otros aspectos, convierten actualmente estas viviendas en referencia para las personas que aspiran a un modelo de hábitat que dejó de gestarse de manera masiva desde hace 60 años. De igual modo, el estudio realizado en 1960 por Eugenio Batista [31], reeditado cuatro décadas después, sobre la casa cubana y la contribución de las 3P (patio, portal y persiana) al logro de un ambiente interior térmicamente confortable es, a la luz de hoy, un llamado a la esencia de la sustentabilidad.

El área útil de la mayoría de las viviendas estudiadas es mayor de 85 $m^2$ y se asentaron en parcelas de 250 $m^2$ o mayores, cifras tomadas en la época como raseros para considerarse económica [26]. Sus espacios interiores superan en área a sus similares según lo requerido por las normas cubanas actuales[3]. El amanzanamiento rectangular ofrecía uniformidad en el dimensionamiento de los lotes y la posibilitad de que todas las viviendas tuvieran frente a la calle. Desde el punto de vista de la infraestructura, las parcelaciones fueron ocupadas con el trazado vial ya construido, y con las redes de alumbrado público, acueducto y drenaje pluvial en funcionamiento, mientras que sus lotes fueron vendidos con entronque fecal a la red general y acometidas de agua y electricidad.

**Aprovechamiento adecuado de saberes, materiales y técnicas constructivas**

Un porciento notable de los proyectistas de las obras tenía oficinas cerca o dentro de las urbanizaciones [24], lo que avala su conocimiento de los contextos. La mayoría de las viviendas fue promovida y ejecutada por empresas constructoras en un escenario nacional que asimilaba las nuevas tecnologías como búsqueda expresiva, y las unificaban a la experiencia heredada en la ejecución, con materiales y técnicas de construcción tradicionales. Un factor importante en el logro de un resultado positivo, incluso en función de la expresión, lo constituía el oficio de sus constructores y la alta calidad de los materiales de fábrica empleados en estructura y terminaciones, la mayoría de producción nacional. Muchos arquitectos tenían sus propios equipos de control y ejecución de las obras, y los proyectos se concebían teniendo en cuenta el surtido disponible en el mercado nacional[4].

[3] Se refiere a las normas cubanas que regulan los requisitos a cumplir por las edificaciones de viviendas urbanas (NC 1055-2) y de mediano y alto estándar (NC 1055-4), ambas emitidas por la Oficina Nacional de Normalización de Cuba en 2014.

[4] La revista Arquitectura, del Colegio Nacional de Arquitectos de Cuba, promocionaba en sus páginas marcas, productores y fábricas de materiales de construcción, y como garantía de su calidad se citaban las obras en las cuales habían sido utilizados.

## 4. CONCLUSIONES

La discusión teórica y narrativas sobre el tema tratado se ha fortalecido con el paso del tiempo, dirigiendo sus enfoques con mayor precisión y carácter desde lo transversal y multidisciplinar. Los aspectos abordados para los análisis del objeto de estudio están basados, precisamente, en miradas holísticas, necesarias para tratar los impactos y trascendencias desde el punto de vista ambiental y patrimonial del legado construido. Si bien estas realizaciones poseen medio siglo, con parámetros muy distantes y coherentes con la ideología predominante de su época, es cierto que, a la luz de hoy, contienen soluciones que responden a criterios de sustentabilidad.

Para el entendimiento y actuación sobre el urbanismo y la arquitectura actual, transmiten lecciones, como su escala menuda, coherente y cohesionadora de la trama urbana, que supo concebir diversidad de usos de suelo para complementar los hábitats residenciales. Sus sistemas de interacciones y relaciones permiten dibujar isócronas caminables, y hacen de estas urbanizaciones áreas íntimas y ambientalmente humanas, a lo que se suman otros atributos de carácter más sociológico, antropológico y cultural que marcan y definen su espíritu como barrios. Desde la escala arquitectónica, la diversidad de expresiones y formas arquitectónicas también resultan claves para un diseño urbano enriquecedor; así como sus recursos para la protección solar, el logro de confort térmico y el aprovechamiento de la luz natural, el dimensionamiento espacial y los aspectos relacionados con la forma urbana.

Los principales desafíos que enfrenta este patrimonio son la capacidad de resistir y asimilar nuevos usos, sin que suponga la pérdida de atributos de valor, algo complejo pero posible. Se debe insistir en el reconocimiento y divulgación de estas obras, así como fortalecer más los mecanismos de control urbano que les otorguen mayor protección. La amplitud del enfoque de lo valioso ayuda a entender cómo repensar la conservación y puesta en valor de las obras. El rico legado contemporáneo que aún posee La Habana, así como sus paisajes residenciales, deben y merecen ser conservados para próximas generaciones. En esa dirección ha sido la postura de esta contribución.

## REFERENCIAS

1. GONZÁLEZ COURET, Dania. “Sobre los métodos de evaluación de la sustentabilidad”. *Arquitectura y Urbanismo*, 2018, vol. 39, núm. 1, pp. 88-98. Disponible en Web: https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/445.

2. PEDEMONTE, Graciela; y YARKE, Eduardo. *El paraguas de la sustentabilidad en arquitectura* [en línea]. Buenos Aires: Revista Vivienda SRL, 2009. [ref. de 20 de julio 2023]. https://www.revistavivienda.com.ar/destacadas/el-paraguas-de-la-sustentabilidad-en-arquitectura.

3. ZARTA ÁVILA, Plinio. “La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad”. Tabula Rasa, núm. 28, pp. 409-423. Disponible en Web: https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18.

4. BAZANT, Jan. Manual de criterios de diseño urbano. 2.ª ed. México, D. F.: Editorial Trillas, 1983. 340 pp. ISBN 968-24-1695-7.

5. CALVENTE, Arturo M. *El concepto moderno de sustentabilidad. Socioecología y desarrollo sustentable*. UAIS Sustentabilidad, Universidad Abierta Interamericana, Centro de Altos Estudios Globales, 2007. Ref. UAIS-SDS-100-002. Disponible en Web: http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS.SDS-100-002%20-%20Sustentabilidad.pdf.

6. MONTANER, Josep María; MUXÍ, Zaida; y FALAGÁN, David H. *Herramientas para habitar el presente. La vivienda del siglo XXI*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya-Fundació Politècnica de Catalunya, 2011. 209 pp. ISBN 978-84-614-7504-9.

7. GELABERT ABREU, Dayra. *Vivienda Progresiva. Como solución alternativa para la ciudad de La Habana*. Barcelona: Universidad Internacional de Andalucía, 2014.

8. KIM, Jong-Jin; y RIGDON, Brenda. *Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design*. Ann Arbor (Michigan, USA): National Pollution Prevention Center for Higher Education, 1998. 28 pp.

9. LÁRRAGA LARA, Rigoberto; AGUILAR ROBLEDO, Miguel; REYES HERNÁNDEZ, Humberto; y FORTANELLI MARTÍNEZ, Javier. "La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo". *Revista de Arquitectura*, 2014, vol. 16, pp. 126-133. Disponible en Web: http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2014.16.14.

10. ALFONSO GONZÁLEZ, Alfonso. *Conservación del patrimonio cultural inmueble. Temas introductorios*. La Habana: UH-Félix Varela, 2012. 235 pp. ISBN 978-959-0719455.

11. RIGOL, Isabel; y ROJAS, Ángela. Conservación patrimonial: teoría y crítica. 1ª reimp. La Habana: Editorial UH, 2014. 575 pp. ISBN 978-959-7211-23-5.

12. HAUGHTON, Graham; y HUNTER, Colin. *Sustainable Cities*. London: Jessica Kingsley Publishers/Regional Studies Assciation, 2004. 368 pp. ISBN 978-1134996063.

13. SÁNCHEZ, Lorena María; y CACOPARDO, Fernando. "Preservación del patrimonio modesto. Indagaciones sociomateriales en la ciudad de Tandil, Argentina". *Arquitectura y Urbanismo*, 2013, vol. 34, núm. 3, pp. 5-18. Disponible en Web: https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/259.

14. GUILLÉN GUTIÉRREZ, Guido. "Sustentabilidad y patrimonio edificado modesto: aportes a la habitabilidad y eficiencia energética en la conservación y revitalización del hábitat urbano". En actas de XXXII Jornadas de Investigación y XIV Encuentro Regional SI+CAMPOS, (979-990). Universidad de Buenos Aires, 2018. Disponible en Web: https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/591.

15. ZUMELZU, Antonio; y ESPINOZA, Daniel. "Elaboración de una metodología para evaluar sostenibilidad en barrios de ciudades intermedias en Chile". *Revista 180*, 2019, núm. 44, pp. 80-94. Disponible en Web: http://dx.doi.org/10.32995/rev180.num-44.(2019).art-474.

16. CASAL, Stela María. "El patrimonio arquitectónico y la sustentabilidad". *Perspectivas*, 2018, vol. 1, núm. 1, pp. 63-73. Disponible en Web: https://revistas.ub.edu.ar/index.php/perspectivas/article/download/8/7/.

17. HIGUERAS GARCÍA, Ester. *Desarrollo urbano sostenible y criterios de diseño urbano para ordenaciones residenciales*. Madrid: DAPP, publicaciones jurídicas, 2009. 11 pp. Disponible en Web: https://oa.upm.es/16624/1/desarrollo_urbano_sost.pdf.

18. TORRENT, Horacio. "Patrimonio moderno y sustentabilidad". En: TORRENT, Horacio; BARRÍA, Tirza; ZUMELZU, Antonio; VÁSQUEZ, Virginia; e IHLE, Carolina; editores: *Patrimonio moderno y sustentabilidad: de la ciudad al territorio* (pp. 10-14). Valdivia: América Impresores, 2018. ISBN 978-956-398-242-8.

19. FUENTES FREIXANET, Víctor. "Criterios bioclimáticos y sustentables en la arquitectura moderna". En: PADILLA GALICIA, Sergio; y FUENTES FREIXANET, Víctor; editores. *Hábitat sustentable III* (pp. 175-197). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 2019. ISBN 978-607-28-1753-1. Disponible en Web: http://hdl.handle.net/11191/6928.

20. MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan; y ROUCO MÉNDEZ, Alexis Jesús. "La periferia habanera 1940-1960: una mirada a su retícula urbana". *Arquitectura y Urbanismo*, 2019, vol. 40, núm. 3, pp. 5-20. Disponible en Web: http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/558/526.

21. RODRÍGUEZ, Eduardo Luis. *The Havana Guide. Modern Architecture, 1925-1965*. New York: Princeton Architectural Press, 2000. 263 pp. ISBN 978-1568982106.

22. RODRÍGUEZ, Eduardo Luis. Editor. *La arquitectura del Movimiento Moderno. Selección de obras del Registro Nacional*. La Habana: Ediciones Unión, 2011. 248 pp. ISBN 978-959-209-998-2.

23. FALLS VALDIVIESO, Dianelis; GONZÁLEZ COURET, Dania; y CHAOS YERAS, Mabel Teresa. "El Movimiento Moderno: sus valores como referentes para una arquitectura sustentable". En actas de Quinto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable, 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Cujae, La Habana, 2018.

24. ROUCO MÉNDEZ, Alexis Jesús. "El legado urbano-arquitectónico residencial del Movimiento Moderno en el municipio Cerro". Directora: Mabel Rosa Matamoros Tuma. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, 2020.

25. CARELLI CERDÁ, Julián A.; y SALINAS, Jorge. "El diseño arquitectónico sustentable, las técnicas constructivas y la innovación tecnológica". *Arquitecno*, 2018, núm. 12, pp. 8-18. Disponible en Web: http://dx.doi.org/10.30972/arq.0124172.

26. VALLADARES, Ángel Luis. *Urbanismo y construcción*. 2.ª ed. La Habana: P. Fernández y Cía, 1954. 680 pp.

27. MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan; ROUCO MËNDEZ, Alexis Jesús; y RODRÍGUEZ XENES, José Javier. "La vivienda seriada promovida por el periódico El País en La Habana (1939-1959)". *Biblio3W*, 2019, vol. 24, núm. 1.270, 29 p. Disponible en Web: http://revistes.ub.edu/index.php/b3w/article/view/27846.

28. ROUCO MÉNDEZ, Alexis Jesús; y MUÑOZ HERNÁNDEZ, Ruslan. "Expansión urbana de La Habana: El Cerro 1925–1960". *International Journal of Cuban Studies*, 2022, vol. 14, núm. 1, pp. 63-91. Disponible en Web: https://www.jstor.org/stable/48675900.

29. MATAMOROS TUMA, Mabel Rosa; y MATAMOROS TUMA, Amarilis. "La transformación del patrimonio doméstico de La Habana. Reflexiones desde una perspectiva socio-cultural". *Arquitectura y Urbanismo*, 2021, vol. 42, núm. 1, pp. 46-62. Disponible en Web: https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/651.

30. QUINTANA, Nicolás. "Arquitectura cubana… una búsqueda de la verdad". *Arquitectura Cuba*, 1959, vol. 27, núm. 310, pp. 166-173.

31. BATISTA, Eugenio. "La casa cubana". *Arquitectura y Urbanismo*, 2001, vol. 22, núm. 3, pp. 68-71.

**sobre los autores**

**Alexis Jesús Rouco Méndez.** Arquitecto. Máster en Vivienda Social. Profesor Auxiliar de Diseño, Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae (Cuba). Miembro de: grupos de investigación Diseño y Conservación y Estudios del Patrimonio; Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); y Do.Co.Mo.Mo-Cuba.

**Dayra Gelabert Abreu.** Arquitecta. Doctora en Ciencias y Máster en Vivienda Social. Profesora Auxiliar de Diseño, Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae (Cuba). Miembro de: grupos de investigación LeMAC, Diseño. y Conservación y Estudios del Patrimonio; Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); Academia de Ciencias de Cuba (ACC); y Do.Co.Mo.Mo-Cuba.

**Ruslan Muñoz Hernández.** Arquitecto. Doctor en Ciencias y Máster en Vivienda Social. Profesor Auxiliar de Teoría e Historia de la Arquitectura y el Urbanismo, Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae (Cuba). Miembro de: grupo de investigación Conservación y Estudios del Patrimonio; Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); Do.Co.Mo.Mo-Cuba, y colaborador de Icomos-Cuba.

# COMPARACIÓN DE SECCIONES DE VÍA URBANA EN DOS CIUDADES LATINOAMERICANAS A TRAVÉS DE ESQUEMAS CROMÁTICOS PARA CONOCER LA COTIDIANIDAD ASOCIADA A LA TEMPORALIDAD

**Grezzia de los Milagros Rengifo-Velarde[1], Ader Augusto García-Cardona[2], Elisabeth Herreño-Tellez[3]**

[1]Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín, Colombia; [2]Profesor, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín, Colombia; [3]Profesora, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Carrera 56C N° 51-110, Medellín, Colombia

1e-mail: grengifov@unal.edu.co

**RESUMEN**

Color es un componente fundamental en la vida, cada cultura tiene interpretaciones cromáticas de sus entornos habitables, esta condición ha sido poco estudiada en entornos arquitectónicos y urbanos en latitudes cercanas a la línea del Ecuador. Esta investigación de tipo cualitativa y comparativa tiene por objeto identificar variables cromáticas y compositivas de dos secciones de vía en ciudades latinoamericanas ubicadas en Medellín, Colombia y Trujillo, Perú, para relacionar esas características con factores de habitabilidad y bienestar humano.
A partir de la cotidianidad temporal de mañana, mediodía y tarde, mediante el uso de fotografías pixeladas que fueron utilizadas para encuestar a expertos sobre características compositivas y cromáticas y su asociación con ideas de cotidianidad urbana. De las fotografías tomadas en tres momentos del día: amanecer, mediodía y atardecer, se extrajeron esquemas cromáticos para identificar las paletas de colores de las ciudades y se aplicó la encuesta al panel de expertos residentes en estas ciudades para analizar su relación. La relevancia del estudio radica en comprender cómo se perciben los espacios estudiados desde las variables compositivas: simetría, proporción, contraste, profundidad, saturación. Los resultados revelaron que los expertos calificaron de manera diferente Medellín y Trujillo, diferenciando entre el mediodía, mañana y tarde, en cambio, el 57% evaluó similar los horarios de mañana-tarde. En Medellín se distingue más la saturación, proporción y profundidad, en contraparte, Trujillo identifica contraste, simetría y saturación. El 64% calificó a Medellín como fría, a Trujillo la evaluaron más cálida que fría. En conclusión, el conjunto de variables compositivas de Medellín y Trujillo son percibidas diferente y al comparar el análisis de la composición cromática de ambas ciudades con la rueda de color se distinguen como cálidas.

**PALABRAS CLAVES:** Percepción, variables compositivas y cromáticas, calles latinoamericanas, temporalidad

# COMPARISON OF URBAN STREET SECTIONS IN TWO LATIN AMERICAN CITIES THROUGH CHROMATIC SCHEMES TO UNDERSTAND EVERYDAY LIFE ASSOCIATED WITH TEMPORALITY

**ABSTRACT**

Color is a fundamental component of life, with each culture having its own interpretations of the colors in their living environments. This aspect has been little studied in architectural and urban environments near the equator. This qualitative and comparative research aims to identify chromatic and compositional variables in two road sections in Latin American cities, located in Medellín, Colombia, and Trujillo, Peru, to relate these characteristics to factors of livability and human well-being.
Using temporal everyday moments—morning, noon, and afternoon—and pixelated photographs, experts were surveyed about compositional and chromatic characteristics and their association with ideas of urban everyday life. From photographs taken at three times of the day—dawn, noon, and dusk—chromatic schemes were extracted to identify the color palettes of the cities, and a survey was conducted with expert residents of these cities to analyze their relationship.

The relevance of the study lies in understanding how the spaces are perceived based on compositional variables: symmetry, proportion, contrast, depth, and saturation. The results revealed that experts rated Medellín and Trujillo differently, distinguishing between noon, morning, and afternoon, while 57% rated morning-afternoon similarly. In Medellín, saturation, proportion, and depth stood out, whereas Trujillo was identified with contrast, symmetry, and saturation. Additionally, 64% described Medellín as cold, while Trujillo was perceived as warmer than cold. In conclusion, the set of compositional variables in Medellín and Trujillo are perceived differently, and when comparing the chromatic composition of both cities with the color wheel, they are distinguished as warm.

**KEY WORDS:** Perception, color, compositional and chromatic variables, Latin American streets, temporality

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la vertiente moderna arquitectónica en el siglo XX solo se admitían los colores propios de los materiales, sin embargo, gracias a la arquitectura popular que se mantuvo vivo el uso del color en las fachadas de las casas. (1). Con el cambio de siglo y milenio, el color adquiere peso en la constructiva del siglo XXI pasando de ser mera comparsa a un elemento protagonista (2). Con el paso de los años la experiencia urbana se va transformando según la ciudad en la que el ser humano habite. Como Rodriguez (3) afirma que "*el color se manifiesta como un elemento conector, el cual muchas veces acontece de manera desapercibida en la conciencia pública, sin embargo, va formando un aspecto clave (...), de identidad y en la última instancia, de emociones que desencadenan estados subjetivos*." Convergiendo en un mismo espacio arquitectura, ciudad, identidad y humanidad. Dentro de este contexto se desarrolla el concepto de color urbano, definido por Odetti como "*una policromía arquitectónica que determina significativamente la naturaleza estática o dinámica del ambiente de la ciudad."* (4). Las ciudades además de poseer al color urbano como agente protagónico también poseen color físico y color percibido, para Delgado, el primero se obtiene de la observación directa, escaneo cromático, etnografía visual, registro fotográfico y pixelación; mientras que el segundo, depende de la observación, entrevistas en distintos contextos, agentes y grupos. (5). Otros autores también utilizan el término atmósfera cromática para hacer referencia al conjunto de elementos ambientales y de naturaleza que coexisten en las ciudades, tales como: impacto de la luz solar según la latitud, transparencia de bóveda celeste, color del cielo, matices de las montañas, presencia o ausencia de vegetación, fenómenos climáticos, etc. Odetti explora desde la perspectiva interpretativa los significados de los sujetos de investigación, a través de entrevistas complejas, encuestas cualitativas, observación directa, toma de fotografías, escaneo cromático, etnografía visual, análisis de color y registro cromático. (4) Rodriguez realiza un examen meticuloso del espacio, registra fotográficamente, pixela imágenes y desarrolla una paleta de colores. (6) En estas formas de desarrollar los estudios se soporta la metodología planteada por esta investigación.

## 2. MARCO TEÓRICO

El presente artículo analiza dos ciudades con características geo-topográficas y climáticas distintas: Medellín, Colombia y Trujillo, Perú. Medellín está situado en el Valle de Aburrá, a una latitud de 6.22 N y una longitud de 75.61 O, su altitud media es de 1495 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), su clima es tropical, templado y húmedo, con una temperatura promedio de 22° C. En contraste con la ciudad de Trujillo que se encuentra ubicado en la costa peruana, con una latitud de 8.09 S y longitud -79.04 O y posee una altitud media de 34 m.s.n.m, su clima es templado, desértico y oceánico, con una temperatura promedio de 26° C. Estas diferencias proporcionan un contexto significativo para el análisis comparativo desarrollado, pudiendo influir en los resultados de la investigación.



Figura 1: Aspectos comparativos desde vista de observador y mapa de ubicación; Medellín, Colombia y Trujillo, Perú.

**Antropología urbana – imaginario urbano**

Para Krier *"la arquitectura de la comunidad trata de algo fundamental: de restablecer nuestras propias formas y técnicas tradicionales de edificación y de asentamiento, enfocadas a establecer una firme relación entre la forma del paisaje y la forma urbana, y que representan no meramente la historia y el pasado, sino una experiencia verificada irrenunciable"*. (7). Los seres humanos habitamos las ciudades, nos desarrollamos en entornos físicos, y la materia también habita en nosotros, en el imaginario individual y colectivo. Por esto la presente investigación se desarrolla en dos secciones de vía urbanas típicas de ambas ciudades, se inclina hacia los barrios y la cotidianidad asociada. Se genera así lo que en la psique se conoce como imaginabilidad, en el libro The Image of the city de Lynch, se describe como la cualidad de lo que se observa, con su forma y color que facilita la elaboración de imágenes mentales del medio físico que son vívidamente identificadas. (8) El análisis de los imaginarios urbanos son la respuesta a la urgencia de develar como los habitantes perciben, reproducen, habitan y recrean la ciudad en la que viven. (9) Se liga a la investigación desarrollada ya que se rescatan elementos compositivos que conforman la cotidianidad visual y hacen parte de los imaginarios urbanos de las personas por medios en los que se desarrollan, tales como: simetría, proporción, contraste, profundidad y saturación.

**Geografía humana**

Como Delgado señala, la vinculación entre la morfología y el paisaje urbano como un reflejo de cultura, economía y funciones urbanas, se continúa trabajando sobre la interpretación de los cambios estructurales y morfológicos en nuevas áreas de interés como las suburbanas y periurbanas. (10) La investigación reposa en los barrios latinoamericanos siendo evaluados y calificados por agentes externos, preparados en la materia, quienes brindan respuestas cartográficas externas y poseen un nivel de percepción cualificada; sin embargo, esta también se encuentra delimitada por su imaginario. La evaluación de las paletas de colores, esquemas cromáticos y cotidianidad asociada a las variables arquitectónicas han sido revisadas por expertos en el ámbito de la arquitectura y de la bioclimática, divididos en rangos etarios, sexo y lugar de residencia. Siendo esta última categorización importante para diferenciar cómo es el tipo de evaluación prestada para quienes residen en Medellín sobre la ciudad donde viven y la otredad (Trujillo) y viceversa.

**Percepción cromática**

*La arquitectura ha aceptado su rol dentro del lenguaje simbólico, razón por la que podemos analizar significados de determinada arquitectura popular, ligándola a los aspectos socioculturales de un pueblo. El uso del color, o más bien la ausencia de este, es fundamental en la comprensión de la arquitectura y sus espacios.* (11) La presente investigación se centra en el planteamiento de la relación perceptiva entre el color y los elementos compositivos que conforman los espacios exteriores en dos hechos urbanos distintos en América Latina. Teniendo en cuenta que *vivimos una experiencia cromática matizada por las características de nuestro propio entorno, y las posibilidades cromáticas que nos ofrecen los materiales que la constituyen.* (12) Las variables compositivas que se rescataron dentro de la arquitectura que condensa la ciudad son: simetría, contraste, profundidad, saturación y proporción, son contestadas por expertos que buscan entender las secciones de vía desde su cromaticidad. Se construyeron paletas con los colores nacidos de la vida cotidiana en términos de temporalidad: amanecer, mediodía, atardecer; con el propósito de entender cómo los diferentes momentos del día influyen en la percepción del entorno urbano, como Delgado afirma que *la percepción del color, al igual que las demás percepciones de los sentidos siempre tendrán*

*una característica de valoración subjetiva e intangible, y es justamente en donde se presenta el rango de resultados de análisis, según sea la diversidad de valoración personal* (5).

## 3. METODOLOGÍA

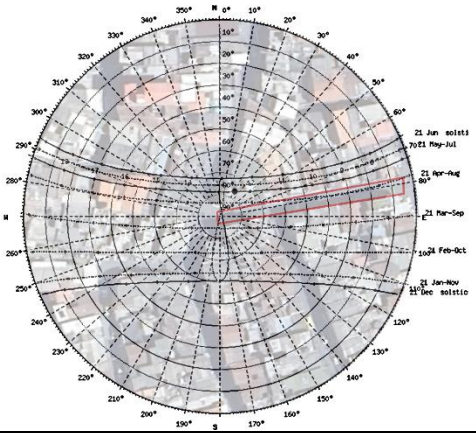
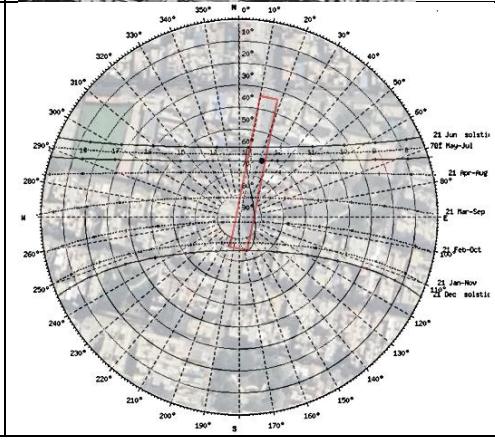
La presente investigación es de tipo cualitativo analítico-comparativo, en la que se explora, observa y busca conocer las percepciones cromáticas de expertos y la relación asociada con variables compositivas: simetría, proporción, contraste, profundidad y saturación en dos secciones de vía ubicadas en las ciudades de Medellín y Trujillo, desde la cotidianidad temporal de la mañana, mediodía y tarde. Los instrumentos y herramientas elegidos son la observación, el registro fotográfico, los análisis de color, la pixelación de imágenes y una encuesta aplicada a un panel de expertos. Se eligió por conveniencia la fecha: 8 de mayo del 2024, para llevar a cabo el registro fotográfico en ambas ciudades de forma simultánea, siguiendo las siguientes fases:

**Fase uno:**

Definición de lugares de estudio: La selección de las vías corresponde a variables que permiten la comparación por contraste, una de las ciudades está ubicada en zona montañosa en una altitud promedio de 1435 msnm y la otra a 34 msnm; en términos climáticos, una es tropical húmeda y la otra seca cercana al mar; la orientación es opuesta, una vía en dirección este - oeste y la otra norte – sur; en la ciudad de Medellín la zona no tuvo planeamiento urbano y su crecimiento fue espontáneo, mientras que, en Trujillo hubo planificación por loteo; las viviendas ubicadas en las secciones de vía coinciden en que las viviendas son de carácter autoconstruido.

En las imágenes se presenta la ubicación y las cartas solares comparativas. (Ver tabla 1).

Tabla 1: Ubicación de secciones de vía y cartas solares comparativas de Medellín, Colombia y Trujillo, Perú.

| Belén, Buena Vista, Medellín, Colombia – Calle 19 A | San Isidro, Trujillo, Perú – Calle Oro |
|---|---|
|  |  |
|  |  |

**Fase dos:**

División de cotidianidad: Se identificaron tres momentos en el día de la vida cotidiana para determinar los momentos de tomas fotografías en las calles de las dos ciudades. (Ver tabla 2).

Tabla 2: División de cotidianidad.

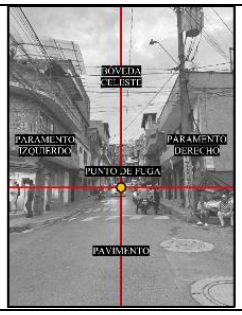
| | | |
|---|---|---|
| MAÑANA | HORARIO (AM) | 6:00, 6:15, 6:30, 6:45, 7:00 |
| | COTIDIANIDAD | INICIO DEL DÍA |
| | | SALIDA DE CASA |
| MEDIODÍA | HORARIO (PM) | 12:00, 12:15, 12:30, 12:45, 13:00 |
| | COTIDIANIDAD | MITAD DEL DÍA |
| | | MOMENTO DE ALMUERZO |
| TARDE | HORARIO (PM) | 18:00, 18:15, 18:30, 18:45, 19:00 |
| | COTIDIANIDAD | FINAL DE JORNADA LABORAL |
| | | RETORNO AL HOGAR |

Definición de tiempo: Las fotografías se tomaron en 15 minutos, durante una hora, con la finalidad de recolectar 5 fotografías por cada rango horario.

Composición fotográfica: Para la toma de fotografías se determinaron unos parámetros de emplazamiento, altura, disposición, inclinación, composición y proporcionalidad. (Ver tabla 3).

Tabla 3: Composición fotográfica.

| | |
|---|---|
| EMPLAZAMIENTO | EJE CENTRAL DE VÍA |
| ALTURA | 1.40 M |
| DISPOSICIÓN | MÓVIL EN MODO VERTICAL |
| INCLINACIÓN | 5° HACIA EL FRENTE |
| COMPOSICIÓN | A UN PUNTO DE FUGA |
| PROPORCIONALIDAD | BÓVEDA CELESTE, PARAMENTOS DE VÍA, PAVIMENTO |
| FINALIDAD | BALANCEAR LOS ELEMENTOS REALES EN LA CAPTURA FOTOGRÁFICA |




Tras la toma de fotografías en simultáneo en ambas ciudades, se registran los datos climáticos del día, con la finalidad de tener datos para contrastar ambas ciudades. (Ver tabla 4).

Tabla 4: Factores climáticos.

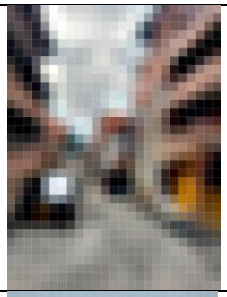
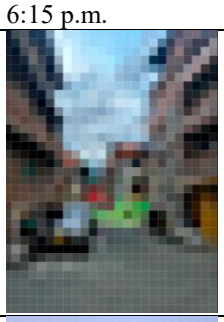
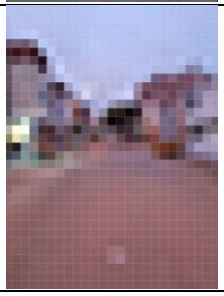
| Hora | Variables Ambientales | Medellín | Trujillo |
|---|---|---|---|
| **6:30 a. m.** | Temperatura | 17° | 17° |
| | Sensación Térmica | 17° | 17° |
| | Precipitación | 0 MM | 48 MM |
| | Humedad | 93% | 88% |
| | Viento | 8 KM/H | 4 KM/H |
| **12:30 p. m.** | Temperatura | 19° | 24° |
| | Sensación Térmica | 21° | 25° |
| | Precipitación | 0 MM | 44 MM |
| | Humedad | 86% | 69% |
| | Viento | 18 KM/H | 3/12 KM/H |
| **6:15 p. m.** | Temperatura | 21° | 20° |
| | Sensación Térmica | 24° | 20° |
| | Precipitación | 0 MM | 40 MM |
| | Humedad | 76% | 82% |
| | Viento | 11 KM/H | 2/6 KM/H |

Parámetros de selección: Se tomaron 5 fotografías en cada rango horario, a los extremos de la vía, teniendo 10 imágenes de la calle en total. Debido a la topografía accidentada de la ciudad de Medellín se escogieron las fotografías capturadas en el punto más alto de la pendiente. Las 3 fotos correspondientes a las siguientes horas: 6:30 am, 12:30 pm y 6:15 pm. En el caso de la ciudad de Trujillo es característicamente plana, por lo que el criterio de selección de las 3 fotografías se tuvo en cuenta bóveda celeste y el contraste del pavimento. En los mismos horarios de la otra ciudad.

**Fase tres:**

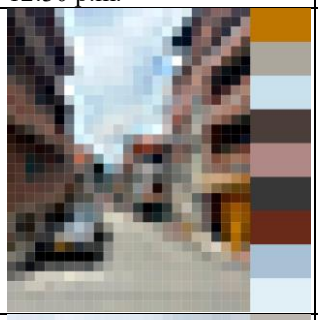
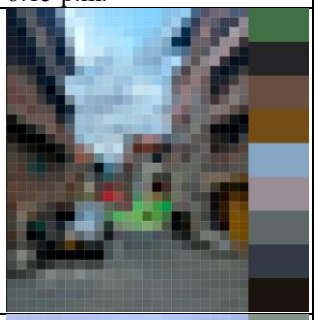
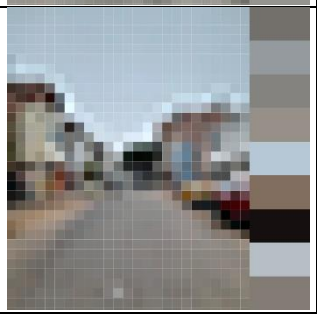
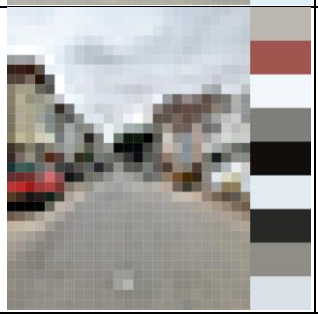
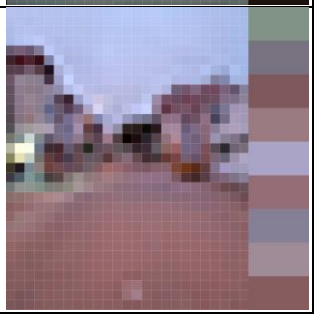
Se utiliza el programa *adobe Photoshop,* para pixelar las fotografías a 20 pixeles y de este modo obtener los esquemas cromáticos en los tres horarios establecidos en la investigación. (Ver tabla 5).

Tabla 5: Esquemas cromáticos de Medellín, Colombia y Trujillo, Perú.

| Ciudad/Hora | 6:30 a.m. | 12:30 p.m. | 6:15 p.m. |
|---|---|---|---|
| Medellín |  |  |  |
| Trujillo |  |  |  |

**Fase cuatro:**
Se procesaron las imágenes en la aplicación de software disponible en la página: https://coolors.co/75b9be-463f3a-f7e8a4-ff57bb-c17c74, allí se obtuvieron las paletas de color arrojadas de las dos ciudades.

Tabla 6: Paletas cromáticas de esquemas cromáticos de Medellín, Colombia y Trujillo, Perú.

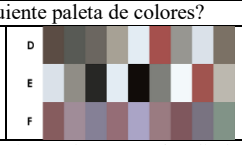
| Ciudad/Hora | 6:30 a.m. | 12:30 p.m. | 6:15 p.m. |
|---|---|---|---|
| Medellín |  |  |  |
| Trujillo |  |  |  |

**Fase cinco:**

Utilizando los esquemas cromáticos arrojados, las paletas de color y las variables compositivas arquitectónicas seleccionadas, se construyó una encuesta para expertos en el área de la bioclimática y el urbanismo con la finalidad de obtener la percepción cualificada debido a su formación y objetividad para discernir variables compositivas en esquemas cromáticos que permitan asociación de los colores a la morfología urbana en secciones de vía típicas de ambas ciudades.
La encuesta se organizó bajo tres categorías que permiten conocer la percepción del grupo de expertos, en el siguiente orden:

Cromatismo y cotidianidad: En la que se busca la asociación en relación con el momento del día de las paletas de colores de las dos ciudades. (Ver tabla 7).

Tabla 7: Cromatismo y cotidianidad.

| ¿A qué momento del día asocia la siguiente paleta de colores? | Alternativas |
|---|---|
|     | Mediodía<br>Atardecer<br>Amanecer |
| ¿Cuál de las dos paletas mostradas asocia con la mañana/mediodía/tarde? | Alternativas |
|   | 1<br>2 |

Arquitectura: En este apartado de la encuesta se buscaba la interpretación en relación con la composición de la imagen. (Ver tabla 8).

Tabla 8: Arquitectura.

| | | |
|---|---|---|
|   | Del esquema cromático presentado, para usted, ¿posee simetría? Entendiendo simetría como semejanza y reciprocidad de las partes con el todo (Ching, 1979). | Escala de Likert<br>1 – MUY ASIMÉTRICO<br>5 – MUY SIMÉTRICO |
| | ¿posee proporción? Entendiendo proporción como la relación de correspondencia armoniosa de las partes que conforman una composición. (Ching, 1979). | Escala de Likert<br>1 – MUY DESPROPORCIONADO<br>5 - MUY PROPORCIONADO |
| | ¿posee contraste?, entendiendo contraste como la existencia de tonalidades que resaltan. (RAE). | Escala de Likert<br>1 – BAJO CONTRASTE<br>5 – ALTO CONTRASTE |
| | ¿posee profundidad?, entendiendo profundidad como dimensión y espacio en la composición (Scott, 1970). | Escala de Likert<br>1 – BAJA PROFUNDIDAD<br>5 – ALTA PROFUNDIDAD |
| | ¿posee saturación?, entendiendo saturación como la intensidad del color (Scott, 1970). | Escala de Likert<br>1 – BAJA SATURACIÓN<br>5 – ALTA SATURACIÓN |

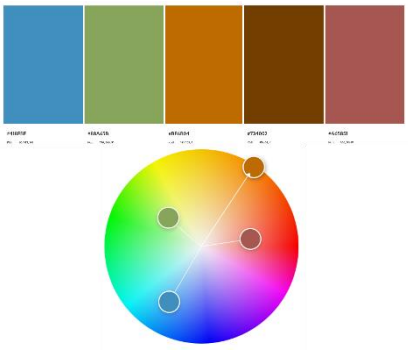
Percepción: El apartado de percepción busca las sensaciones asociadas a la interpretación por los esquemas cromáticos de las dos ciudades. (Ver tabla 9).

Tabla 9: Percepción.

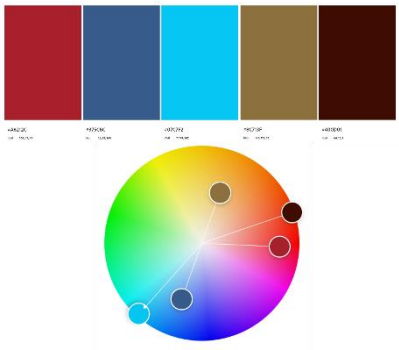
| ¿Cómo encuentra el esquema cromático? | Alternativas |
|---|---|
|  | Frío<br>Cálido |
| De la imagen anterior, ¿qué sensación le evoca? | Alternativas<br>Calma<br>Inquietud |

**Fase seis:**

Usando la aplicación online de la casa Adobe https://color.adobe.com/ se generaron dos ruedas cromáticas que condensan el análisis de color de cada ciudad estudiada.



PALETA DE COLORES Y RUEDA CROMÁTICA MEDELLÍN, COLOMBIA



PALETA DE COLORES Y RUEDA CROMÁTICA TRUJILLO, PERÚ

Figura 2: Paleta de colores y rueda cromática de Medellín, Colombia y Trujillo, Perú.

**RESULTADOS**

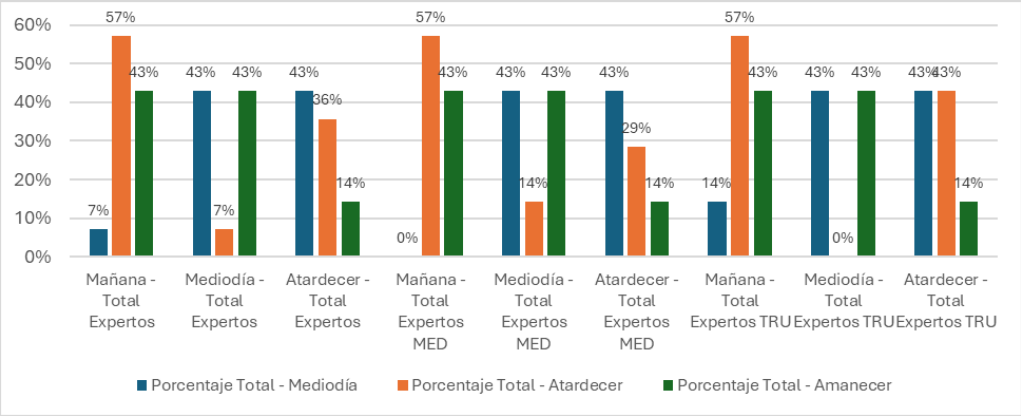



Figura 3: Gráfico de barras para la ciudad de Medellín, Colombia.

- Los expertos de Medellín calificando su propia ciudad obtuvieron resultados donde el 57% asoció los colores del tardecer con el fenómeno de la salida del sol, en el caso de los colores correspondientes al amanecer y mediodía el 43% lo asocian con las 12:30 pm y 43% asoció a los colores del mediodía con el fenómeno de la puesta del sol.
- Los expertos pertenecientes a Trujillo calificando a la ciudad de Medellín, obtuvieron resultados en los que el 57% confundió los colores del atardecer con el fenómeno del amanecer, el 43% asoció los colores del mediodía y amanecer con el fenómeno de la mitad del día y el 43% relacionó los colores del mediodía y atardecer con el fenómeno de la puesta del sol, dejando al 14% eligieron la paleta de color correspondiente al amanecer.
- Para la ciudad de Medellín, los expertos nativos y extranjeros coincidieron en la asociación de la paleta A, que corresponde a los colores del atardecer, con el fenómeno de la salida del sol. Para el momento del día a las 12:30 pm, los expertos nativos y extranjeros coincidieron en el empate de elección a las paletas del mediodía y amanecer. Los expertos nativos al calificar el fenómeno de la puesta del sol asociaron la paleta del mediodía; mientras que los extranjeros escogieron, en un empate porcentual, a las paletas del mediodía y atardecer.
- La evaluación prestada por los expertos se demuestra que los colores pertenecientes a la salida del sol se asocian al atardecer y los colores pertenecientes al atardecer con los del mediodía.

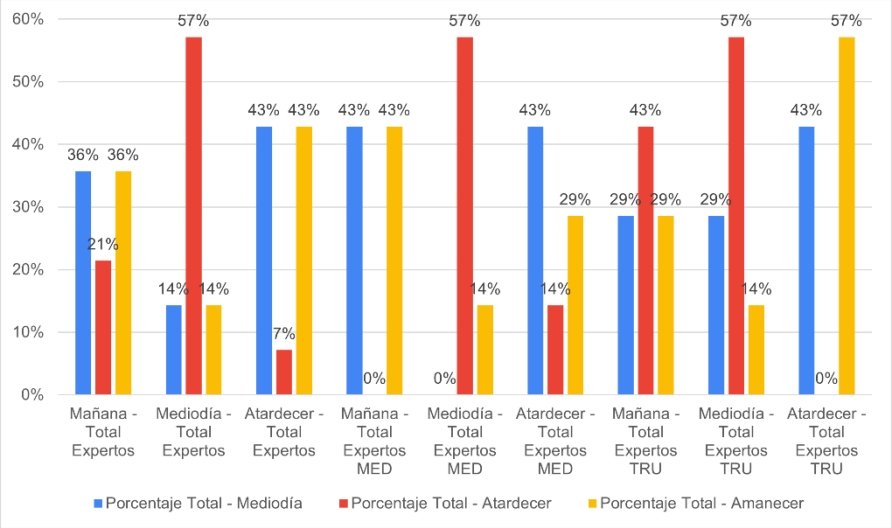



Figura 4: Gráfico de barras para la ciudad de Trujillo, Perú.

- Los expertos de Medellín calificando la ciudad extranjera de Trujillo obtuvieron los resultados que el 43% de los expertos asoció los colores del mediodía y amanecer con el fenómeno de la salida del sol, el 57% de los expertos calificó a los colores del atardecer con el momento del día a las 12:30 pm y el 43% asoció los colores del mediodía con el fenómeno de la puesta del sol.
- Los expertos nativos de Trujillo calificando su propia ciudad obtuvieron los resultados donde el 43% asoció los colores del atardecer con el fenómeno correspondiente a la salida del sol, el 57% asoció los colores del atardecer con el momento del día asociado a las 12:30 pm y el 57.14% calificó a los colores correspondientes con el amanecer al fenómeno de la puesta del sol.
- Para la ciudad de Trujillo, los expertos extranjeros calificaron las paletas de colores respectivas a mediodía y amanecer con el fenómeno de la salida del sol, a contraposición de los nativos quienes lo calificaron con el color del atardecer. Para el momento del día a las 12:30 pm, los expertos nativos y extranjeros coincidieron en la asociación de la paleta de colores relativas al atardecer. Para el fenómeno de la puesta del sol, los expertos nativos confundieron la paleta de colores relacionada al amanecer, en contraposición de los extranjeros que eligieron la paleta del medio día.
- La evaluación prestada por los expertos se demuestra que los colores pertenecientes a la salida y puesta del sol se asocian al mediodía y al medio día con el atardecer.

**Variables compositivas ligadas a la cotidianidad de la temporalidad**

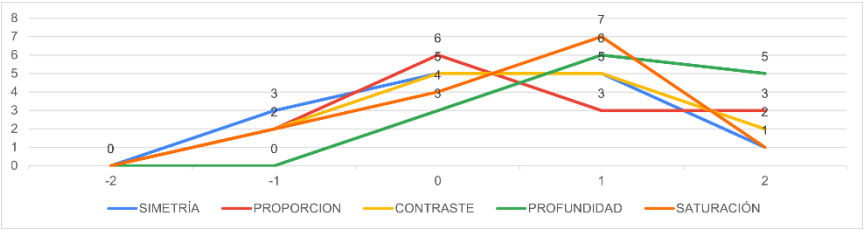



Figura 5: Grafico lineal de escala Likert de la ciudad de Medellín, Colombia.

Los expertos tienden a valorar a la ciudad de Medellín en números positivos dentro de la escala de Likert a las variables compositivas de simetría, proporción, contraste, profundidad y saturación. Demostrando que hay mayor unanimidad al evaluar dicha ciudad.

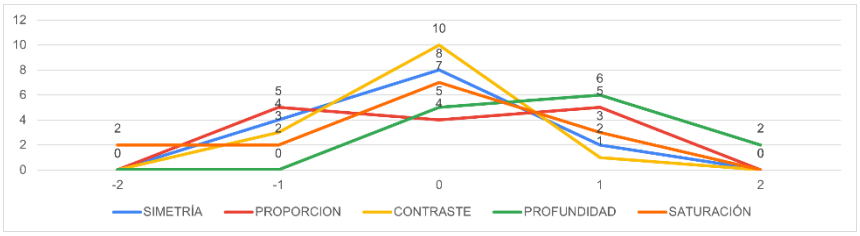



Figura 6: Grafico lineal de escala Likert de la ciudad de Trujillo, Perú.

Los expertos tienden a valorar a la ciudad de Trujillo en números neutrales dentro de la escala de Likert a las variables arquitectónicas de simetría, proporción, contraste, profundidad y saturación. La neutralidad de las respuestas demuestra indecisión y menor unanimidad.

**Análisis de rueda cromática**

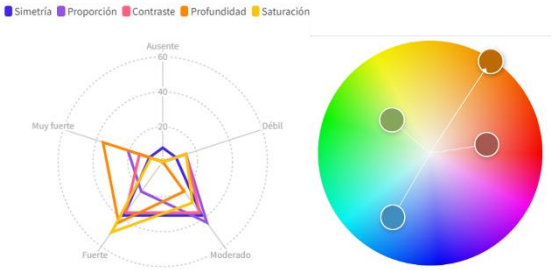



Figura 7: Gráfica radial y rueda cromática; Medellín, Colombia

Los colores arrojados tras el análisis son los siguientes:

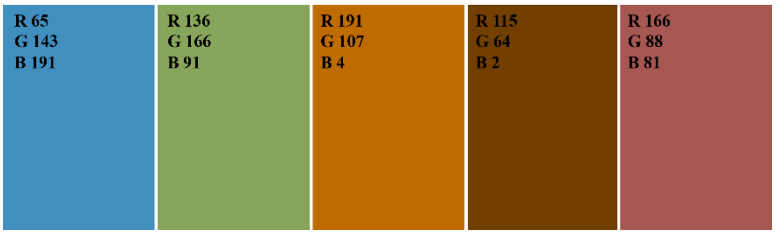



Figura 8: Paleta de colores RGB de Medellín, Colombia

R 65, G 143, B 191: es un azul claro y brillante, se encuentra en la zona fría de la rueda cromática, cercano a los verdes y alejado de los rojos y anaranjados.
R 136, G 166, B 91: este tono de verde posee una mezcla significativa de amarillo, logrando que sea más cálido que otros verdes, posicionado entre los verdes y amarillos.
R 191, G 107, B 4: es un anaranjado profundo, se ubica en la región cálida de la rueda cromática, entre los rojos y amarillos.
R 115, G 64, B 2: marrón oscuro, color cálido, cercano a los anaranjados y rojos oscuros, en la región cálida.
R 166, G 88, B 81: rojo apagado, ubicado en la rueda cromática entre los rojos y anaranjados, tiende hacia los marrones.
El azul claro y el verde oliva pertenecen a los colores fríos, mientras que el anaranjado, marrón oscuro y rojo apagado son cálidos. Y las relaciones cromáticas que estos colores son de complementariedad entre el azul y anaranjado, análogos entre el verde y anaranjado; mientras que el marrón y el rojo actúan como neutros cálidos.

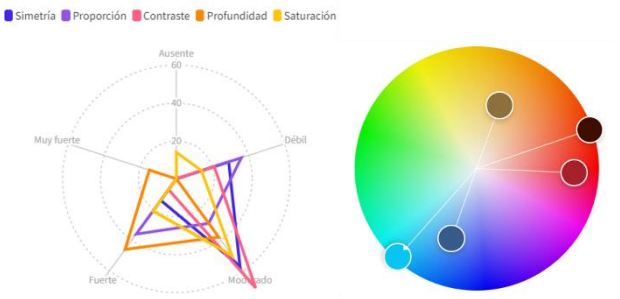



Figura 9: Gráfica radial y rueda cromática; Trujillo, Perú

Los colores arrojados tras el análisis son los siguientes:

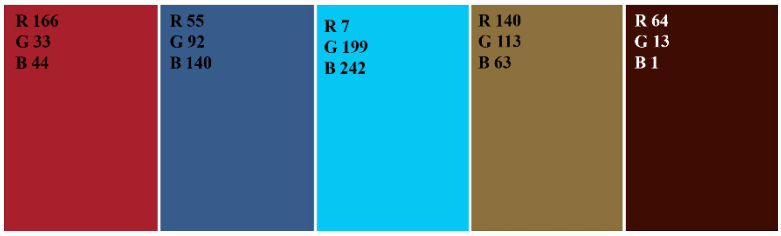



Figura 10: Paleta de colores RGB de Trujillo, Perú

R 166, G 33, B 44: es un rojo oscuro, se encuentra entre los colores cálidos, cerca de los naranjas y marrones.
R 55, G 92, B 140: es un azul medio, de tono moderado, está ubicado en la zona fría de la rueda cromática, cercano a los tonos verdes y alejado de la calidez de los rojos y amarillos.
R 7, G 199, B 242: es un cian brillante que combina azul y verde, ubicado en el extremo frío entre los verdes y azules.
R 140, G 113, B 63: es un marrón claro con una pizca de dorado, ubicado en la rueda cromática cerca de los amarillos y anaranjados pero dentro de la gama de colores cálidos.
R 64, G 13, B 1: es un marrón muy oscuro, con un tinte rojizo, está en la zona cálida de la rueda cromática.
Los colores arrojados logran una paleta que combina colores cálidos y fríos, sin embargo los cálidos son los dominantes.

## 4. DISCUSIÓN

**Parámetros a investigar en el futuro con términos de color y bienestar humano.**

La comparación de variables compositivas y esquemas cromáticos de las ciudades analizadas presenta diferencias significativas que se ven determinadas por su topografía y condiciones climáticas, la latitud de las ciudades no presenta relación directa con la percepción. Generando una oportunidad de investigación en otras ciudades con condiciones distintivas, como las que poseen el sol con mayor perpendicularidad, estaciones marcadas, etc.

La metodología planteada por el presente artículo es efectiva porque señala indicadores significativos para el estudio del color, percepción y arquitectura; sin embargo, durante el desarrollo se encontró dificultades frente a la condensación de colores arrojados en las paletas, inicialmente fueron treinta y se redujo hasta cinco, una de las limitantes del proyecto se asocia a la terminología utilizada debido a la procedencia de los expertos, en donde se debe explicar el concepto, así mismo, la interpretación obtenida es subjetiva. Esto se convierte en una oportunidad de desarrollo frente a la aplicación de la metodología en los habitantes de las secciones de vía, con la finalidad de contrastar los resultados entre expertos y no expertos.

El tema que desarrolla la presente investigación viene siendo estudiado por la arquitectura, sin embargo, puede enlazarse con más campos de estudio como la antropología o sociología. Dentro del campo de la arquitectura se plantea la discusión hacia la importancia de tener mayor consideración en la percepción cromática y variables compositivas para los futuros planteamientos urbanos de las ciudades.

En el desarrollo de la investigación se encontró poca bibliografía asociada al estudio del color en los espacios cotidianas, la investigación pretende generar nuevos estudios que generen conocimiento en la bioclimática, asociados a la vida cotidiana en relación con el color.

## CONCLUSIONES

El análisis de comparación cromática de ambas ciudades concluye que los colores que las caracterizan se ubican en tonos cálidos. La rueda cromática perteneciente a la ciudad de Medellín posee un tono de verde como elemento diferenciador y anaranjados cálidos. En el caso de Trujillo, se identifican azules fríos y tonalidades marrones cálidas. Siendo importante, ya que el hallazgo puede ser utilizable en el entendimiento de la identidad cultural e histórica que poseen ambas ciudades para el futuro desarrollo de arquitectura y urbanismo; y en los colores que rigen los espacios analizados por lo tanto en la incidencia de su percepción, estado de ánimo en la cotidianidad en los habitantes.

Los expertos analizan a Medellín como "fría" mientras que a Trujillo como "cálida", sin embargo, el análisis de color revela que ambas ciudades son cálidas; por lo que genera nuevas perspectivas de investigación que se ligan a la variable compositiva simetría de las secciones urbanas estudiadas y su relación con las dinámicas de los habitantes, cotidianidad asociada y su percepción cromática.

La presente investigación plantea que la posibilidad de entender los espacios traducidos a variables compositivas desde esquemas cromáticos es factible.

La evaluación realizada por expertos es de carácter subjetivo, por lo tanto, la interpretación del color depende de las experiencias, formación y aprendizaje previo de los sujetos; conllevando a generar asociaciones distintas en las escalas cromáticas para la temporalidad asociada al amanecer y atardecer, evidenciándose en los resultados arrojados por los datos analizados. Ya que la asociación de los colores relativos al amanecer y el atardecer necesitan de mayor contextualización, no solo la paleta cromática de aquellos fenómenos, para su comprensión.

La comparación demuestra que, por la condición de montaña, Medellín dentro de las variables compositivas analizadas califica saturación; a contraparte de Trujillo que, por su topografía plana y cercanía al mar, es evaluada en contraste.

Los colores que arrojan las paletas son resultado de procesos complejos de la arquitectura y la autoconstrucción en ambos barrios latinoamericanos. Las personas habitan el territorio desde su percepción y sensación, dándole uso a los materiales constructivos y colores que dictaminan sus espacios.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, al grupo docente del curso Énfasis en arquitectura bioclimática asociados al grupo de investigación Energía Medio Ambiente Arquitectura y Tecnología (EMAT). A Daniella Camila Tasillo Chung y a Mikaella Tang Pinasco, quienes colaboraron en el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

1. CHAUVIE, Verónica and RISSO, Adriana. *COLOR Y ARQUITECTURA*. 2003.

2. MUÑOZ, Laura 22ª edición. Tomo I, Espasa-Calpe, Madrid, 2001, p. 209.

3. CORDERO, Elisa and RODRÍGUEZ, Laura. El color en la ciudad, una propuesta urbana. *Arquitecturas del Sur, ISSN 0716-2677, ISSN-e 0719-6466, Vol. 29, Nº. 40 (Diciembre), 2011 (Ejemplar dedicado a: ESPACIO PÚBLICO), págs. 70-81*. Online. 2011. Vol. 29, no. 40, p. 70–81. [Accessed 2 May 2024]. Available from: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5231543&info=resumen&idioma=ENG

4. ODETTI, Jimena. *"Los Colores de Puerto Vallarta, en la construcción cultural urbana de una ciudad turística. 1990-2016."* 2019.

5. DELGADO, Carlos and OCHOA, Pablo. Color Urbano: Patrimonio, Identidad y Paisaje Urbano. . May 2022. P. 109–115.

6. RODRIGUEZ, Carlos Mario. *¿De qué color son las ciudades? Metodologías de apreciación cromática urbana* Online. 2013. Available from: http://www.uniboyaca.edu.co/facultades/FABA/designia

7. KRIER, Leon. ARQUITECTURA de la COMUNIDAD. La modernidad tradicional y la ecología del urbanismo. Online. 2009. [Accessed 22 August 2024]. Available from: https://www.reverte.com/media/reverte/files/sample-81762.pdf

8. LYNCH, Kevin. *The Image of the City*. Online. 1960. [Accessed 2 May 2024]. ISBN 978-84-252-1748-7. Available from: https://www.miguelangelmartinez.net/IMG/pdf/1960_Kevin_Lynch_The_Image_of_The_City_book.pdf

9. VALENZUELA, Eric. *Imaginario urbano de la ciudad de Valparaíso a través de la novela y/o relato literario de dicha ciudad, de los años 2000 a 2012*. . Valparaíso : UniversidaddeValparaíso, 2014.

10. DELGADO VIÑAS, Carmen. MIRADAS SOBRE LA CIUDAD DESDE LA GEOGRAFÍA, LA HISTORIA Y EL URBANISMO. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN A COMIENZOS DEL SIGLO XXI. Online. 18 January 2016. P. 117–142. [Accessed 13 August 2024]. Available from: https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10093/MiradasSobreLa.pdf?sequence=3

11. PINEDA, Alma. *COLOR EN LA ARQUITECTURA Y EL DISEÑO: símbolos, gustos, tradiciones e imposiciones* Online. Ciudad de México, 2020. Available from: https://editorial.tirant.com/mex/mispromocionesNube

12. FIORITO, María, ROIG, Pilar and BOSCH, Ignacio. *COLORES URBANOS... IDENTIDAD ARQUITECTÓNICA*. 2012.

Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable
Built Environment and Sustainable Development
MACDES.2024
Séptimo Congreso Internacional

del 25 al 29 de noviembre del 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MONITOREO DEL MICROCLIMA URBANO COMO BASE PARA LAS ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL

**Dania González Couret, Lázaro Yerandy Morales Camacho, Natali Collado Baldoquin, Luis Alberto Rueda Guzmán, Dayra Gelabert Abreu[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana "Jose Antonio Echeverría" (CUJAE)
[1]e-mail: daniagcouret@gmail.com

**RESUMEN**

La reducción de la temperatura en el contexto urbano es esencial para mejorar la adaptación al calentamiento global, fundamentalmente en las regiones tropicales. Sin embargo, la efectividad de las soluciones de diseño para acciones adaptativas depende significativamente de las características variadas y específicas de la morfología urbana. Veintisiete tipos morfológicos fueron identificados en La Habana, en doce de los cuales se monitoreó el microclima urbano. Los tipos compactos presentan una mayor inercia y temperaturas más altas en la noche, mientras que en los semi–compactos los valores de temperatura son más altos al mediodía, más aún cuando las vías son más anchas y bajo el coeficiente de ocupación del suelo (COS). Es por ello que los tipos semi-compactos se han subdividido de acuerdo con esos dos parámetros. Los tipos abiertos son más cálidos al mediodía, pero más frescos en la noche. Las bajas velocidades del viento en el contexto urbano permiten confirmar que la principal estrategia de adaptación al calentamiento global consiste en reducir la carga térmica por todos los medios posibles, pero teniendo en cuenta las prioridades específicas para cada grupo clasificado. En los tipos compactos debe priorizarse la sombra en las fachadas, en los semi-compatos es esencial sombrear los pavimentos y los techos, y en los tipos abiertos se recomienda reducir las áreas pavimentadas e incrementar la sombra en los espacios entre edificios y sobre sus paredes exteriores.

**PALABRAS CLAVES:** morfología urbana, microclima urbano, monitoreo de temperatura, estrategias de adaptación, clima cálido húmedo, La Habana.

# URBAN MICROCLIMATE MONITORING AS A BASIS FOR ADAPTATION STRATEGIES TO GLOBAL WARMING

**ABSTRACT**

Reducing air temperature in urban contexts is essential to improve adaptation to the global warming, mainly in hot regions. However, the effectiveness of design solutions for adaptive actions significantly depends on the specific and varied characteristics of urban morphology. Twenty-seven morphological types were identified in Havana, in twelve of which the thermal urban microclimate was monitored. The Compact types have greater thermal inertia and higher night temperatures, while in the Semi-compact types the temperature values are higher at midday and even more when the urban canyon is wider and the plot rate lower. That is why Semi compact types were subdivided according to these two parameters. The Open types are warmer at midday, but cooler at night. The low wind speeds in the urban context confirms that the main adaptation strategy to global warming consists on reducing the thermal load by all possible means, but taking into account specific priorities for each classified group. In the Compact types, shade should be prioritized on the facades, in the Semi-compact types on the pavements and roofs, and in the Open types it is recommended to reduce the pavement and increase the shade in the spaces between buildings and their exterior walls.

**KEY WORDS:** urban morphology; urban microclimate; temperature monitoring; adaptation strategies; warm-humid climates; Havana.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los records de temperatura continúan rompiéndose, por lo cual se requieren acciones trascendentes [1]. Aun en el escenario más optimista, la elevación de la temperatura es un hecho al cual habrá que adaptarse,

principalmente en la elevación de las temperaturas se intensifica por el efecto de la Isla de Calor Urbana. La vulnerabilidad al calentamiento global es mayor en las regiones cálidas. Por tanto, reducir la temperatura del aire en el contexto urbano es esencial para mejorar el bienestar, disminuir el consume de energía y la huella de carbono.

Se presentan los resultados de tres campañas de monitoreo realizadas en doce tupos morfológicos de La Habana para caracterizar la influencia de la morfología urbana y los parámetros modificadores en el microclima térmico como base para proponer acciones encaminadas una mejor adaptación al calentamiento global.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Antecedentes

Investigaciones previas desarrolladas por los autores de la presente ponencia sirvieron de base teórico – metodológica para la identificación y caracterización de 27 tipos urbanos [2], de cada uno de los cuales se realizó una evaluación cualitativa [3] que sirvió de base para la selección de doce casos de estudio para ser monitoreados.

### Monitoreo

Para la primera campaña de monitoreo realizada en el mes de mayo de 2023 (días 3, 9, 16 y 23) con un carácter exploratorio, se seleccionaron seis tipos morfológicos representativos de la evolución histórica de La Habana: el centro histórico La Habana Vieja; la primera extensión de la ciudad extramuros (Centro Habana), ambas urbanizaciones compactas con paredes medianeras y elevado Coeficiente de Ocupación del Suelo (COS) con su trama urbana orientada cercana a los puntos cardinales, pero la segunda con mayor ancho de vía, dimensión de manzanas y lotes y altura de los edificios; las primeras dos urbanizaciones semicompactas desarrolladas a finales del siglo XIX y principios del XX, con abundante vegetación, el tejido urbano orientado a 45 grados con respecto al norte, y un COS medio y bajo respectivamente (El Vedado y Miramar). A estos casos se sumó uno de urbanización abierta desarrollado en la década del 70 del siglo XX, a partir de la repetición de edificios típicos de apartamentos, y que es la mayor área de este tipo en La Habana (Alamar), y otro semicompacto ubicado hacia el suroeste, y que constituye uno de los tipos que más se repiten en el resto de la ciudad y del país (Cocosolo en Mrianao).

Las otras dos campañas de monitoreo se realizaron durante tres días seguidos (20, 21 y 22) en los meses de junio y julio del propio año, en otros seis tipos morfológicos, seleccionados por su representatividad en La Habana y otras ciudades cubanas: uno compacto sin vegetación (Luyanó), dos semicompactos con diferentes anchos de vía (Buena Vista y el Balcón de La Lisa), dos semicompactos con mayor ancho de vías, menor COS y trazados curvos con diferentes orientaciones (repartos Atabey y Flores) y otra urbanización abierta (Reparto Guiteras)

En cada uno de los casos seleccionados se identificó un área de aproximadamente 16 ha en la cual se diseñó un recorrido peatonal de aproximadamente 1 Km que incluía 10 puntos a monitorear durante 10 minutos, seleccionados de acuerdo con sus parámetros morfológicos (ancho de vía, altura de las edificaciones y ángulo de visión del cielo) y los modificadores (orientación, terminación superficial y vegetación), en aras de poder posteriormente comparar la influencia de estos en la temperatura del aire en la vía. Cada recorrido, con una duración máxima de dos, horas se repitió tres veces al día en el horario de la mañana (9.00 – 11.00), la tarde (12.00 – 14.00) y noche (18.00 – 20.00), coincidiendo con las mediciones trihorarias de la estación meteorológica tomadas como referencia (10.00, 13.00 y 19.00). Adicionalmente, en cada zona de estudio se mantuvo un punto fijo de referencia registrando de forma continua los valores de temperatura y humedad relativa del aire (Figura 1).

En cada punto se midió la temperatura y la humedad relativa del aire mediante *data loggers* con una precisión de ±0.2°C entre 0 y 70°C, una resolución de 0.04°C para la temperatura, y ±2.5% entre 10% y 90% para la humedad relativa, un máximo de ±3.5%, y ±5% con valores superiores al 90%. También, en la mitad de los casos se monitoreó la dirección y velocidad del viento, usando anemómetros de veleta que registran velocidades entre 0 y 76 m/s y direcciones entre 0 y 355 grados, con una precisión de ±1.1 m/s, y una

resolución 0.5 m/s y 1 grado. Además, se registraron imágenes de los puntos de medición con una cámara termográfica de resolución máxima 640 x 480px y sensibilidad térmica desde 0.06°C.

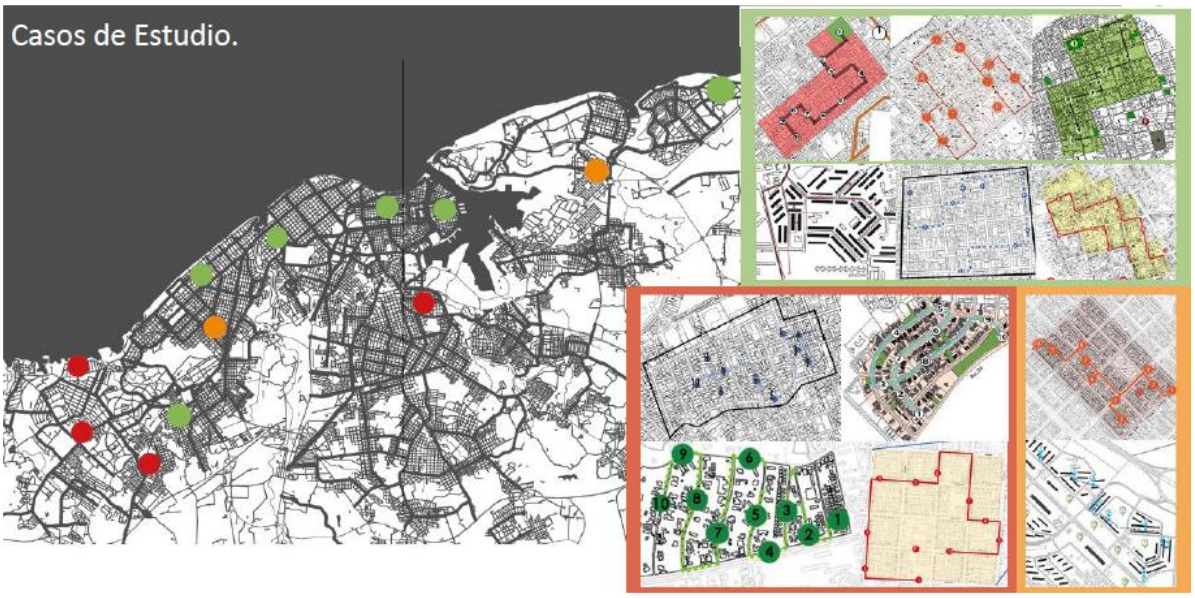



Figura 1. Casos de estudio y recorridos

Se elaboró una ficha de cada uno de los puntos de medición incluidos en los recorridos, con su ubicación, las características de los parámetros morfológicos y los modificadores, el ángulo de visión del cielo e imágenes, incluidas las termográficas. Toda la información obtenida en el monitoreo se registró en una planilla que además contenía los resultados de la observación de otros factores como el estado del tiempo, el tránsito vehicular, la presencia de personas y las actividades realizadas, además de los materiales de construcción y terminación superficial y las características de la vegetación que actúan como modificadores de la influencia de los parámetros morfológicos.

## 3. MARCO TEÓRICO

En observatorios meteorológicos es común medir la temperatura y la humedad relativa a una altura 1.5m, colocando los equipos fijos en una cabina que los protege de la precipitación y la radiación solar, mientras que la dirección y velocidad del viento se toma a una altura de 10m y la radiación solar en lugares sin obstrucción por sombras. Sin embargo, para los estudios de microclima urbano suelen hacerse recorridos (en vehículos o peatonales) a través de los cuales se registran los datos de las variables meteorológicas, o también se emplean otras tecnologías con el uso de drones o imágenes satelitales.

Por ejemplo, para los estudios de microclima urbano en Buenos Aires, ya en el año 2000 Schiller et al. [3] empleó pequeños registradores automáticos de temperatura montados en el exterior de automóviles, en cuatro campañas, con una estación fija de referencia que registraba temperatura, humedad relativa y radiación solar global y difusa en intervalos de 15 minutos, arrojando valores promedio, máximos y mínimos. Los sensores móviles fijados en automóviles a una altura de 1,40 m, registraban la temperatura del aire a intervalos de 10 segundos, en recorridos de distancias equivalentes, establecidos previamente. En una planilla se recogieron los datos de ubicación del automóvil a intervalos de 2 minutos, junto con información del tejido urbano: altura edilicia, ancho de calle, continuidad de fachada, arbolado urbano y espacios abiertos, entre otros.

Aún veinte años después, Gómez Concepción et al. [5] eligieron una ruta de interés para realizar un recorrido en automóvil y medir temperaturas (37 Km) en un día de febrero de 8:30 p.m. a 9:47 p.m. utilizando un HOBO adherido a un automóvil y configurado para tomar mediciones cada diez segundos, con vistas a estudiar las calidades urbanas en la ciudad de Panamá.

Sin embargo, por la carencia de instrumentos y personal que realizaran a un mismo tiempo las observaciones, en 2004 Álvarez López [6] (2004) empleó una metodología asincrónica de mediciones que comparaba los

datos recogidos con los de la estación meteorológica de Santa Clara (Cuba), con vistas a evaluar el fenómeno de «la isla de calor» en relación con las características tipo morfológicas de la ciudad. Los puntos representativos seleccionados, ubicados en espacios abiertos y a más de 2.00m de las construcciones aledañas, se definieron según la escala de trabajo en una malla cuyas medidas oscilaban de 500m a 250m, y se midió la temperatura seca y húmeda, y la velocidad del viento a una altura de 1.50 m del terreno, a las 7:00, 13:00, 19:00, 01:00 horas.

Este mismo autor, conjuntamente con otros, identificaron posteriormente once zonas tipológico-formales (ZTF) en Sagua la Grande (Cuba), en cada de las cuales ubicaron varios puntos de monitoreo para observar la distribución de las temperaturas exteriores, con lo cual se identificaron 23 en una malla a distancia de 300 y 500 m. En este caso, los datos también se recogieron en un recorrido previamente establecido, pero realizado de forma peatonal, ubicando los sensores a una altura de 1,5 m y separados a más de 2,0 m de las construcciones aledañas, así como de árboles u otros objetos. Igualmente, para el registro de datos confeccionaron una planilla con información sobre el lugar y las condiciones del entorno, donde anotaron la fecha, el número del punto, la altura de la medición, la hora, las lecturas, la nubosidad, las características del entorno circundante, y si el dato se tomó a la sombra o al sol. Los recorridos se realizaron durante siete días en los horarios de la mañana y la tarde, en los meses representativos de las estaciones de verano e invierno (julio del 2002 y febrero del 2004), en los horarios de menor y mayor incidencia del sol [7].

Es común realizar estos trabajos de monitoreo no solo para evaluar la influencia de la morfología urbana en el microclima, sino también la sensación térmica perseguida por los peatones. Sahagun Valenzuela et al. [8] realizaron un monitoreo de campo simultáneo para registrar los valores de bulbo seco y humedad relativa mediante *data logger* portátiles, pero, además, aplicaron una encuesta para el voto de la sensación térmica percibida en el momento. Con similar objetivo, Urrutia del Campo et al. [9] determinaron el comportamiento microclimático del espacio urbano a través de mediciones in-situ, y el uso que hacen las personas, mediante un análisis multicriterio que les permitió contrastar los análisis teóricos con los datos recolectados in-situ. Para ello realizaron un levantamiento 3D del entorno urbano, definiendo las propiedades de los materiales de acabado, el porcentaje de sombra y de radiación solar en el periodo, analizado mediante el software *Autodesk Ecotect Analysis*, con vistas a seleccionar los puntos de medición. Midieron las condiciones climáticas locales durante 3 días de los meses de abril, mayo y junio en la plaza de Chamberí, tanto al sol como a la sombra, a las 9 a.m., 4:30 p.m. y 10:00 p.m., a una altura del suelo de entre 1.5 y 2m. En paralelo realizaron termografías con cámara térmica para la medición de la radiación infrarroja de onda larga y comprobar la elección de los puntos de medición. El registro de personas y actividades lo hicieron simultáneamente, mediante observación no intrusiva.

Zapata Padilla et al. [10] diagnosticaron las condiciones físicas, ambientales y arquitectónicas del espacio urbano, que definen el nivel de confort humano, para identificar y recomendar la forma de contrarrestar los efectos climáticos dentro del espacio, con la intención de propiciar la actividad peatonal, favorecer la convivencia social, y beneficiar la dinámica comercial dentro del área de estudio. La época y mes en que realizaron las mediciones y encuestas fueron aquellas en las que se registran las mayores temperaturas del año, es decir, de mayo a septiembre, que promedian 28.4°C, siendo julio el mes más próximo a este valor, lo cual tuvieron en cuenta para seleccionar la semana y el día. Desarrollaron las mediciones y las encuestas en seis recorridos de dos horas cada uno durante el día; a las 9:00 h, 11:00 h, 13:00 h, 15:00 h, 17:00 h y 19:00 h, después de haber consultado metodologías aplicadas en otros casos, que indican que las mediciones pueden hacerse cada media hora, una o dos horas, según el grado de detalle en que se necesiten expresar las gráficas de resultados, los recursos con los que se cuente (cantidad de aparatos de medición, el número de personal para realizar las encuestas y las mediciones) y los impredecibles cambios climáticos del día, que no están al alcance del investigador.

También Castillo Valdivia [11] empleó una metodología mixta que combina la información cualitativa (encuesta realizada a los usuarios de los espacios públicos) y cuantitativa (medición instrumental de parámetros micro climáticos a distintas horas del día) a micro escala, para lo cual dividió los espacios en zonas. El trabajo de campo fue realizado en dos días, de forma continua y simultánea desde las 14:00 hasta las 20:00 horas, con el empleo de un termoanemómetro que registró los valores de temperatura atmosférica (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s) y dirección del viento a las 14:00, 16:00, 18:00 y 20:00, ubicado a la sombra y a una altura de 1,5 metros.

Guzmán Bravo et al. [12] manifiestan haber desarrollado un "monitoreo humano", con la participación directa de los usuarios, mediante respuestas al cuestionario aplicado, y un "monitoreo ambiental" a través de mediciones simultáneas de los parámetros: temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar y temperatura radiante, usando instrumentos portátiles. Por su parte, Cordero Ordóñez [13] realizó un estudio empírico en ocho cañones urbanos de diferente sección y orientación, mediante una campaña de mediciones in situ de las variables climáticas de temperatura del aire y superficies del cañón urbano y velocidad del aire, para definir cuáles son las variables morfológicas que tienen una mayor influencia. Para ello empleó un termo anemómetro y un termómetro infrarrojo y registró los valores de temperatura del aire, velocidad del viento y temperatura radiante de las superficies de fachada y piso, durante cuatro días de verano, no consecutivos, con cielo despejado y condiciones meteorológicas estables, en un intervalo de dos horas, desde las 7:00 hasta las 3:00 pm.

También es frecuente el desarrollo de trabajos encaminados a evaluar las condiciones del equipamiento urbano. Por ejemplo, Molar-Orozco [14] realizó un estudio cuantitativo sobre la evolución morfológica de los espacios y el tipo de clima de la ciudad, en dos periodos (uno en primavera y otro en otoño), de 9:00 a 12:00 horas, mediante un termómetro infrarrojo que permitió el registro horario de la temperatura de las superficies horizontales en cinco puntos, a nivel del piso y a la altura del asiento de los bancos. Además, registró la temperatura del aire y la humedad relativa a la sombra mediante un termo-higrómetro, en dos plazas, junto con un registro fotográfico y observaciones durante las mediciones.

Martínez Osorio et al. [15] usaron una metodología cuantitativa para identificar las relaciones entre la temperatura y el uso de mobiliarios urbanos en espacios públicos abiertos, en dos fases, una descriptiva y una analítica, y en tres momentos: uno para conocer los procesos, otro para obtener los registros de temperatura superficial de los mobiliarios urbanos (bancas), y el último para identificar preferencias y motivaciones en el lugar. La investigación fue desarrollada en otoño en la ciudad de Bauru, Brasil, mediante una malla gráfica para análisis del uso del espacio público, a partir fichas de registro de actividad cada quince minutos durante dos días entre las 8:00 am. y las 12:00 del mediodía, y de 1:00 pm. hasta las 5:00 pm. También midieron la temperatura superficial de los mobiliarios, realizaron fichas de observación y encuestas de selección múltiple para establecer las motivaciones.

En otros casos, se emplean, además, imágenes satelitales, como en la investigación realizada por Smith Guerra et al. [16], quienes combinaron métodos cualitativos y cuantitativos en una aproximación metodológica mixta, mediante el procesamiento de imágenes satelitales y el levantamiento de datos en terreno, a través de la observación y medición instrumental, evaluando el confort térmico percibido por las personas a partir de la realización de encuestas en terreno. En relación con esto, Chiarito et al. [17] identificaron 5 zonas y para realizar el trabajo recurrieron a imágenes satelitales del área de Rosario, que permitieran el análisis de una base de datos extensa, instantánea y de alta resolución espacial. Según los autores, la técnica consiste en aprovechar datos de la superficie terrestre de la energía radiante dentro del rango visible e infrarrojo térmico re-emitida desde la superficie, recopilados por sensores ubicados en plataformas satelitales. La plataforma usada fue LANDSAT 5TM, que ofrece una gran cantidad de imágenes satelitales de libre disponibilidad. El estudio fue realizado en período de invierno y verano sin cobertura nubosa, a 13:46 GMT (11:46 hora local).

Roco Castillo [18] reconoce que las imágenes satelitales han sido útiles para medir las temperaturas superficiales, ya que es posible obtener información de parámetros climáticos como la temperatura de emisión en superficie, mediante imágenes satelitales en resoluciones medias o bajas. Plantea que, aunque este parámetro ha sido analizado estadísticamente a la luz de las variables de vegetación, humedad o reflectividad, otros autores destacan la versatilidad del uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y las cámaras térmicas en cuanto a su autonomía para estudios científicos. Según este autor, es por eso que resultan relevantes los estudios a microescala sobre el comportamiento de la temperatura superficial y su relación con distintas tipologías urbanas, como base para proponer lineamientos de diseño sensible al clima. Su investigación va desde un enfoque general hacia el estudio de casos focalizados, partiendo por un análisis a escala local que caracteriza la comuna desde el punto de vista urbano y climático, delimitando sectores o zonas, con una doble mirada, una a escala arquitectónica y otra de manzana o conjunto residencial. Para el levantamiento de imágenes aéreas utilizó el *dron Mavic 2 Enterprise*, con el vuelo preparado según la configuración de la ruta en el terreno, y la aplicación *DJPilot*.

En resumen, la mayoría de las investigaciones consultadas van dirigidas a evaluar la sensación térmica y el bienestar de las personas en los espacios exteriores urbanos. En segundo lugar, están las que estudian el comportamiento de la isla de calor urbana, algunas de las cuales evalúan el microclima en plazas y otras en calles, pero ninguna pretende evaluar o caracterizar el microclima en diversos tipos morfológicos, que es el objetivo del presente trabajo, en función de lo cual se han seleccionado los lugares a medir.

Se observa que cuando se pretende caracterizar la isla de calor urbana en toda la ciudad, se establece una malla de puntos separados entre 300 y 500m y un recorrido que los conecta, a lo largo del cual se van haciendo las mediciones. Se trata de mediciones asincrónicas, vinculadas a una referencia, que puede ser la estación meteorológica local u otro punto fijo que se decida. Las mediciones en cada punto se anotan en una planilla de registro que incluye observaciones sobre las características de los sitios, e incluso, el comportamiento de las personas. Si el objetivo es evaluar la sensación de confort, además de las mediciones se realizan encuestas, entrevistas y observaciones a los usuarios para establecer los valores de Clo y Met. El monitoreo también puede realizarse con equipos de medición continua como *data loggers* adosados en un vehículo que hará el recorrido previamente establecido. Más recientemente, para este estudio a gran escala de la ciudad se pueden usar imágenes satelitales, e incluso, *drones*.

Cuando se intenta estudiar el microclima en los espacios exteriores en mayor detalle, sobre todo para evaluar la sensación térmica de las personas, se usan equipos de medición localizados en el espacio a escala peatonal. En todos los casos, los sensores se ubican a la sombra, pero a 2.00m o más de edificios o árboles. Pueden estar dentro de una caja perforada que los proteja de la lluvia y el sol. La altura varía según el objetivo, desde el nivel del piso hasta un máximo de 2.00m de altura, predominando 1.50m.

Llama la atención que en ningún caso se realizan mediciones continuas durante ciertos períodos de tiempo con sensores ubicados de forma permanente en determinados puntos. Los plazos de medición son de hasta 7 días, predominando uno y dos, y no continuos. Se seleccionan días con similares condiciones de cielo y predominan los días de verano, aunque a veces se escogen primavera y otoño. Por lo general se desarrollan entre 2 y 6 mediciones durante el día. Solo en un caso se realizaron mediciones a la 1.00am. En dependencia de la metodología de medición, los registros pueden hacerse cada 15 minutos para promediar, o a intervalos de media hora, una o dos horas. Solo cuando se trata de recorridos con equipos digitales de medición continua se usan plazos de 10 segundos. Cuando se han hecho mediciones manuales puntuales en campaña, suele esperarse 20 segundos para la estabilización de los equipos.

Los parámetros más medidos son la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento y la temperatura de las superficies. Para esto último se usa un termómetro infrarrojo o una cámara térmica. También, en ocasiones, se mide la radiación solar y la temperatura radiante. Como los datos de las mediciones generalmente se acompañan de observaciones del lugar y el comportamiento de las personas, así como encuestas y entrevistas, éstos se registran de forma manual en planillas y fichas. El método más empleado para el procesamiento de los datos es el Microsoft Excel. Sobre esta base, se establecieron los criterios para el monitoreo del microclima urbano en los tipos morfológicos seleccionados como objeto de estudio en esta investigación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los valores trihorarios medidos en los puntos exteriores de referencia, de forma simultánea con los registros de la estación meteorológica en el mes de mayo, la temperatura del aire en todas las zonas urbanas monitoreadas generalmente supera en más de 2°C los valores de la estación meteorológica, excepto en el horario de la mañana, en que puede, incluso, llegar a ser ligeramente inferior, ya que la masa construida se ha enfriado durante la noche y la madrugada, desprendiendo el calor acumulado el día anterior, como consecuencia del efecto de la inercia térmica.

### Comparación entre tipos morfológicos

Las temperaturas más bajas obtenidas en la primera campaña, según lo esperado, se registran en El Vedado, zona semicompacta con abundante vegetación y la mayor inercia térmica (amortiguamiento) se produce en Centro Habana, zona compacta con 4 pisos de altura promedio de los edificios.

Como en cada recorrido de la mañana, la tarde y la noche los 10 puntos no fueron medidos de forma simultánea, sino a intervalos de 10 minutos, con una duración total de casi dos horas en el recorrido, las comparaciones entre puntos se hicieron diferenciando los tres horarios (mañana, tarde y noche), ya que el régimen de elevación constante de la temperatura del aire durante la mañana ocasiona diferencias de 4°C como promedio entre el primer y el último punto monitoreado (1 y 10), independientemente de las características de sus parámetros morfológicos y modificadores. Sin embargo, los valores son más estables, en forma de meseta en el horario de la tarde y con una ligera tendencia al descenso en la noche. Es por ello que, al comparar la temperatura en puntos ubicados en vías con diferentes parámetros morfológicos o modificadores, se ha atendido, fundamentalmente a las temperaturas registradas en el horario de la 1.00pm y las 7.00pm, y no durante la mañana, para no distorsionar los resultados. También se ha tenido en cuenta la influencia de la nubosidad, cuya presencia reduce tanto las temperaturas como las diferencias entre los valores registrados.

Durante la segunda etapa de monitoreo, en las campañas correspondientes a los meses de junio y julio, la urbanización compacta de Luyanó presenta las temperaturas más altas en el horario de la mañana y la noche, como consecuencia de la inercia térmica de la masa construida, mientras que no es el tipo más caluroso después del mediodía, debido al menor ángulo de visión del cielo y por tanto, inferior exposición a la radiación solar según la sección de vía (menor ancho) (Figura 2).

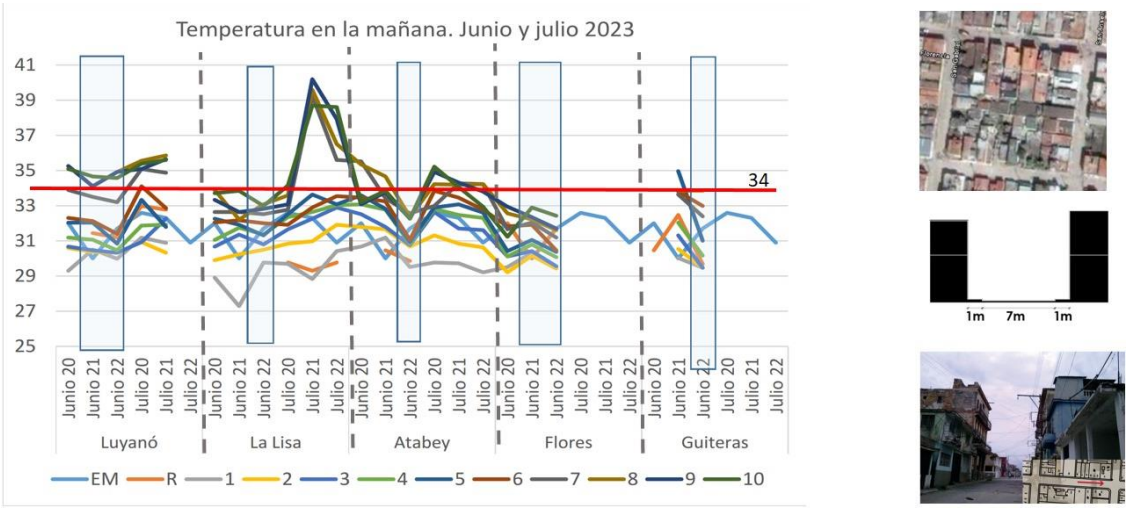



*Figura 2. Las mayores temperaturas en la mañana se producen en Luyanó*

Por el contrario, las más altas temperaturas al mediodía se producen en las urbanizaciones abiertas como Guiteras o de muy baja ocupación del suelo como Atabey, ya que el mayor ángulo de visión del cielo permite una incidencia superior de la radiación solar más perpendicular a esa hora, a pesar de la presencia de vegetación. Cuando el cielo está nublado las temperaturas bajan y sus diferencias se reducen (Figura 3).

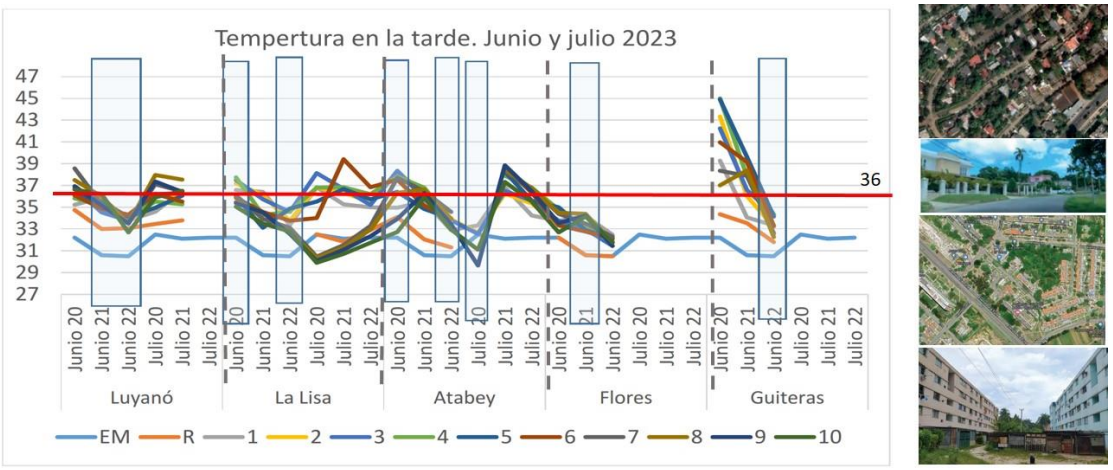



Figura 3. Temperaturas más bajas en la tarde en los repartos Atabey y Guiteras

Aunque las temperaturas monitoreadas más bajas se presentan en la tarde – noche, como era de esperar, aún resultan altas (por encima de 32 °C) en los tipos urbanos compacto y semicompacto. Solo en la urbanización abierta la baja inercia térmica de la masa construida no genera tan altas temperaturas nocturnas.

De manera general, los valores más bajos en los tres horarios monitoreados se producen en el Reparto Flores, a pesar de que presenta condiciones morfológicas similares a Atabey y Guiteras en cuanto al bajo coeficiente de ocupación del suelo, la gran separación entre edificios por el ancho de las vías y la presencia de vegetación. Pero la diferencia fundamental radica en la orientación como parámetro modificador del impacto de la morfología. Prácticamente todas las calles del reparto Flores que conforman sus manzanas largas y estrechas, están orientadas casi en el eje Norte – Sur, por lo cual reciben la radiación solar fundamentalmente al mediodía; mientras que en Atabey, aunque el trazado es ligeramente curvo, las vías están orientadas en un ángulo cercano a 45 grados con respecto al eje Norte – Sur, de manera que la mayoría de las calles se desarrollan en el sentido SO-NE.

En esta comparación general del microclima térmico en los diferentes tipos morfológicos queda demostrada la influencia de la compacidad que genera altas temperaturas durante el día y la noche, mientras que las urbanizaciones abiertas o con baja ocupación del suelo resultan peores al mediodía. También se constata que las vías cuyo eje se orienta en un entorno cercano a la dirección N-S resultan más favorables desde el punto de vista térmico. Por tanto, se verifica la validez de los criterios inicialmente asumidos para la evaluación cualitativa de los tipos morfológicos identificados.

**Influencia de los parámetros morfológicos y modificadores**

Al comparar la temperatura del aire en los puntos 1 y 4 de Centro Habana, con la misma orientación y altura de los edificios, pero diferente ancho de vía (6m, y 9m respectivamente), se aprecia que en ambos casos la temperatura es más alta que en el punto de referencia, pero es aún mayor en la vía más ancha y, por tanto, con mayor incidencia de la radiación solar. Lo mismo ocurre si se comparan los puntos 6 y 8 de Atabey, ubicados en vías con igual orientación y cobertura verde, pero el punto 8 que está en la calle de mayor ancho alcanza valores mayores en hasta 3°C.

Al comparar las temperaturas registradas en dos puntos ubicados en calles con el mismo ancho de vía y altura de los edificios, pero diferente orientación en La Habana Vieja, se aprecia que a pesar de que en el Punto 5 ubicado en una vía con orientación E-O la radiación solar es ligeramente superior al Punto 6, en otra orientada N-S, el reducido ángulo de visión del cielo en ambos casos no genera grandes diferencias de temperatura. Lo mismo sucede con los valores de temperatura del aire en los puntos 9 y 10, también ubicados en La Habana Vieja, en calles con diferente orientación. Esto indica que la orientación no influye de manera determinante en la temperatura del aire exterior en un contexto urbano donde el ángulo de visión del cielo es reducido.

En Coco Solo (Marianao), las temperaturas más bajas en todo momento ocurren las vías con orientación cercana al eje Norte - Sur, que reciben la radiación solar, fundamentalmente en el horario del mediodía, y los mayores valores de temperatura se registran en las vías con orientación cercana al eje Este – Oeste, que son las que más radiación solar reciben durante el día. En Atabey, con vías de 30m de ancho, trazado curvo y trama orientada casi a 45°C con respecto a los ejes cardinales y abundante presencia de vegetación, en horas del mediodía, cuando el cielo no está nublado, las temperaturas son muy semejantes y altas en todos los puntos, pero en los otros horarios, los mayores valores se alcanzan en las vías con orientación cercana al eje NE-SO.

En resumen, se verifica la influencia de la orientación de las vías en la temperatura del aire exterior, resultando mejores aquellas cuyo eje se orienta cercano a la orientación N-S, pues reciben menos radiación solar y alcanzan temperaturas menores. Esto también se comprueba en el caso de Atabey, pues, aunque la trama vial está rotada, su ángulo no llega a ser 45 grados, de manera que les vías que más se acercan al eje E-O presentan peores condiciones térmicas que las perpendiculares a ellas. No obstante, este impacto se reduce en las zonas compactas donde el ángulo de visión del cielo es menor.

No obstante, mientras la orientación N-S del eje de la vía genera menores temperaturas en el espacio exterior que cuando su orientación es E-O, lo contrario sucede con respecto al asoleamiento de las fachadas y su necesaria protección, que se facilita cuando estas están orientadas hacia el norte o el sur, mientras que hacia el este y el oeste hay que complementar la protección que ofrece el contexto.

La influencia del arbolado viario también se verificó al comparar los Puntos 5 y 6, ubicados en vías con orientación SO – NE, con y sin arbolado, respectivamente, en El Vedado. De acuerdo con lo esperado, la temperatura del aire suele ser más alta en la calle sin árboles.

Las temperaturas superficiales de los cierres verticales suelen ser mayores de 35 °C, superando los 40°C cuando están expuestas al sol, y llegan a más de 50 °C grados cuando se trata de terminaciones de color claro o materiales muy reflectantes. La sombra de la vegetación puede reducir en 5 °C la temperatura de los cierres verticales y en 10 °C la de las superficies horizontales como el asfalto de las vías. Sin embargo, cuando se comparan las temperaturas de las superficies verticales con las de las horizontales, es posible apreciar que la temperatura del pavimento asfaltico en las calles siempre estará por encima de 40 °C y que la sombra de los árboles puede rebajar en 10 grados esas temperaturas. Por último, las superficies verticales oscuras, altamente absorbentes, así como las muy claras, reflectantes o metálicas, pueden alcanzar temperaturas superficiales superiores a 50 °C.

**Comportamiento del viento**

A partir del procesamiento de los datos del viento registrados por la Estación Meteorológica de Casablanca durante el primer semestre del año, tanto mensual como horario (Figura 4), durante todo el año predomina el viento del este, aunque en junio soplan con mayor frecuencia del sur y en julio del noreste. Se presentan con una frecuencia aproximada del 50% las bajas velocidades del viento, por debajo de 1.5 m/s. Los mayores valores se producen en los vientos provenientes del noreste. La mayor ocurrencia de momentos de calma ocurre en los meses de mayo (2.42%) y junio (1,25%).

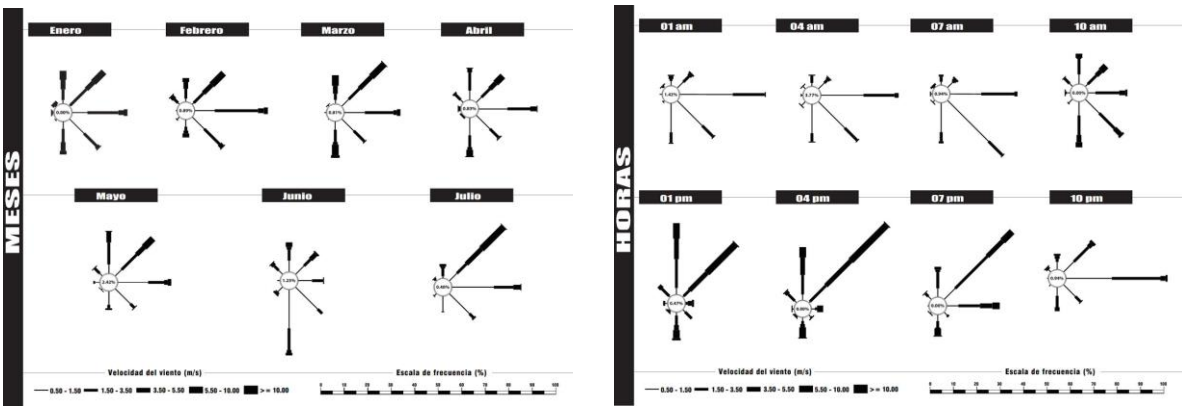



Figura 4. Rosa de los vientos mensual y horaria en Casablanca, primer semestre de 2023.

Durante la madrugada (1.00am – 7.00 am) predominan los vientos del este y el sureste, con bajas velocidades (inferiores a 3.50 m/s), y una mayor ocurrencia de calmas, de hasta 4.77% a las 4.00am. En la tarde (de 1.00 pm a 7.00 pm) se incrementa la frecuencia de los vientos del noreste y las velocidades, hasta 10 m/s. La frecuencia de ocurrencia de calmas se reduce por debajo del 0.5%.

Como consecuencia de la acción de los vientos Alisios, en la estación meteorológica de Casablanca predominan los vientos el este y el noreste, aunque la combinación con el efecto de las brisas marinas (la brisa y el terral) hace que durante la madrugada el viento sople mayormente del este y el sureste. Las velocidades son bajas en general, inferiores a 3 m/s durante la madrugada con una frecuencia de calmas de 4.77, pero, afortunadamente, se incrementan en la tarde, cuando la temperatura del aire es más elevada, pudiendo ser superiores a 5 m/s, período en el cual se reduce la ocurrencia de calmas.

En Centro Habana el viento se canaliza por las calles, pero en ambos sentidos, sin que predomine uno. En la mitad de los puntos (5) el sentido del viento se mantiene constante en los tres horarios monitoreados, pero en la otra mitad varía durante el día. Predominan velocidades bajas, por debajo de 1.5m/s. Las mayores velocidades, entre 3.5 y 5.00 m/s se producen en el horario de la tarde, coincidiendo con las temperaturas más altas, tal y como ocurre en la estación meteorológica de Casablanca, aunque con menores valores, y con menor frecuencia en la noche.

Igual que en Centro Habana, en Marianao el viento se canaliza por las calles. Aunque el sentido puede cambiar, en las calles orientadas N-S predomina el viento del norte. Las velocidades son bajas en la mañana, por debajo de 1.5m/s, pudiendo llegar a 3.00m/s en la tarde y la noche.

A diferencia de los casos anteriores, la canalización del viento en las calles no es tan evidente en la trama semi-compacta de El Vedado, donde la permeabilidad de la masa edificada permite que el viento también se canalice por los pasillos laterales entre las edificaciones. Así, es posible apreciar que, con independencia de la orientación de las vías, predomina en viento del noreste. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, las velocidades de viento son bajas, sobre todo en la mañana (inferiores a 0.5 m/s), pudiendo aumentar hasta 1,5 m/s durante la tarde y la noche.

En resumen, las velocidades del viento son aún inferiores en las zonas urbanas, manteniéndose valores por debajo de 1.5 m/s en la mañana, que se elevan en la tarde y noche hasta 3 m/s y más, lo cual ratifica la necesidad de actuar sobre las variables y parámetros que contribuyen a reducir la elevación de la temperatura en los espacios exteriores urbanos.

**Estrategias de adaptación**

De acuerdo con el comportamiento del microclima urbano en los casos de estudio y la influencia de los parámetros morfológicos y modificadores, se ha establecido un ajuste de la clasificación inicial de los tipos morfológicos con vistas a proponer las estrategias de transformación más recomendables para una mejor adaptación al calentamiento global. Aunque se mantienen los tres grandes grupos iniciales según la compacidad, los tipos semicompactos se subdividen en dos atendiendo al ancho de las vías y la ocupación del suelo que condicionan el ángulo de visión del cielo y el acceso al sol: los que presentan un ancho de vía entre 6m y 14m con un coeficiente medio de ocupación del suelo (0.60) y aquellos donde las vías son más anchas (superior a 20m) y el coeficiente de ocupación del suelo es bajo (0.40 y menos).

A su vez, las principales estrategias de transformación posibles en urbanizaciones existentes se refieren en primer lugar la reducción de la exposición al sol a través del incremento de la proyección de sombra sobre las superficies, tanto horizontales (pavimentos y cubiertas) como verticales (paredes exteriores de los edificios), ya sea mediante elementos añadidos o aprovechando la vegetación, lo cual genera otros beneficios relacionados con la reducción de las inundaciones o la captura de carbono.

Una estrategia general aplicable a todos los tipos morfológicos consiste en la reducción del tránsito vehicular para favorecer la movilidad de ciclos y peatones, reduciendo la franja de rodamiento y evitando su trazado recto para disminuir la velocidad. Esto se relaciona con el cambio de materiales, al sustituir el pavimento asfáltico por cobertura verde, o materiales fríos, más permeables y porosos y con menor absortividad y capacidad calórica para reducir el efecto de la inercia térmica en la isla de calor urbana. Por último, el incremento de la vegetación, especialmente, el arbolado urbano, acompaña todas estas estrategias, preferiblemente con múltiples funciones, para una mayor sustentabilidad.

En las urbanizaciones compactas con un mayor coeficiente de ocupación del suelo y vías más estrechas e imprescindible insertar vegetación en las calles, aprovechando para ello incluso, la envolvente de los edificios, tanto horizontales como verticales, de acuerdo con la orientación de la trama urbana. En las zonas semicompactas es conveniente transformar las vías, rescatar jardines y parterres, incrementar el arbolado, y arrojar sombra sobre las cubiertas, preferiblemente mediante doble cubierta verde o fotovoltaica. Esto es aún más importante en los tipos urbanos con menor ocupación del suelo y vías más anchas. Por ultimo en las urbanizaciones abiertas es imprescindible reducir al mínimo las áreas pavimentadas, incrementar el arbolado y la sombra arrojada sobre la envolvente vertical de los edificios por todas las vías posibles, especialmente con el empleo de doble piel verde o de otro tipo.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados del monitoreo del microclima realizado en diversos tipos morfológicos de La Habana ha servido de base para la propuesta de estrategias de transformación en aras de una mejor adaptación del hábitat urbano al calentamiento global. Se comprueba el efecto de la isla de calor urbana en todos los tipos morfológicos estudiados.

Se comprueba que la compacidad es un importante parámetro de la morfología urbana que condiciona el microclima. Las urbanizaciones compactas presentan mayores temperaturas en la mañana y la noche como consecuencia de su mayor inercia térmica. Por tanto, la principal estrategia de adaptación al calentamiento global consiste en incrementar la sombra arrojada sobre la envolvente de los edificios, fundamentalmente sobre la envolvente vertical, para lo cual es muy recomendable el empleo de doble piel verde.

En las zonas semicompactas las temperaturas son más elevadas al mediodía, como consecuencia de la elevada exposición por la baja ocupación del suelo, a pesar de la presencia de vegetación. La temperatura aumenta con el ancho de las vías. Por tanto, la principal estrategia de adaptación a emplear en estos tipos morfológicos consiste en la reducción de la terminación de asfalto expuesta al sol en la franja vial y su sustitución por materiales fríos, porosos, permeables verdes y cobertura, así como el incremento del arbolado y la sombra arrojada sobre las cubiertas de los edificios, que generalmente son de muy baja altura.

Las temperaturas más bajas en la noche se producen en las urbanizaciones abiertas, pero a su vez en ellas se producen elevadas temperaturas diurnas como consecuencia de la elevada exposición al sol. Por tanto, la principal estrategia de transformación para la adaptación al cambio climático en estos tipos consiste en reducir al máximo las áreas pavimentadas. Incrementar el arbolado urbano y arrojar sombre sobre las fachadas de los edificios de altura media.

Se comprueba que las vías cuyo eje se orienta la dirección N-S presentan temperaturas más bajas que aquellas que se ubican en una orientación E-W. Sin embargo, por lo general el tejido urbano genera una red de calles perpendiculares entre sí. Por tanto, atendiendo a esto, resultan preferibles las tramas urbanas de manzanas rectangulares con el eje mayor orientado cercano a la dirección N-S. No obstante, la mejor orientación de las vías se corresponde con la peor para las edificaciones que la limitan a ambos lados y viceversa, por lo que la protección solar de los edificios debe ser diseñada en función de esto.

Las velocidades el viento son relativamente bajas en la estación meteorológica y más aún en los exteriores urbanos, con valores frecuentemente inferiores a 1,5m/s. Con esto se comprueba que en el microclima cálido y húmedo de La Habana no es posible pretender alcanzar condiciones de confort en espacios interiores a partir de la ventilación natural y que lo más importante es reducir la carga térmica por todas las vías posibles.

Se comprueba la canalización del viento por las calles en las zonas urbanas compactas, con una mayor variación de dirección en las zonas semicompactas, donde el viento también se canaliza por los pasillos laterales y perimetrales entre los edificios. El sentido es variable en todos los casos.

**RECONOCIMIENTOS**

La investigación fue financiada por el Programa Nacional de Ciencia y Técnica “Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en Cuba. Los autores desean agradecer la colaboración de los estudiantes (ya hoy arquitectos): Víctor Rodríguez, Manuel Salazar, Roksanda Campos, Lenier Díaz, Ronald García, Leonardo Díaz, Katerine Álvarez, Rafael Díaz, Thalía Pérez, Carlos Salgado, Paola Capaz y Talía García.

**REFERENCIAS**

1. United Nations Environment Programme (2023). *Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again).* https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43922.
2. González Couret, D., Collado Baldoquin, N., De la Paz Pérez, G. A., Rueda Guzmán L. A. (2023). Urban variables for adaptation to global warming in a hot – humid climate. Cuban cities as e case study. Urban Climate 51 (2023) 101633. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101633
3. González Couret, D., Morales, L.Y., Collado, N., Gelabert, D., Rueda, L.A., 2023b. Tipos morfológicos y microclima urbano en La Habana. In: Ecosolar No 83, pp. 9–21. https://www.researchgate.net/publication/322785469_Tipos_morfológicos. https://www.researchgate.net/publication/377183106_83_editorial_director_general
4. Schiller, S., J. M. Evans y L. Katzschner (2001). Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño. Estudios en Buenos Aires y Rio Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, 2001. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79672

5. Gómez Concepción H., I. Rojas Márquez y J. I. Perén Montero (2021). Una aproximación a los efectos del diseño urbano en el microclima y calidad de espacios urbanos de una ciudad cálida-húmeda: Panamá. *SusBCity* Vol.3, N°1: 31-38, enero – diciembre, 2021. https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2009
6. Álvarez López, A. (2004). Cambio climático y microclimas urbanos en ciudades del centro de Cuba. Reflexiones para el planeamiento a través de SIG. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 8, Nº 1, 2004. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81614
7. Castro Conrado, Y.; E. Fernández Figueroa, y A. Álvarez López. Influencia de la forma urbana en el microclimamtérmico de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo* vol. XXXVI, no 1, 2015, pp. 25-37. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-58982015000100003&script=sci_abstract
8. Sahagun V alenzuela, M. I., M. A. Zarate López, J. A. Pitones Rubio, y A. Almejo Ornelas (2021). Análisis del voto de sensación térmica percibida para espacios exteriores, en el verano de la zona metropolitana de Tijuana, México. *Revista Arquitectura* +. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua, vol. 6, núm. 12, 2021. URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/529/5292802004/
9. Urrutia del Campo. N. y J. Neila González (2020). Bioclimática, mediciones ambientales y uso de los espacios urbanos: Evaluación comparativa en la Plaza de Chamberí, Madrid. REVISTARQUIS | VOL. 9, Num. 1 (Enero-Junio 2020), San José, Costa Rica | p. 1-26. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/revistarquis/article/view/40257
10. Zapata Padilla, N. J., M. A. Rosas Lusett y J. A. Espuna Mujica (2017). Confort humano en microclimas urbanos. Calle Miguel Hidaldo, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. *TLATEMOANI. Revista Académica de Investigación.* No. 25 – agosto 2017. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7277120
11. Castillo Valdivia, I. A. (2020). Clima urbano de espacios públicos en Peñalolén: Confort térmico exterior como un caso de injusticia climática. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile, 2020. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175847
12. Guzmán Bravo, F, y et al. J. M. Ochoa de la Torre (2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 4, N°. 2. Dic, 2014. págs. 52-63. https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450
13. Cordero Ordóñez, X. (2014). Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona. Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2014. https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637?locale-attribute=es
14. Molar-Orozco, M. N. (2015). Análisis térmico de superficies horizontales en espacios públicos. Plaza Manuel Acuña y de Armas en Saltillo, México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, núm. 18, julio-diciembre, 2015, pp. 89-101. https://www.redalyc.org/journal/4779/477947306006/html/
15. Martínez Osorio. P., J. Gómez de Faria y P. da Cruz Landim.(2016) Ambiente, temperatura y uso de mobiliarios urbanos en espacios de convivencia abiertos. Conference paper. https://doi.org/10.5151/engpro-conaerg2016-7032
16. Smith Guerra, P. y C. Henríquez Ruíz (2016). Estudio del confort térmico y la calidad climática en el espacio público. Estudio de caso en la ciudad de Chillán, Chile. X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. DOI: http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-59
17. Chiarito, G. y E. Chiarito (2015). Evaluación de temperaturas urbanas de acuerdo al uso del suelo: Rosario. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/142516
18. Roco Castillo, F. J (2022). Temperatura superficial y tipologías de diseño urbano – residencial, relación a microescala climática, caso de la Comuna de Renca, como base para lineamientos de diseño urbano sensible al clima. Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile, 2022. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189813

# ANÁLISIS DE MATERIALES FRENTE A PRECIPITACIONES EN EL ESPACIO PÚBLICO EN LADERA

**David Osorio Díez**[1]

1 estudiante de arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia

1e-mail: dosoriod@unal.edu.co

## RESUMEN

El espacio público debe contar con criterios de selección de sus superficies de cobertura que ayuden a mitigar algunas de las problemáticas generadas por el cambio climático. Según el informe más reciente del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en el escenario C7 se espera un aumento de las precipitaciones anuales en casi todas las regiones continentales, lo cual a su vez llevaría a un aumento en el desbordamiento de ríos y deslizamientos de tierra. En las ciudades, el uso desmedido de materiales impermeables acentúa estas problemáticas. Medellín, ubicada en el trópico andino, presenta una densa ocupación en zonas de ladera, propensas a problemáticas ambientales relacionadas a las precipitaciones. Para mitigarlas, el espacio público debería contar con materiales con un bajo coeficiente de escorrentía, que respondan a las pendientes presentes en la ladera. El propósito de la investigación fue analizar la respuesta del espacio público en ladera ante la escorrentía. Para esto, se seleccionó un espacio público con las siguientes condiciones: Ubicación en ladera, cercanía a una estación meteorológica y diversidad de materiales y pendientes. A partir de información pluviométrica recolectada por la estación meteorológica, se revisa el volumen de escorrentía para escenarios en los que varían las proporciones de materiales de superficies de suelos, así como la intensidad de la lluvia según los cambios que se esperan para finales del siglo XXI en el trópico andino. Los resultados obtenidos demuestran que una mayor presencia de suelos permeables ayuda a reducir considerablemente el volumen de escorrentía generado.

**PALABRAS CLAVES:** Cambio climático, espacio público, ladera, materiales, escorrentía.

## ANALYSIS OF MATERIALS AGAINST PRECIPITATION IN PUBLIC SPACES ON HILLSIDES

## ABSTRACT

Public spaces should use criteria for selecting their surface materials to help mitigate some of the issues generated by climate change. According to the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in scenario C7, an increase in annual precipitation is expected in almost all continental regions, which would in turn lead to more river overflow and landslides. In cities, the excessive use of impermeable materials exacerbates these problems. Medellín, located in the Andean tropics, has dense occupation in hillside areas that are prone to environmental issues related to precipitation. To mitigate these issues, public spaces should use materials with a low runoff coefficient that respond to the slopes present in the hillside. The purpose of this research was to analyze the response of public space on slopes to runoff. For this, a public space was selected with the following conditions: location on a slope, proximity to a weather station, and diversity of materials and slopes. Based on rainfall data collected by the weather station, the volume of runoff was examined for scenarios where the proportions of surface materials vary, as well as the intensity of rainfall according to the changes expected by the end of the 21st century in the Andean tropics. The results obtained show that a greater presence of permeable soils significantly helps reduce the volume of runoff generated.

**KEY WORDS:** Climate change, public spaces, hillside, materials, runoff

## 1. INTRODUCCIÓN

Frente a escenarios de cambio climático, la humanidad se enfrenta a diversos eventos extremos, que varían desde fenómenos como el aumento en el nivel del mar y en las precipitaciones, hasta islas de calor y sequías. Según el informe más reciente del grupo intergubernamental de expertos en cambio climático (IPCC), en el escenario C7 se espera un aumento de las precipitaciones anuales en casi todas las regiones continentales [1]. Este aumento en las precipitaciones se relaciona de manera causal con eventos devastadores, como inundaciones, que son el fenómeno relacionado al cambio climático que en mayor medida afecta a las zonas urbanas [2]. Las ciudades ubicadas en regiones montañosas son particularmente vulnerables a eventos climáticos extremos. Por ejemplo, en relación con el aumento de las precipitaciones, en las ciudades montañosas el agua acumulada puede saturar el suelo, provocando deslizamientos de tierra y excesos de escorrentía, especialmente en zonas con poca vegetación o suelos impermeabilizados. Estas problemáticas se acentúan cuando se carece de infraestructura óptima para responder a los efectos climáticos, lo que sucede en diferentes ciudades de Latinoamérica y el caribe, donde un 50% de la población habita en zonas con riesgo alto de vulnerabilidad al cambio climático [3].

Medellín es uno de los 10 municipios que conforman la conurbación del área metropolitana del Valle de Aburrá, ubicado en el sistema montañoso de la Cordillera Central de Los Andes, en el departamento de Antioquia, Colombia. El clima del valle es tropical andino, con temperaturas entre los 17ºc y 28ºc, y una precipitación anual media entre 1501 y 2000 mm de agua precipitada. Con respecto al contexto geomorfológico, el valle de Aburrá presenta zonas de importante ladera hacia los costados oriente y occidente, y algunas zonas de mayor planicie hacia el centro del valle, cruzado por el rio Medellín, que lo atraviesa en sentido sur-norte [4]. Debido a su condición geomorfológica, en Medellín es común que se presenten fenómenos de deslizamientos e inundaciones durante la temporada de lluvias. Según el informe del Plan Integral de Cambio Climático de Antioquia (PIGCCT) en el departamento se espera para finales del siglo XX1 un aumento, en promedio, del 9,3% de precipitaciones anuales con respecto a los valores actuales [5].

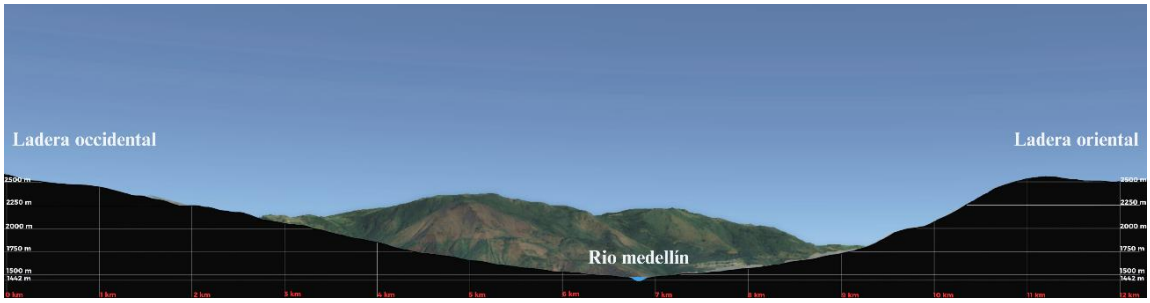



Figura 1: Diferencia de altura sobre el nivel del mar en el Valle de Aburrá. Villegas, C., Pérez, M. (2022). Sección de la franja 02 Medellín [Imagen]. Recuperado de “Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá”. Modificado por D. Osorio

En cuanto al contexto social, el área metropolitana del valle de Aburrá es la conurbación más densamente poblada de Colombia [6]. La ciudad de Medellín está dividida en 6 zonas geográficas, que a su vez se dividen en 16 comunas, siendo la zona nororiental del municipio de Medellín la más densamente poblada del valle de Aburrá [7]. Gran parte del suelo urbanizado de la zona nororiental presenta una importante condición de ladera. Históricamente las comunas de esta zona, como es el caso de Manrique, Aranjuez y Popular 1, han ido ocupándose por procesos de autogestión, debido al crecimiento urbano acelerado que se ha venido dando desde la segunda mitad del siglo XX [8]. Esta ocupación, carente de planificación municipal, ha llevado a la creación de suelo urbano con importantes déficits de espacio público [9] y con esto, a la predominancia de suelos duros en estas comunas. También es importante mencionar que las laderas presentan condiciones climáticas distintas a las de la planicie, sin embargo, el desarrollo urbano que se ha ido dando no tiene en cuenta la condición climática cambiante, trabajando solo a partir de materia urbanística e información bioclimática homogeneizada [10].

El objetivo de esta investigación es analizar la respuesta que los materiales del espacio público en ladera presentan frente a las precipitaciones y al potencial aumento de estas debido al cambio climático. Concretamente, se busca conocer la manera en que las proporciones entre distintos tipos de superficies de cobertura de suelos, divididas entre superficies duras y blandas, o impermeables y permeables, puede influir como factor que aumente o disminuya la escorrentía superficial, generada por la lluvia. De esta manera,

poder conocer cuales son los porcentajes óptimos de superficies de suelos, y que tanto pueden ayudar las superficies blandas en la disminución de efectos adversos como inundaciones y deslizamientos en la ladera.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Espacio público en ladera

Las laderas del Valle de Aburrá son algunas de las zonas más afectadas por deslizamientos en el territorio colombiano. Esto se da en gran medida debido a la expansión de asentamientos urbanos hacia zonas inestables [11]. Estas zonas también presentan importantes déficits de espacios públicos, hecho que puede aumentar esta problemática. Con el fin de compensar el déficit de espacio público en estos lugares, la municipalidad llevó espacios públicos a los barrios en ladera a través una iniciativa del año 2015, en la que la compañía de Empresas Públicas de Medellín (EPM) desarrolló un proyecto en el que se reciclaron antiguos tanques de agua en desuso, ahora inmersos en la expansiva trama urbana, y se generaron las Unidades de Vida Articuladas (UVAS), espacios públicos dinamizadores de los sectores donde se encuentran inmersos. Cada uno de estos espacios cuenta con un diseño específico que busca responder de forma óptima a las condiciones del contexto en que se implantan. La generación de espacios públicos en las laderas de Medellín es una oportunidad para la aplicación de suelos permeables o blandos en estas zonas.

### Materiales y escorrentía

La gran mayoría del suelo urbanizado en zonas de ladera de Medellín presenta superficies impermeables como el concreto, que sella al suelo. El sellado del suelo es la forma más intensa de degradación de la tierra y afecta todos los servicios ecosistémicos [12]. En respuesta a estas problemáticas, las ciudades deben adoptar estrategias de mitigación y de adaptación. Las primeras consisten en estrategias de reducción de los efectos adversos causados por la acción humana; las segundas consisten en hacer frente a los impactos inevitables que se prevé serán causados por el cambio climático [13]. Para combatir la problemática de las inundaciones en entornos urbanos, una de las estrategias de adaptación que puede utilizarse es la disminución de superficies de suelos impermeables, las cuales presentan mayores niveles de escorrentía.

La escorrentía se refiere al flujo de agua lluvia que circula sobre la superficie del suelo, cuando el volumen de agua supera la capacidad de infiltración y evaporación en el suelo. Esta se puede dar por 2 mecanismos, un exceso en la infiltración y un exceso en la saturación [14]. Con respecto al primero, también llamado flujo terrestre hortoniano, el exceso en la infiltración ocurre cuando el material de la superficie es altamente impermeable, como es el caso de las superficies en concreto, que están ampliamente presentes en los entornos urbanos.

Los materiales tienen un coeficiente de escorrentía asociado, el cual representa la relación entre la cantidad de agua precipitada sobre la superficie, y la lámina de agua que discurre en la superficie. Esto varía, en función de la capacidad de absorción del material de la superficie, así como la pendiente con la que cuente dicho material. En un material dispuesto de forma plana el agua que discurre es menor, y por lo tanto el coeficiente aumenta en función de la inclinación.

Previamente se han llevado a cabo investigaciones acerca de la escorrentía superficial como causa de inundaciones en zonas urbanas, con alcances de escala barrial e incluso urbana. Varias de estas investigaciones, realizadas en diversidad de latitudes y zonas geoclimaticas, como la ciudad de San Sebastián en España [15], el centro de la ciudad de Bogotá, en Colombia [16] o Cracovia en Polonia [17] han hecho uso de sistemas de información geográfica como QGIS o ARCGIS, y han demostrado la efectividad de estas herramientas para predecir el efecto de las precipitaciones en entornos urbanos, de forma sencilla y transversal a diversas áreas del conocimiento. Estas investigaciones han contado con escalas urbanas mayores a la propuesta en la presente investigación, por lo que la metodología propuesta debe adaptarse para la escala de un espacio público y su área circundante.

## 3. METODOLOGÍA

### Volumen de escorrentía

Para la investigación se utilizaron los coeficientes de escorrentía del Manual de Drenaje Urbano del Instituto Americano de Ingenieros Civiles (ASCE) [18].

Tabla 1: Coeficientes de escorrentía para distintos materiales en el espacio público

| Material | Pendiente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0-5% | 6-10% | 11-15% | 16-20% | 21-25% | 26-30% |
| Suelos impermeables (asfalto, concreto) | 0.70 | 0.95 | 0.98 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Suelo con césped | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |
| Suelo con vegetación (arborización) | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |

Para el cálculo del volumen de escorrentía en metros cúbicos que discurriría en el espacio se utiliza el método racional desarrollado por Emil Kuichling [19], enunciado en (1).

$$Q = C \times i \times A \qquad (1)$$

Donde
- $Q$ = Volumen de escorrentía (metros cúbicos / unidad de tiempo)
- $C$ = Coeficiente de escorrentía
- $i$ = Intensidad de las precipitaciones (milímetros / unidad de tiempo)
- $A$ = Área analizada (metros cuadrados)

**Caso de estudio**

Para el estudio metodológico, se utilizó un caso de estudio de un espacio público que presentase las siguientes condiciones: Ubicación en ladera, cercanía a una estación meteorológica y diversidad de materiales y pendientes. Este espacio público fue caracterizado a partir de los materiales de acabados de sus superficies de suelos y las disposiciones de estos, según la pendiente con la que contasen, para de esta manera utilizar ambos datos en el cálculo del coeficiente de escorrentía para cada superficie. El espacio público escogido fue la UVA de La Alegría, ubicada en el barrio Santa Inés en la comuna de Manrique. El espacio cuenta con un área total de 2,276.80 m2 (EPM). En Manrique se presenta una importante condición de ladera, con una altura de 1562 msnm en su punto más bajo y 2147 msnm en su punto más alto, por lo que importantes pendientes se vuelven elementos constitutivos del entorno construido.




Figura 2: Algunas de las pendientes presentes en la comuna de Manrique. Google. (2021). Google Street View [Imagen]. (Fuente: google.com.co/maps) Modificada por D. Osorio.

También se presenta un importante déficit de espacio público, siendo a su vez una de las comunas con mayor densidad poblacional de todo el valle, y, según el Departamento Administrativo de Gestión de Riesgo de Desastres de Antioquia (DAGRD) una de las más afectadas por fenómenos como inundaciones y deslizamientos durante las temporadas de lluvia [20]. Por todo esto se considera importante estudiar un espacio público en este sector.



Figura 3: Uva de la alegría. (Fuente: https://www.archdaily.co/co/787787/la-historia-de-como-medellin-convirtio-sus-tanques-de-agua-en-verdaderos-parques-publicos). Modificado por D. Osorio.

En este espacio público las superficies fueron construidas con tres materiales de acabado: suelo con césped, suelo con vegetación y suelos impermeables (asfalto, concreto). Mediante el software Qgis estos materiales fueron graficados como capas poligonales, que permitieron calcular las áreas de cada uno de estos materiales, representado en la Fig. 4.

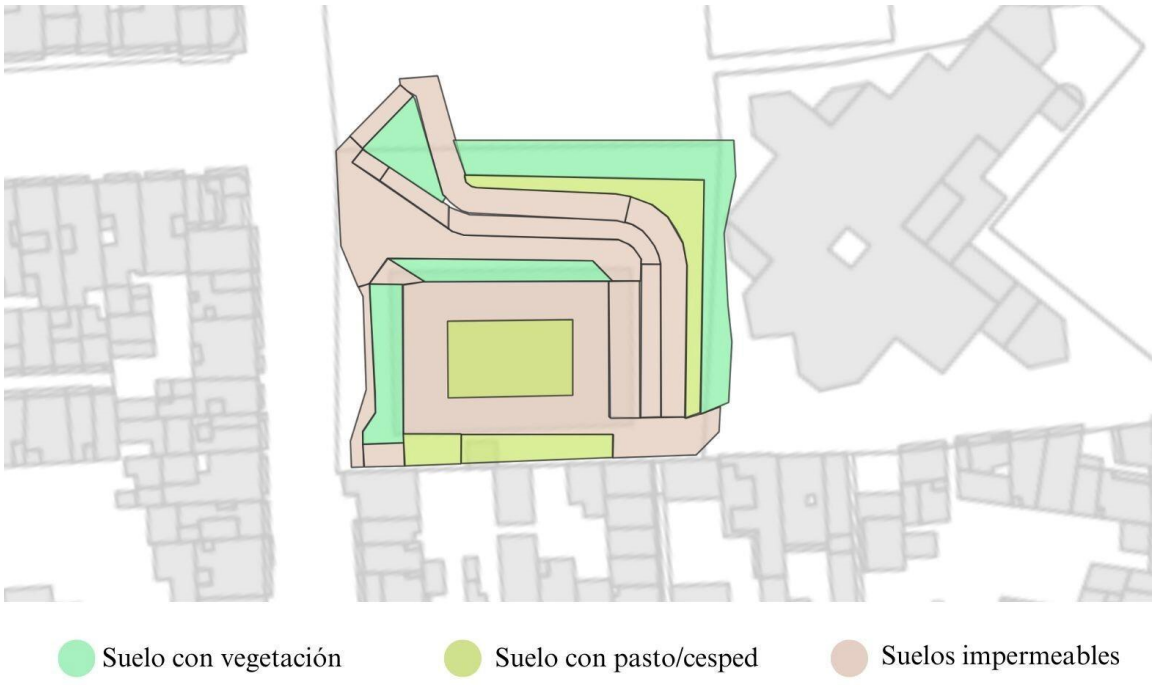



Figura 4: Clasificación según material de los suelos en la UVA de la alegría

Sobre la Fig. 4, se creó una capa que contase con las pendientes de cada uno de estos materiales (Fig. 5).

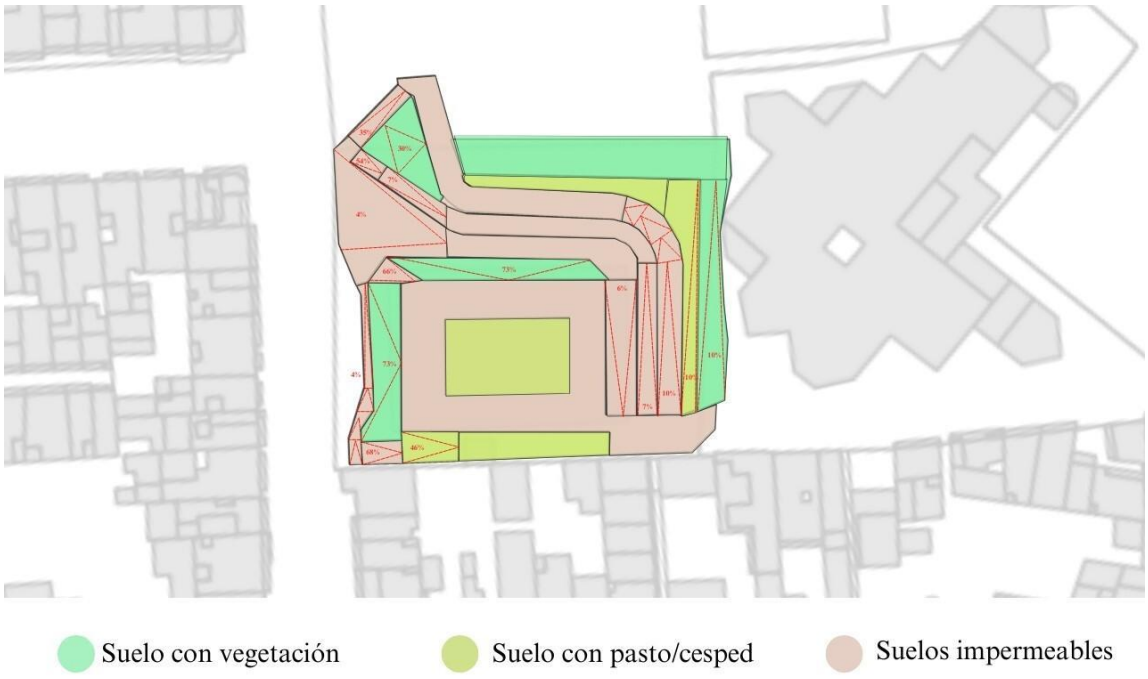



Figura 5: Superposición de pendientes sobre las capas de materiales.

La superposición de capas permite calcular el coeficiente de escorrentía, según los valores enunciados en la Tabla 1.

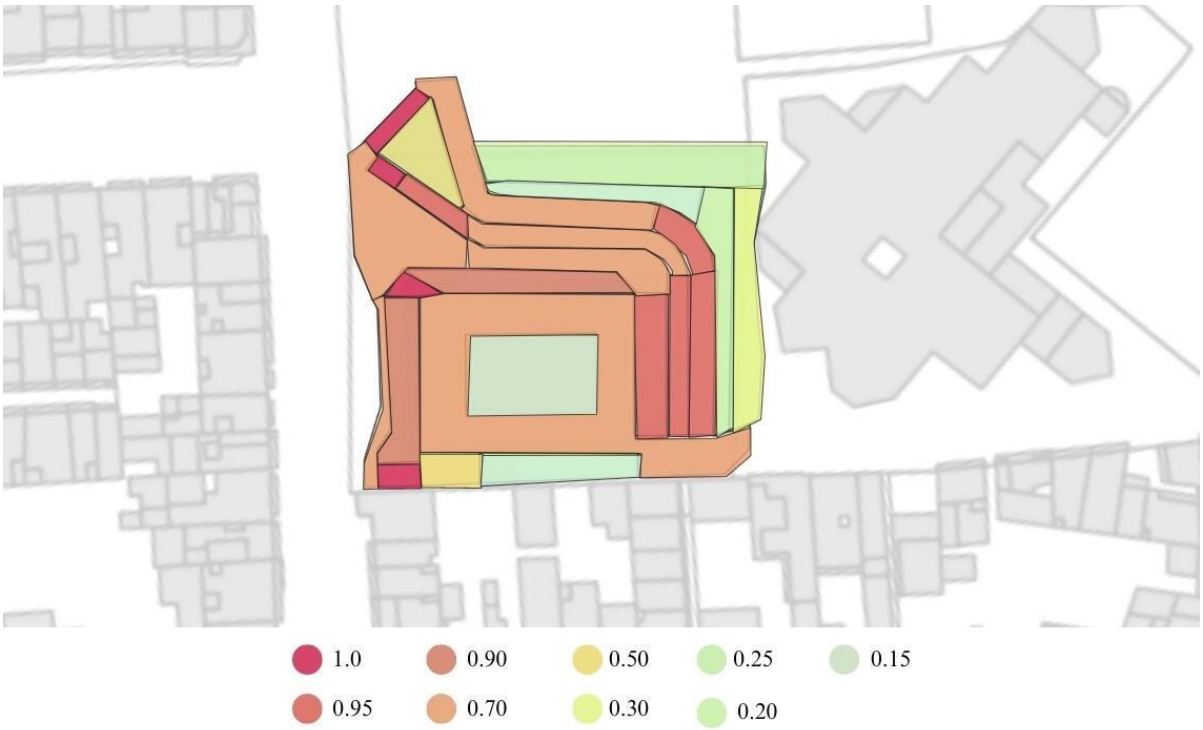



Figura 6: Coeficientes de escorrentía para cada área según su material y porcentaje de inclinación

**Información climática**

Los datos de precipitaciones utilizados fueron extraídos del Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) [21], que cuenta con una serie de estaciones que minuto a minuto recogen información climática de diversas zonas del valle. En específico, se utilizó la información de la estación meteorológica 645 Bello Oriente, ubicada en la ladera nororiental, a 1,600 metros al noreste del caso de estudio. De esta estación se descargó la información pluviométrica de todo el mes de mayo del año 2024. Se eligió trabajar con este mes, al ser el más lluvioso en promedio dentro del valle de Aburrá, por lo que se podrían extraer una amplia cantidad de registros en un corto período de tiempo.

Por medio del programa Microsoft Excel, los datos fueron organizados en una tabla, en la cual se identificaron un total de 44 eventos de precipitaciones, lloviendo 23 días de 31 en el mes. Los datos minutos a minuto de cada evento fueron sumados, dando como resultado el registro de lluvia acumulada en milímetros, para cada evento. Posteriormente se registraron los intervalos de tiempo, en horas, de cada uno de estos eventos. Se escogió trabajar con el intervalo temporal de una hora, debido a que la lámina de agua lluvia que discurre sobre un material se acumula por lo general en periodos de tiempo cortos, y en particular el fenómeno de las inundaciones y deslizamientos se genera en rangos de horas, e incluso minutos. Se dividió el dato de lluvia acumulado, entre el intervalo de tiempo del evento, dando como resultado la intensidad de cada evento, en milímetros/hora. Por último, se promedian los eventos, dando un valor de 1,24mm/hora. Este promedio sería el valor *i* de (1).

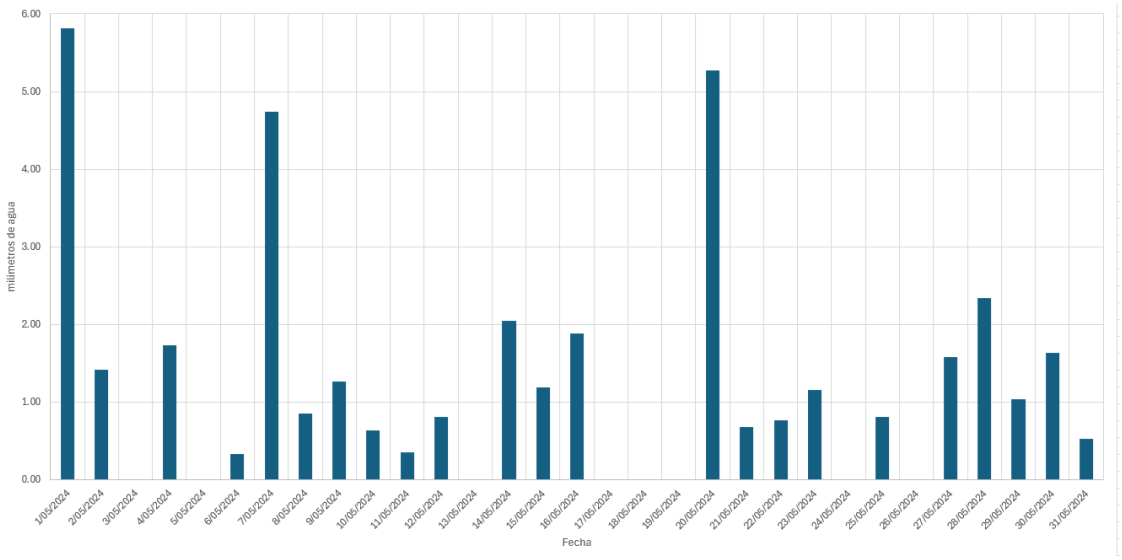



Figura 7: Acumulados de agua lluvia en milímetros, de eventos de precipitaciones registrados en el mes de mayo

**Transformación de porcentajes de materiales de superficies**

Para determinar cuáles son cuáles son los porcentajes óptimos de los materiales del espacio público frente a la escorrentía superficial, se alteran los porcentajes de materiales en el espacio público analizado. Para la conversión de los porcentajes, se determina cuánto porcentaje de cada uno de los materiales identificados está presente actualmente en el espacio. Del área total del espacio público un 69% de suelos son impermeables y un 31% de suelos son permeables, estos últimos divididos en un 13% de suelo con césped/pasto y un 18% de suelo con vegetación.

Para conocer el cambio del coeficiente de escorrentía en función del aumento de superficies permeables, se hace un escenario en que los suelos impermeables y permeables ocupan porcentajes iguales del proyecto, teniendo un 50% de suelos impermeables y un 50% de suelos permeables, estos últimos divididos en un 25% de suelo con césped/pasto y un 25% de suelo con vegetación.

Tabla 2: Aumento de porcentajes de suelos permeables

| Materiales | Escenario 1 (actual) | Escenario 2 (transformado) |
|---|---|---|
| **Suelos impermeables** | 69% | 50% |
| **Suelo con césped** | 13% | 25% |
| **Suelo con vegetación** | 18% | 25% |

## 4. RESULTADOS

Para hacer el cálculo de la fórmula (1) en el escenario actual, se multiplican los coeficientes de escorrentía identificados en la Fig. 6 por el área específica que cada uno de estos ocupa. Esto se hace con el propósito de tener mayor precisión en los resultados, que si únicamente se contara con un valor para *C* que representara un promedio para la totalidad del espacio. Posteriormente, se multiplican por el valor *i* de 0,124 m/hora, obteniendo volúmenes de escorrentía específicos para cada área. El volumen de escorrentía total *Q* sería la sumatoria de todos los volúmenes de escorrentía específico. Los resultados del procedimiento son enunciados en la Tabla 3.

Tabla 3: Volumen de escorrentía para el escenario actual del espacio

| Coeficiente de Escorrentía especifico (Ce) | Área específica (m2) | Fórmula (1) para áreas específicas (Ae) Q = Σ (Ce x Ae x i) |
|---|---|---|
| 0.15 | 196.50 | 3.65 |
| 0.20 | 83.05 | 2.05 |
| 0.25 | 131.55 | 4.07 |
| 0.30 | 76.80 | 2.85 |
| 0.50 | 49.95 | 3.09 |
| 0.70 | 1397.15 | 121.27 |
| 0.90 | 131.90 | 14.72 |
| 0.95 | 158.15 | 18.63 |
| 1.0 | 51.75 | 6.41 |
| **Total** | 2276.80 | 176.78 |

Se tiene que, para el escenario actual, el volumen de escorrentía en el área total del espacio público analizado es de 176.78 m3/hora.

Para calcular el coeficiente de escorrentía con que contaría el espacio en el escenario 2, y que este tenga en cuenta la información de las pendientes presentes en el espacio, se saca un coeficiente de escorrentía equivalente (*Ce*), calculado a partir del volumen de escorrentía total Q. Posteriormente, por medio de una regla de proporcionalidad, se calcula cuál sería el valor de *C* para el escenario 2 (*C2)*. La regla de proporcionalidad se realiza con los valores para el suelo impermeable, pues estos son de los que más depende el aumento o disminución del volumen de escorrentía. El procedimiento es enunciado en la fórmula (2)

$$Ce = \frac{176.78}{(0.124 \times 2276.8)}$$

$$Ce = 0.62$$

$$\frac{C2}{0.62} = \frac{50}{69}$$

$$C2 = 0.45 \qquad (2)$$

Se tiene entonces que el coeficiente de escorrentía para el escenario 2 es *C2* = 0.45. Con esto, se aplica (1), dando como resultado el volumen de escorrentía que discurriría en el espacio, con el cambio de proporciones de materiales.

$$Q = 0.45 \times 0.124 \frac{m}{h} \times 2276.80 m^2$$

$$Q = 127.04 \frac{m^3}{h} \qquad (3)$$

Por último, al valor *i* se aplica el incremento proyectado del 9,3% que se espera sea el aumento en las precipitaciones en el departamento de Antioquia para finales del siglo XXI (*i2)*. Este nuevo valor es utilizado en ambos escenarios. En el caso del escenario 1 (actual), *i2* se vuelve a multiplicar por cada uno de los valores de escorrentía y áreas específicas. Para el escenario 2 solo se reemplaza el valor *i* por *i2* en (1). Finalmente, los 4 volúmenes de escorrentía obtenidos son enunciados en la Tabla 4.

Tabla 4: Volumen de escorrentía para los 4 escenarios analizados: porcentaje de suelo impermeable actual con intensidad de la lluvia actual; porcentaje de suelo impermeable disminuido con intensidad de lluvia actual; porcentaje de suelo impermeable actual con intensidad de lluvia aumentada; porcentaje de suelo impermeable disminuido con intensidad de lluvia aumentada.

| **Escenarios** | **2024** (0.124 m/hora) | **2090** (0.135 m/hora) |
|---|---|---|
| **Escenario 1** (actual) | **176.78 m3/hora** | **192.46 m3/hora** |
| **Escenario 2** (menor porcentaje de suelo impermeable) | **127.04 m3/hora** | **138.31 m3/hora** |

## 5. CONCLUSIONES

El espacio público analizado cuenta con una gran cantidad de suelos impermeables, que representan casi un 70% de la totalidad de suelos del proyecto. Esto termina generando en el espacio, un coeficiente de escorrentía alto, de 0.62, que en zonas urbanas representa un riesgo de inundación.

A la alta cantidad de suelos impermeables, se suma la presencia de numerosas superficies con inclinación, que terminaron teniendo una influencia sobre el coeficiente global mayor a la esperada. La presencia de estas inclinaciones incluso afectó de forma considerable la absorbencia de los suelos blandos, en específico, los suelos con vegetación perimetrales al proyecto.

Teniendo en cuenta la influencia que las pendientes del sitio tienen sobre el aumento del coeficiente de escorrentía, la escogencia de materiales de superficies de pisos en proyectos de espacio público en ladera debería darse en función de las pendientes del espacio. Se entiende que, debido a su localización, es común que los espacios públicos en ladera presentes considerables pendientes, que respondan de forma óptima al contexto circundante. Aun así, también puede valer la pena revisar como un cambio en la disposición de las superficies, disminuyendo las pendientes en algunas de estas, puede reducir el volumen de escorrentía.

La Tabla 4 evidencia que reducir las superficies de suelos impermeables puede ayudar a reducir la escorrentía de forma tal que, aun con el aumento en las precipitaciones para finales del siglo, siguen obteniéndose valores menores a la escorrentía que el espacio presenta actualmente. Aun así, se entiende que en el espacio público es necesario contar con variedad de superficies permeables e impermeables, y, en caso de necesitarse un alto porcentaje de las segundas, valdría la pena analizar otro tipo de estrategias en superficies intermedias, como pavimentos permeables. Igualmente se insiste en una mayor integración de suelos verdes, debido a las demás ventajas que este tipo de superficies presentan en zonas urbanas, como lo es la reducción del efecto isla de calor o el valor paisajístico y ecosistémico, aparte de que las soluciones basadas en elementos naturales resultan más rentables a la hora de mitigar desastres ambientales [22].

Por último, también se consideraría interesante la posibilidad de responder a la escorrentía en ladera, almacenándola para su aprovechamiento en zonas urbanas, y la revisión de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en estos espacios.

## RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecer a los docentes de la asignatura Énfasis en bioclimática 1, de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

## REFERENCIAS

1. CALVIN, K; DASGUPTA, D; KRINNER, G; MUKHERJI, A., THORNE, P, W; TRISOS, C; ROMERO, J; ALDUNCE, P; BARRETT, K; BLANCO, G; CHEUNG, W; CONNORS, S; DENTON, F; DIONGUE-NIANG, A; DODMAN, D; GARSCHAGEN, M; GEDEN, O; HAYWARD, B; JONES, C. "Climate Change 2023: Synthesis Report." Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. Geneva, Switzerland, Aug. 2023.70 pp.

2. MOLINA PRIETO, Luis. "Resiliencia a inundaciones: Nuevo paradigma para el diseño urbano". *Revista de Arquitectura*, 2016, vol 18, pp. 82 – 94.

3. NOVILLO RAMEIX, Natalia. "Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe". *Letras verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 2018, núm. 24, pp. 124 – 142.

4. AMVA. *Área Metropolitana del Valle de Aburrá* [en línea]. 2019 [accedido en 2024-05-21]. Disponible en Web: https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/Historia.aspx.

5. PIGCCT. *Plan Integral de cambio climático de Antioquia* [En línea]. 2018 [accedido en 2024-07-21]. Disponible en Web: https://finanzasdelclima.dnp.gov.co/Paginas/index.aspx.

6. DANE. *Departamento administrativo nacional de estadística* [En línea]. 2018 [accedido en 2024-05-17]. Disponible en Web: https://www.dane.gov.co/.

7. *Secretaría de Salud de Medellín* [En línea]. 2018. [accedido en 2024-04-28]. Disponible en Web: https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-de-salud/.

8. RUIZ BOTERO, Luz Dary; VILLA BECERRA, Hugo Alexander; MONTOYA BEDOYA, Diego Mauricio. "Medellín, la ciudad de la ladera en disputa con la imaginada". *Revista Limaq*. 2018. núm 004, pp. 143–163.

9. TORRES, Luisa Fernanda. "Actualización del sistema de gestión del espacio público (SGEP)" Asesor: Juan Camilo Hinestroza. Informe final de prácticas interinstitucionales, Tecnológico de Antioquia, Medellín, 2020.

10. ARANGO, John; MARIN, Leidy Milena; OROZCO, David Alejandro; VILLEGAS, Juan Camilo; HERNANDÉZ, Yury Andrea; LOPEZ, Daniel. *Revista científica de arquitectura y urbanismo*, 2023, vol 44, núm 1, pp. 54 - 62.

11. ARISTIZÁBAL, Edier; YOKOTA, Shuichiro. "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá". *Dyna*, 2006, núm 149, pp. 5 - 16.

12. TOBIAS, Silvia; CONEN, Franz; DUSS, Adrian; WENZEL, Leonore M; BUSER, Christine; ALEWELL, Christine. "Soil sealing and unsealing: State of art and examples". *Land Degradation and Development*, 2018, vol 29, núm. 6, pp 1 – 10.

13. OECD. *Organización para la cooperación y el desarrollo económico*. [En línea]. 2013 [accedido en 2024-06-10] Disponible en Web: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/water-and-climate-change-adaptation_9789264200449-en.

14. XIE, Zhenghui; SU, Fengge; LIANG, Xu; ZENG, Qingcum; HAO, Zhenchum; GUO, Yufu. "Applications of a Surface runoff model with Horton and Dunne Runoff for VIC". *Advances in atmospheric sciences*, 2003, Vol 20, núm. 2, pp. 165 – 172.

15. JATO-ESPINO, Daniel; CHARLESWORTH, Susanne M.; BAYON, Joseba R.; WARWICK, Frank. "Rainfall-runoff simulations to assess the potential of suds for mitigating flooding in highly urbanized catchments". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, vol. 13, núm 1. Pp 1 - 13.

16. ACOSTA BARRAGÁN, Juan Camilo. "Cálculo de la escorrentía urbana para el centro de la Ciudad de Bogotá por medio de sistemas de información geográfico". Asesor: Juan Guillermo Saldarriaga Valderrama. Proyecto de grado de maestría, Universidad de los Andes, Bogotá, 2013.

17. PORĘBSKA, Anna; MUSZYŃSKI, Krzysztof; GODYŃ, Izabela; RACOŃ-LEJA, Kinga. "City and Water Risk: Accumulated Runoff Mapping Analysis as a Tool for Sustainable Land Use Planning". *Land*, 2023, vol. 12, núm 7, pp 1 – 21.

18. ASCE. Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. American Society of Civil Engineers. Virginia. United States of America. 1992.

19. DHAKAL, Nirajan; FANG, Xing; CLEVELAND, Theodore; THOMPSON, David; ASQUITH, William; MARZEN, Luke. "Estimation of Volumetric Runoff Coefficients for Texas Watersheds Using Land-Use and Rainfall-Runoff Data". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2012, vol 138, núm 1, pp. 43 – 54.

20. DAGRD. Departamento administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres [En línea]. 2024 [accedido en 2024-05-17] Disponible en Web: https://www.medellin.gov.co/es/dagrd/.

21. SIATA. Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá [en línea]. 2024 [accedido en 2024-07-10]. Disponible en Web: https://siata.gov.co/siata_nuevo/.

22. VICARELLI, Marta; SUDMEIER-RIEIUX, Karen; ALSADADI, Ali; SCHÜTZE, Simon; KANG, Michael; LEUE, Madeline; WASIELEWSKI, David; MYSIAK, Jaroslav. "On the cost-effectiveness of Nature-based Solutions for reducing disaster risk" *Science of the total environment*, 2024, vol 497, pp. 1 – 13.

**sobre los autores**

David Osorio Díez es estudiante del pregrado de arquitectura en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

# DESARROLLO DE UN MARCO PARA LA TRANSICIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LAS EMPRESAS TURÍSTICAS

**Blanca de Miguel-Molina[1], Marival Segarra Oña[2], María de Miguel-Molina[3], Ángel Peiró-Signes[4]**

[1,2,3,4] Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n 46022 Valencia, Valencia, España

[1]e-mail: bdemigu@upv.edu.es

**RESUMEN**

Este artículo proporciona un marco de trabajo diseñado para guiar a las empresas en su transición hacia la economía circular, enfocado en la industria del turismo. El marco está organizado en cinco etapas y siete herramientas. Las cinco etapas están concebidas para apoyar a las empresas a lo largo de su camino circular e incluyen concienciación, barreras, decisiones, implementación y comunicación. Las siete herramientas contienen un mapa de actividades en la economía circular realizadas por otras empresas, un análisis de necesidades, ejemplos de buenas prácticas, una evaluación del nivel de circularidad, y medios para comunicar los avances y la formación esencial para las empresas. Se diseña un cuestionario con quince preguntas abiertas para evaluar las herramientas y seis expertos participan en la evaluación. Las preguntas incluyen recomendaciones y conclusiones sobre cada herramienta, y las respuestas se examinan mediante análisis de contenido para organizar la información por códigos. Los resultados ofrecen asistencia importante a las empresas sobre consideraciones previas antes de implementar las siete herramientas.

**PALABRAS CLAVES:** Economía circular, Turismo, Hospitalidad, Apoyo a PYMES, Eco-innovación.

**ABSTRACT**

This paper provides a framework designed to guide companies in their transition towards the circular economy, with a focus on the tourism industry. The framework is organized into five stages and seven tools. The five stages are conceived to support companies throughout their circular journey and include awareness, barriers, decisions, implementation, and communication. The seven tools contain a map of circular economy activities carried out by other companies, a needs analysis, examples of good practices, an evaluation of the level of circularity, and means to communicate progress and the essential training for companies. A questionnaire with fifteen open-ended questions is designed to evaluate the tools, and six experts participate in the evaluation. The questions include recommendations and conclusions about each tool, and the responses are examined through content analysis to organize the information by codes. The results provide significant assistance to companies regarding considerations prior to implementing the seven tools.

**KEY WORDS:** Circular economy, Tourism, Hospitality, SME support, Eco-innovation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria turística en España es un contribuyente significativo a la economía del país, representando el 11,6% del PIB en 2022 [1]. El impacto de la industria es innegable y cuenta con un número sustancial de establecimientos, incluidos 40.444 en el sector de alojamiento y 308.310 en actividades de servicios de alimentos y bebidas [2]. El tamaño promedio de las empresas es de 8,3 empleados en alojamiento y 4,1 en servicios de alimentos y bebidas. En el caso de hoteles y otros servicios de alojamiento, las compras de alimentos por establecimiento representaron el 74% del total de compras, mientras que la cifra fue del 5,7% para textiles y accesorios [3]. Considerando que España recibió 71.659.282 turistas en 2022, estas estadísticas subrayan la importancia de nuestra investigación en proporcionar un marco para las empresas en transición hacia la economía circular en la industria turística.

Una economía circular "es un sistema donde los materiales nunca se convierten en desechos y la naturaleza se regenera" [4], y la expresión "transición a una economía circular" se refiere a una economía que ahorra recursos y reduce el uso de materias primas y recursos energéticos [5]. Por lo tanto, nuestro

marco tiene como objetivo ayudar a los hoteles y restaurantes, que son empresas de tamaño reducido como se mencionó anteriormente, a volverse más circulares.
Este trabajo presenta el marco que desarrollamos en el grupo de trabajo InnoecoLab (https://innoecolab.webs.upv.es/en/) para apoyar a los hoteles y restaurantes en su transición hacia la economía circular. El marco es el resultado de dos proyectos financiados por la Agencia Valenciana de la Innovación (AVI) que fueron realizados por el grupo de trabajo InnoecoLab, llamados InnoecoTur y LabHot-EC (https://innoecotur.webs.upv.es/en/).

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA TURÍSTICA

La literatura sobre la economía circular en la industria turística ha progresado en los últimos cinco años. Se realizaron diferentes búsquedas en la Web of Science para analizar los temas principales cubiertos en la literatura desde 2018 hasta 2024 utilizando una combinación de consultas que incluyeron "economía circular" y "hotel", "turismo", "restaurante" y "hospitalidad". Se seleccionaron 57 artículos para el análisis después de leer los resúmenes.
El software VOSviewer [6] se utilizó para analizar los temas presentes en los 57 artículos seleccionados. Los resultados se muestran en la Figura 1 con la red de palabras clave detectadas agrupadas por palabras clave y años.

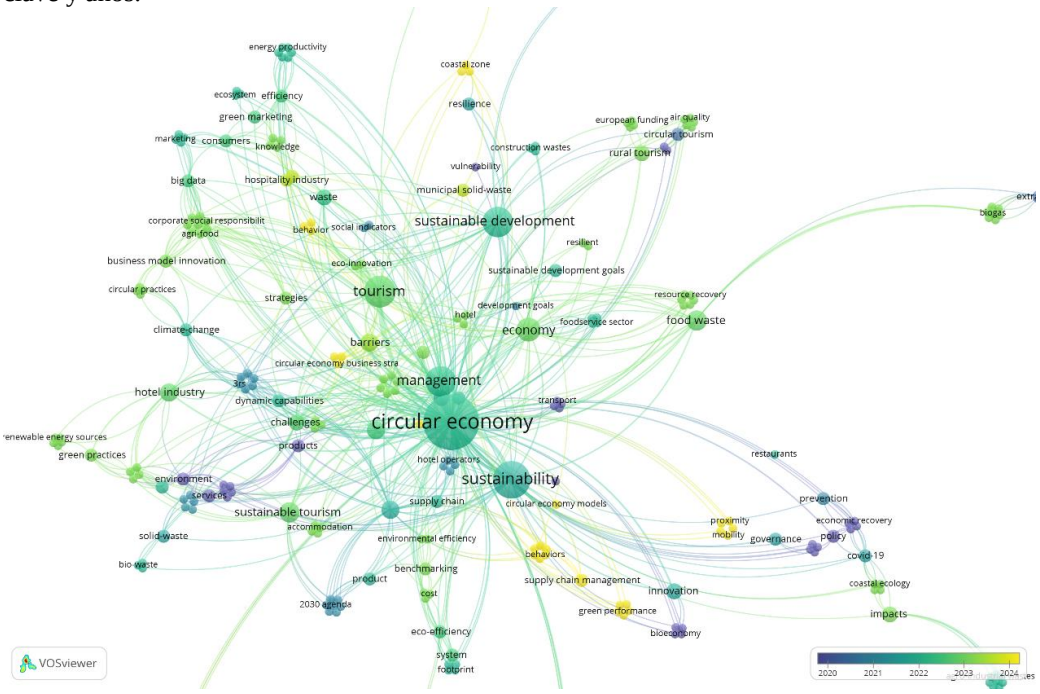


Figura 1. Red de palabras clave por años. Elaborada utilizando VOSviewer.

La Figura 1 muestra el análisis de palabras clave y artículos, indicando que en 2019 los trabajos resaltaban el potencial de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para hacer que la industria turística sea más sostenible [7]. En 2020, los artículos se centraron en la pandemia y el papel de las prácticas turísticas en el desarrollo de una economía circular [8]. En 2021, las palabras clave más destacadas fueron producción más limpia, eficiencia de recursos y consumo y producción sostenibles. Los artículos de ese año subrayaron la importancia de incentivar las actividades de las 3 R en la economía circular: reducir, reutilizar, reciclar [9]. En 2022, las palabras clave se relacionaron con la huella de la industria, la ecologización de la industria turística y el marco DPSIR. El marco Fuerzas Motrices–Presiones–Estado–Impactos–Respuestas (DPSIR) es un marco conceptual que explica las interacciones entre la sociedad y el medio ambiente [10]. En 2023, las palabras clave utilizadas incluyeron gerentes, estrategias, barreras, transición verde y reducción. El enfoque en 2024 es la transición hacia la economía circular, las barreras que impiden esta transición, las estrategias para alcanzarla y las actividades circulares centradas en la reducción. Los artículos de este año han resaltado el desafío de los residuos municipales en la industria turística [11]. En 2024, las palabras clave son gestión de residuos alimentarios, comportamiento del gerente, empleados de hoteles, compromiso de las partes interesadas, gestión de la cadena de suministro, biomasa y el marco 9-R. Estas palabras clave se enfocan en la

implementación de la economía circular. Los empleados están fuertemente involucrados en la aplicación de estrategias junto con otras partes interesadas, incluidos los proveedores, a lo largo de la cadena de valor. Además, el marco 9-R indica que otras actividades además de reducir, reutilizar y reciclar están incluidas en la implementación de políticas circulares. La literatura de este año también se centra en las prácticas circulares de alimentos y vinos en el turismo [12, 13].

## 3. MARCO PARA APOYAR A LAS EMPRESAS EN SU TRANSICIÓN HACIA LA ECONOMÍA CIRCULAR

Se ideó un marco de cinco pasos para guiar a las empresas de la industria turística en su transición hacia la economía circular. Estos pasos incluyen conciencia, barreras, decisiones, implementación y comunicación [14]. Cada paso ofrece herramientas para apoyar a las empresas (Figura 2).

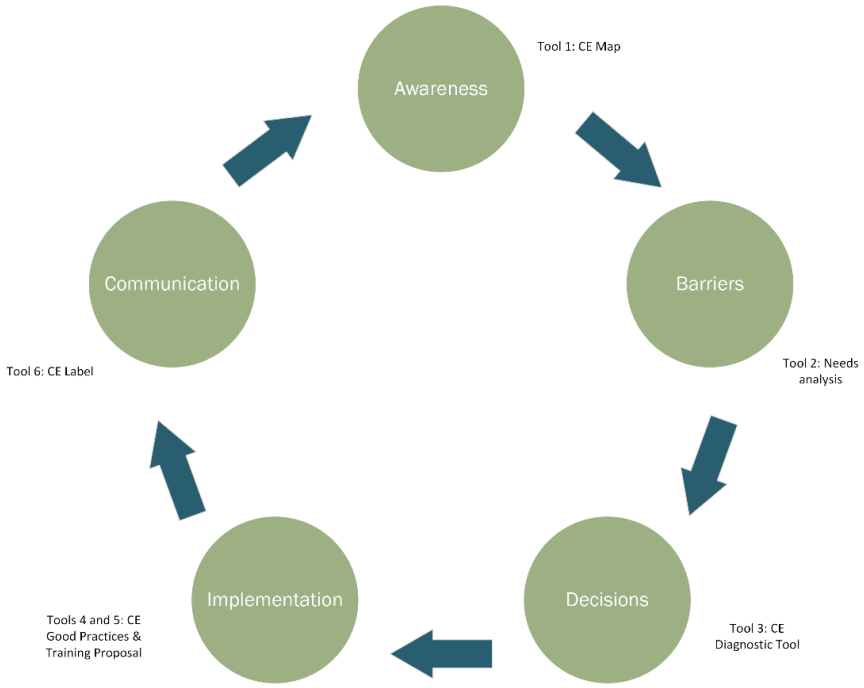



Figura 2. El viaje de transición hacia la economía circular. Fuente: elaboración propia de los autores

Paso 1. Conciencia. Este paso es para hoteles y restaurantes que deseen hacer la transición hacia la economía circular. La herramienta diseñada para este paso es el Mapa Dinámico de Economía Circular (CE Map), que informa a las empresas sobre lo que otras empresas del sector están haciendo.
Paso 2. Barreras. En este paso, las empresas evalúan las barreras y facilitadores relacionados con la transición hacia la economía circular. Se ofrece orientación a las empresas a través de un Análisis de Necesidades.
Paso 3. Decisiones. Las empresas toman decisiones basadas en las barreras y facilitadores, lo que hacen los competidores, lo que quieren los clientes y la legislación. La herramienta utilizada aquí es la Herramienta de Diagnóstico de Economía Circular (CE Diagnostic Tool), que ayuda a las empresas a decidir qué actividades implementar.
Paso 4. Implementación. En este paso, las empresas implementan las R relacionadas con la economía circular, como reducir y reciclar. También capacitan a los empleados y a los clientes. La herramienta de Buenas Prácticas CE se utiliza para detectar actividades adicionales que podrían implementarse. También se consideran propuestas de capacitación en la evaluación.
Paso 5. Comunicación. En este paso, las empresas informan sobre sus avances en su transición hacia la economía circular a sus clientes, al gobierno local y a otras partes interesadas. La herramienta utilizada en este paso es la Etiqueta de Economía Circular (CE Label), que permite a las empresas obtener un reconocimiento por sus esfuerzos en circularidad, además de mejorar la comunicación.

Seis expertos evaluaron cada herramienta y ofrecieron sus recomendaciones y conclusiones sobre las seis herramientas. La Sección 5 presenta los resultados de la evaluación.

## 4. METODOLOGÍA

La información para evaluar cada herramienta se obtuvo a través de un cuestionario con quince preguntas abiertas utilizando Google Forms. Los seis expertos que respondieron al cuestionario pertenecían a cuatro universidades de la Región Valenciana (Universidad de Alicante, Universitat de València, Universitat Jaume I de Castellón y Universitat Politècnica de València). El cuestionario incluía dos preguntas sobre cada herramienta, con recomendaciones o sugerencias para las empresas al utilizar una herramienta y las principales conclusiones para las seis herramientas consideradas en este trabajo (utilidad, límites y mejoras futuras) (Tabla 1).

Tabla 1. Cuestionario sobre recomendaciones y conclusiones para cada herramienta.

| Herramienta | Preguntas para expertos |
|---|---|
| Mapa CE | 1.1. Dos sugerencias para las empresas cuando consulten el Mapa CE.<br>1.2. Dos conclusiones sobre el Mapa CE (utilidad, límites, mejoras futuras). |
| Análisis de Necesidades CE | 2.1. Dos sugerencias para las empresas cuando consulten el Análisis de Necesidades CE.<br>2.2. Dos conclusiones sobre el Análisis de Necesidades CE. |
| Herramienta de Diagnóstico CE | 3.1. Dos sugerencias para las empresas cuando utilicen la Herramienta de Diagnóstico CE.<br>3.2. Dos conclusiones sobre la Herramienta de Diagnóstico CE. |
| Herramienta de Buenas Prácticas CE | 4.1. Dos sugerencias para las empresas cuando consulten la Herramienta de Buenas Prácticas CE.<br>4.2. Dos conclusiones sobre la Herramienta de Buenas Prácticas CE. |
| Capacitación CE | 5.1. Dos sugerencias para las empresas al buscar capacitación en economía circular.<br>5.2. Dos conclusiones sobre la capacitación necesaria en economía circular relacionada con las herramientas analizadas en este cuestionario. |
| Etiqueta CE | 6.1. Dos sugerencias para las empresas cuando consideren obtener una etiqueta.<br>6.2. Dos conclusiones sobre la Etiqueta CE. |

Fuente: Proyecto Innoecotur (2023)

El análisis de contenido se utilizó para analizar la información y las respuestas recopiladas en el cuestionario con el software QDAMiner v5. Se definieron grupos de códigos (23) en este análisis de contenido siguiendo la misma estructura para cada herramienta: a) sugerencias, b) conclusiones y c) ideas para mejorar.

## 5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

El Mapa CE El Mapa CE ofrece a las empresas la oportunidad de ver lo que otros hoteles y restaurantes están haciendo y les proporciona información sobre los proveedores involucrados en la cadena de economía circular. El mapa ofrece información sobre las actividades circulares de las empresas y puede relacionarse con las actividades R [15] y los Objetivos de Desarrollo Sostenible [16]. El mapa incluye algunos filtros para que las empresas puedan seleccionar las actividades y palabras clave más adecuadas. Esto facilita la búsqueda de otras empresas en el sector. El mapa se puede consultar en el sitio web del proyecto LabHot-EC e Innoecotur (https://innoecotur.webs.upv.es/en/mapa/).
Las recomendaciones de los expertos para el mapa después de su evaluación fueron las siguientes:

- Antes de la búsqueda, recomendaron que las empresas intentaran comprender las diferentes certificaciones y etiquetas disponibles para seleccionar aquellas que mejor cumplan con sus valores y objetivos.

- Cuando las empresas usen filtros, los expertos recomendaron seleccionar un área geográfica, el negocio y las palabras clave para identificar socios que cumplan con sus necesidades y criterios de sostenibilidad.

- Cuando las empresas obtengan los resultados, los expertos les aconsejaron analizar el mapa y hacer un benchmarking para encontrar ideas sobre qué áreas podrían adaptar y utilizar en sus empresas.
- También sugirieron promover el mapa para crear una comunidad de empresas más conscientes del medio ambiente y más comprometidas con la sostenibilidad.

Las conclusiones de los expertos se referían a la utilidad del mapa y su potencial actual y futuro. Indicaron la capacidad de respuesta del mapa al buscar información sobre posibles competidores y socios. El mapa también ofrece visibilidad a las empresas que participan en actividades centradas en el turismo sostenible. En cuanto al potencial del mapa, los expertos consideraron que los efectos de red aumentarían el valor del mapa.
Las ideas de los expertos para mejorar el Mapa CE incluían mejorar los filtros (opciones) y la información disponible. En cuanto a los filtros, los expertos señalaron que el mapa podría incluir el tamaño de la empresa para refinar las búsquedas posteriores. También pensaron que los filtros podrían ampliarse. Además, indicaron que había varias etiquetas en el mapa que podrían resultar confusas para las empresas. Propusieron una solución basada en una estructura o clasificación de etiquetas para ayudar a entenderlas e identificar los estándares de sostenibilidad aplicados a cada una. Los expertos también dijeron que la información disponible en el mapa podría ampliarse en los próximos años para convertir el mapa en una herramienta altamente robusta. También destacaron que era necesario promover el mapa para aumentar el número de empresas incluidas en él y que lo utilizan. La cooperación con asociaciones empresariales turísticas y agencias públicas podría ayudar a llegar a más empresas.

**El Análisis de Necesidades CE**

El Análisis de Necesidades se refiere a dos informes realizados con la información proporcionada por empresas de la industria turística (hoteles, restaurantes y sus proveedores) en grupos focales y en investigación-acción participativa [17, 18]. Los informes tenían como objetivo ayudar a las empresas a comprender las barreras que otras empresas encontraron en su transición hacia la economía circular. Estas empresas también obtuvieron información sobre recursos y capacidades que otras empresas señalaron como requisitos para implementar actividades circulares, por ejemplo, relacionadas con las R [15]. Además, esto les ayudará a darse cuenta del valor que la economía circular les ha brindado.
Después de evaluar los dos informes, los expertos recomendaron incluir instrumentos de medición antes de aplicar las R (reducir, recuperar, reutilizar, etc.). También sugirieron que las empresas deberían utilizar benchmarks para compararse con otras empresas del sector, evaluar su posición circular, obtener ideas y optimizar su enfoque hacia la economía circular. Además, recomendaron crear una lista de desafíos, priorizar necesidades, considerar la cooperación y alinear la economía circular con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para concienciar a empleados y clientes sobre la importancia de ser circulares.
Las conclusiones de los expertos sobre el Análisis de Necesidades indicaron que la transición hacia la economía circular requiere comprender barreras como la necesidad de recursos financieros y formación sobre lo que es una economía circular. Por último, es crucial identificar necesidades, desafíos y áreas de mejora para tomar decisiones basadas en información y planificación estratégica, de modo que puedan abordar estos desafíos.
Las ideas de los expertos para mejorar el Análisis de Necesidades CE se centraron en la metodología utilizada para recopilar información: los grupos focales. La limitación de esta metodología es que el análisis se restringe a un momento particular y se basa en un número limitado de personas. Esto podría llevar a que las opiniones de otras personas y experiencias en la industria turística se pasen por alto. El uso de métodos de investigación adicionales para recopilar información podría ampliar las perspectivas analizadas. Los expertos también señalaron que las limitaciones podrían resolverse mediante un monitoreo continuo de los cambios en las necesidades de las empresas y las condiciones de la industria.

**La Herramienta de Diagnóstico CE**

La Herramienta de Diagnóstico [19] se basa en las actividades circulares de hoteles y restaurantes [20]. Su objetivo es realizar un auto-diagnóstico de la economía circular para detectar las actividades que las empresas ya están llevando a cabo y aquellas que podrían implementarse. La herramienta consta de un archivo Excel y dos documentos complementarios para apoyar a las empresas en el uso del archivo Excel. Este archivo incluye celdas para ingresar información sobre el perfil de los hoteles con un plan para medir

el agua, los residuos, el desperdicio de alimentos y la energía, y obtener la evaluación. El archivo permite a las empresas guardar sus datos en diferentes períodos, lo que facilita comparaciones entre ellos.
Después de evaluar la herramienta, los expertos recomendaron a las empresas utilizarla activamente, incluyéndola en la toma de decisiones y realizando autoevaluaciones paso a paso, centrándose en los recursos utilizados individualmente (agua, energía, etc.) y tomándose el tiempo para completar un análisis. También sugirieron recopilar la información necesaria antes de subirla al archivo Excel para obtener resultados más precisos y útiles. Además, recomendaron crear equipos de trabajo que se reúnan regularmente como parte de la estrategia interna de la empresa.
Los expertos concluyeron que la herramienta es útil para las empresas y fácil de aplicar. Además de ser una herramienta valiosa, afirmaron que permite a las empresas identificar áreas de mejora, les brinda una estructura sólida para recopilar datos y les ayuda a identificar oportunidades para optimizar operaciones y mejorar la eficiencia. Esto podría aumentar su competitividad a largo plazo.
Las ideas de los expertos para mejorar la Herramienta de Diagnóstico CE fueron ampliarla para que pudiera adaptarse a la toma de decisiones, incluir criterios cuantitativos y aumentar las explicaciones para los hoteles para ayudarlos a comprender los pasos necesarios al usar la herramienta.

**La Herramienta de Buenas Prácticas CE**

Una vez que los hoteles y restaurantes han realizado su auto-diagnóstico con la Herramienta de Diagnóstico CE y han tomado decisiones sobre la implementación de actividades circulares, pueden utilizar el documento de Buenas Prácticas y los ejemplos para seguir avanzando.
La Herramienta de Diagnóstico CE ofrece varias guías de buenas prácticas basadas en otros hoteles y restaurantes que ya las han implementado [21]. El sitio web de Buenas Prácticas permite a las empresas buscar ejemplos de circularidad en diferentes áreas, industrias y ubicaciones [22]. Este sitio web complementa el Mapa CE para buscar empresas circulares a lo largo de la cadena de valor de la industria turística.
Después de evaluar el sitio web de Buenas Prácticas, las recomendaciones de los expertos para las empresas fueron evaluar los ejemplos en términos de costo-beneficio, buscar empresas en la Región Valenciana para adaptar las buenas prácticas a sus necesidades y características, hacer un uso intensivo de los filtros en el sitio web para encontrar empresas que se ajusten a sus necesidades y particularidades, y realizar un análisis en profundidad de cómo estas empresas en los ejemplos implementaron las buenas prácticas.
La principal conclusión que ofrecieron los expertos fue la utilidad del sitio web gracias a los filtros que incluye. El sitio web también presenta varios ejemplos reales que otras empresas pueden utilizar como guía al adaptar las actividades a sus circunstancias. Otra conclusión importante es el impulso que proporciona el sitio web de Buenas Prácticas para extender la cultura de la circularidad, promoviendo un cambio positivo en la industria turística e inspirando a otras empresas a ser más sostenibles.
Las ideas de los expertos para mejorar la Herramienta de Buenas Prácticas CE fueron intentar definir el tiempo invertido en desarrollar la actividad circular con mayor detalle. Se debería ofrecer a las empresas una lista de palabras clave para refinar sus búsquedas y ayudarles a encontrar lo que necesitan.

**La Herramienta de Capacitación CE**

La propuesta incluyó cursos de capacitación continua ofrecidos conjuntamente por universidades, empresas y asociaciones de la industria turística. Se planea un curso enfocado en el rol de Gerente de Economía Circular, basado en nuevos nichos de empleo relacionados con la economía circular que se espera que aparezcan.
Después de evaluar la propuesta de Capacitación CE, los expertos sugirieron considerar la capacitación como una inversión y la economía circular como una ventaja competitiva. También recomendaron a las empresas evaluar las necesidades de capacitación según los perfiles de sus empleados antes de seleccionar cursos específicos de economía circular. Estos podrían incluir gestión de residuos, optimización de recursos, eficiencia energética y diseño de productos sostenibles. Además, sugirieron que las empresas deberían evaluar la calidad de los cursos y considerar la experiencia en economía circular de los instructores. Finalmente, recomendaron una evaluación posterior de los cursos para asegurarse de que cumplieron con los objetivos de la empresa después de la capacitación.
Las conclusiones de los expertos tomaron en cuenta la utilidad y necesidades de una economía circular. En términos de utilidad, los expertos indicaron que la capacitación es crucial para enfrentar las barreras que enfrentan las empresas, descritas en el Análisis de Necesidades CE. Los expertos concluyeron que antes de comenzar un programa de capacitación, las empresas deberían evaluar sus necesidades específicas para identificar áreas prioritarias y establecer sus objetivos de capacitación. Afirmaron que la

capacitación podría ser ineficaz sin una evaluación previa y que los conocimientos y habilidades cubiertos en los cursos podrían ser difíciles de aplicar en la empresa. También concluyeron que existe una gran variedad de cursos disponibles, lo que implica que las empresas pueden seleccionar aquellos que se ajusten a sus necesidades y recursos. Sin embargo, las empresas deben ser cuidadosas y seleccionar programas de capacitación basados en la calidad y experiencia de los instructores y proveedores para garantizar una capacitación efectiva.
Las ideas de los expertos para mejorar la Capacitación CE fueron que una universidad debería apoyar la capacitación e incluir un certificado para aumentar la confianza. Luego, podrían incluirse una lista de caminos a seguir basada en las necesidades observadas después de usar la Herramienta de Diagnóstico CE. También sugirieron que se podría crear un sitio web que incluya todas las opciones de capacitación con una descripción del contenido de cada curso, indicando la calificación obtenida y la organización que otorgará la certificación.

**La Etiqueta CE**

Las etiquetas y certificaciones han sido consideradas como instrumentos importantes para comunicar los avances de la empresa en relación con la circularidad en los dos proyectos considerados en este trabajo. Se han revisado algunas etiquetas y certificaciones de sostenibilidad prestigiosas, que están reflejadas en el Mapa CE. Catalá et al. [23] citaron el Registro de Organización Socialmente Responsable de la Región Valenciana (SIR) como un ejemplo de cómo reconocer a las empresas responsables. Los proyectos proponen una etiqueta de economía circular para la industria turística en la Región Valenciana.
Las recomendaciones de los expertos sobre el uso de una etiqueta para certificar empresas circulares se basaron en la decisión de solicitar la etiqueta, el proceso necesario para solicitarla y obtenerla, y cómo comunicar este logro posteriormente. En cuanto a la decisión, los expertos sugirieron evaluar la idoneidad de una etiqueta en función del negocio de la empresa, la frecuencia con la que debe solicitarse, si es pública o privada, y su prestigio. También recomendaron comprender los requisitos, compromisos y beneficios de una etiqueta antes de solicitarla. Los expertos sugirieron considerar el tiempo necesario para solicitar la etiqueta. Creían que las empresas deberían buscar un consultor con experiencia en la industria para asesorarlas en las fases iniciales sobre la documentación exacta que necesitarían presentar. Esta documentación podría incluir informes de sostenibilidad, datos sobre actividades circulares, eficiencia energética y gestión de recursos. Las recomendaciones de los expertos sobre la comunicación con las partes interesadas respecto a la obtención de la etiqueta se centraron en hacer la etiqueta rentable y atraer a los clientes.
Sus conclusiones sobre la Etiqueta CE se dividieron en utilidad y experiencias previas. En cuanto a la utilidad, los expertos indicaron que la etiqueta sería un incentivo para las empresas interesadas en desarrollar prácticas de economía circular. También indicaron que les sorprendió que, aunque hay varias etiquetas en el mercado, las empresas no las renuevan, lo que podría implicar que su eficacia es cuestionable. Por lo tanto, concluyeron que se necesitaba una etiqueta distintiva, ya que esto podría ayudar a las empresas a implementar actividades circulares, diferenciar a estas empresas de las que no son circulares y actuar como una forma de recompensar a las empresas comprometidas con la economía circular. En relación con experiencias previas, las conclusiones de los expertos se referían a la oportunidad de utilizar la experiencia y el conocimiento de casos exitosos, como la Etiqueta Circular de Aragón y el Registro de Organización Socialmente Responsable de la Región Valenciana. Estos ejemplos podrían ayudar a reducir la complejidad en el diseño y ejecución de la Etiqueta CE.
Las ideas de los expertos para mejorar la Etiqueta CE incluyeron el respaldo del gobierno para la etiqueta, que la etiqueta influya y reduzca la cantidad del impuesto turístico pagado, y la necesidad de crear un resumen visual para los hoteles sobre las ventajas de la Etiqueta CE en comparación con otras etiquetas disponibles. Esto evitaría que tuvieran que leer todo el informe de la etiqueta y captaría su atención de manera rápida.

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo ha presentado el marco diseñado para apoyar a las empresas de la industria turística en su transición hacia la economía circular y ha evaluado las herramientas creadas para cada fase del marco. La evaluación se dividió en tres áreas: recomendaciones, conclusiones e ideas para mejorar, basadas en la información ofrecida por seis expertos que evaluaron cada herramienta.

El Mapa CE ayuda a las empresas a descubrir qué están haciendo otras empresas utilizando filtros e identificando las etiquetas que han obtenido. Por lo tanto, pueden encontrar las etiquetas que la mayoría de las empresas utilizan en actividades similares en la cadena de valor.

El Análisis de Necesidades CE es una fuente importante de información para las empresas interesadas en la economía circular y puede ayudar a las empresas a superar barreras en su transición hacia la economía circular.
La Herramienta de Diagnóstico CE ayuda a las empresas a medir su circularidad en recursos como el agua y la energía. La empresa puede repetir sus mediciones en diferentes momentos para verificar los avances y obtener datos que puedan transmitir a los clientes.
La Herramienta de Buenas Prácticas CE incluye un documento y un sitio web donde las empresas pueden encontrar posibles proveedores en la cadena de valor, especialmente proveedores circulares. Este es un gran desafío según hoteles y restaurantes en el Análisis de Necesidades CE.
La Herramienta de Capacitación CE es una propuesta enfocada en la economía circular para las empresas, ayudándolas a superar todas las barreras detectadas en el Análisis de Necesidades CE, como las barreras culturales.
La Etiqueta CE tiene como objetivo certificar la circularidad de las empresas en la industria turística. Fomentará la economía circular en este sector y ayudará a las empresas a comunicar sus avances a los clientes. También eliminará la dificultad de elegir cuál de las varias etiquetas disponibles es la más adecuada.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Agencia Valenciana de Innovación (AVI), Acciones Complementarias de promoción y fortalecimiento de la innovación 2023. Proyecto impulso de un Living Lab para promover la transformación verde del sector turístico valenciano a través de la incorporación de tecnologías circulares (INNACC/2023/10).

## REFERENCIAS

1. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Tourism Satellite Account Of Spain 2016-2022.* Disponible en: https://www.ine.es/dynt3/inebase/en/index.htm?padre=6196&capsel=6199. [Consulta: 15 julio 2024].
2. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Structural Business Statistics: Services Sector*. Disponible en: https://www.ine.es/dynt3/inebase/en/index.htm?padre=6629&capsel=6636. [Consulta: 15 julio 2024].
3. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Statistics on Products in the Services Sector 2022*. Disponible en: https://www.ine.es/dynt3/inebase/en/index.htm?padre=11240&capsel=11242. [Consulta: 15 julio 2024].
4. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *What Is A Circular Economy?* Disponible en: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview#principles. [Consulta: 24 agosto 2024].
5. LU, Shihao; NGO, Thanh Son; TRAN, Hoang Thi Thu. "Exploring A Hierarchical Model For Circular Economy Transition Through Launching Green Marketing". *Sustainable Development*, 2024, vol. 32, núm. 3, pp. 2119–2138.
6. VAN ECK, Nees J.; WALTMAN, Ludo. *VOSviewer Manual. Manual For VOSviewer Version 1.6.20.* 2023. Disponible en: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf. [Consulta: 15 julio 2024].
7. BOLUK, K. A.; CAVALIERE, C. T.; HIGGINS-DESBIOLLES, F. "A Critical Framework For Interrogating The United Nations Sustainable Development Goals 2030 Agenda In Tourism". *Journal of Sustainable Tourism*, 2019, vol. 27, núm. 7, pp. 847-864.
8. SØRENSEN, Flemming; BÆRENHOLDT, Jørgen Ole; GREVE, Katrine A. "Circular Economy Tourist Practices". *Current Issues in Tourism*, 2020, vol. 23, núm. 22, pp. 2762-2765.
9. IOANNIDIS, Alexandros; CHALVATZIS, Konstantinos J.; LEONIDOU, Leonidas C.; FENG, Zhiying. "Applying The Reduce, Reuse, And Recycle Principle In The Hospitality Sector: Its Antecedents And Performance Implications". *Business Strategy and the Environment*, 2021, vol. 30, núm. 7, pp. 3394-3410.
10. XU, Aiqing; WANG, Chao; TANG, Donghui; YE, Wei. "Tourism Circular Economy: Identification And Measurement Of Tourism Industry Ecologization". *Ecological Indicators*, 2022, vol. 144, pp. 109476.

11. DÍAZ-FARINA, Eugenio; DÍAZ-HERNÁNDEZ, Juan J.; PADRÓN-FUMERO, N. "A Participatory Waste Policy Reform For The Hotel Sector: Evidence Of A Progressive Pay-As-You-Throw Tariff". *Journal of Sustainable Tourism*, 2023, pp. 1-22.
12. LAGIOIA, Giuseppe; AMICARELLI, Vincenzo; STRIPPOLI, Raffaele; BUX, Chiara; GALLUCCI, Tiziana. "Sustainable And Circular Practices In The Hotel Industry In Southern Italy: Opportunities, Barriers, And Trends In Food Waste Management". *British Food Journal*, 2024, vol. 126, núm. 1, pp. 428-452.
13. MARTÍNEZ-FALCÓ, Jaime; MARCO-LAJARA, Bartolomé; ZARAGOZA-SÁEZ, Pedro de C.; MILLAN-TUDELA, Laura A. "Do Circular Economy Practices Moderate The Wine Tourism–Green Performance Relationship? A Structural Analysis Applied To The Spanish Wine Industry". *British Food Journal*, 2024, vol. 126, núm. 1, pp. 134-155.
14. DE-MIGUEL-MOLINA, Blanca; DE-MIGUEL-MOLINA, María; MIRET-PASTOR, Luis; SILVA-CÁRDENAS, María B. "The Transition Journey To The Circular Economy by Companies In The Valencian Region's Tourism Industry". In: SEGARRA-ÓÑA, Marival; SANTAMARINA-CAMPOS, Vicent; PEIRÓ-SIGNES, Ángel. (eds.) *Managing the Transition To A Circular Economy.* Cham: Springer, 2024. (SpringerBriefs in Business). Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-031-49689-9_2.
15. REIKE, Denise; VERMEULEN, Walter J.; WITJES, Sebastiaan. "The Circular Economy: New Or Refurbished As CE 3.0?—Exploring Controversies In The Conceptualization Of The Circular Economy Through A Focus On History And Resource Value Retention Options". *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, vol. 135, pp. 246–264.
16. NACIONES UNIDAS. *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development.* Asamblea General, 25 de septiembre de 2015, A/RES/70/1. Disponible en: https://digitallibrary.un.org/record/3923923?v=pdf. [Consulta: 30 junio 2024].
17. DE MIGUEL MOLINA, Blanca; DE MIGUEL MOLINA, María; SANTAMARINA CAMPOS, Vicent; SEGARRA OÑA, Marival. *Informe De Necesidades Del Sector Turístico Para La Transición A La Economía Circular.* 2022. Zenodo. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.6325274
18. SANTAMARINA-CAMPOS, Vicent; DE-MIGUEL-MOLINA, María; DE-MIGUEL-MOLINA, Blanca; SEGARRA-ÓÑA, Marival. *Transición Del Sector Turístico A La Economía Circular. Necesidades, Retos Y Mejoras.* Zenodo, 2023. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.7715608. [Consulta: 25 junio 2024].
19. PEIRÓ-SIGNES, Ángel; SEGARRA-ÓÑA, Marival; PÉREZ-HERRERO, María. *Herramienta Básica De Autoevaluación De Circularidad. Hoteles.* Proyecto Innoecotur, 2023a. Disponible en: https://innoecotur.webs.upv.es/wp-content/uploads/2023/03/Herramienta-EC_nivel-basico_v1.pdf. [Consulta: 20 junio 2024].
20. SÁNCHEZ-PLANELLES, Joaquín; DE-MIGUEL-MOLINA, María; SILVA, María B.; TRUJILLO-ADRIÁ, Yamile; SEGARRA-ÓÑA, Marival; PEIRÓ-SIGNES, Ángel. "Desarrollo De Un Modelo De Aplicación De La Economía Circular En Hoteles Y Restaurantes A Través Del Customer Journey Map". En: Actas del XVI Congreso Nacional del Medio Ambiente (*CONAMA 2022*), 2022. Madrid, España, pp. 1-18. Disponible en: http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2022/CT%202022/10008064.pdf. [Consulta: 10 agosto 2024].
21. PEIRÓ-SIGNES, Ángel; SEGARRA-ÓÑA, Marival; PÉREZ-HERRERO, María. *Buenas Prácticas. Alojamientos Turísticos En Economía Circular.* Proyecto Innoecotur, 2023b. Disponible en: https://innoecotur.webs.upv.es/en/buenas-practicas/. [Consulta: 20 junio 2024].
22. LABHOT-EC. *Good Practices Web.* Disponible en: https://innoecotur.webs.upv.es/en/buenas-practicas/. [Consulta: 10 agosto 2024].
23. CATALÁ PÉREZ, Daniel; DE MIGUEL MOLINA, María; DE MIGUEL MOLINA, Blanca; PEIRÓ SIGNES, Ángel. *Propuesta De Sello Distintivo A Empresas Del Sector Turístico Comprometidas Con El Modelo De Economía Circular.* Versión v2. Zenodo, 2023. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.8176906.

**Sobre los autores**

Blanca de Miguel Molina es Catedrática de Universidad en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), adscrita al Departamento de Organización de Empresas. Blanca ha liderado y colaborado en diversos proyectos de investigación a nivel nacional e internacional y ha publicado ampliamente en revistas científicas de alto impacto en el campo de la gestión empresarial.

María de Miguel Molina es Catedrática de Universidad en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), adscrita al Departamento de Organización de Empresas. Su labor investigadora se enfoca en la colaboración publico-privada. María ha desempeñado un papel clave en proyectos de investigación multidisciplinarios y es autora de numerosas publicaciones científicas.

Ángel Peiró Signes es Catedrático de Universidad adscrito al Departamento de Organización de Empresas en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Su labor investigadora está enfocada en la gestión de la eco-innovación y la economía circular, con especial interés en la aplicación de modelos de sostenibilidad en organizaciones.

María del Val Segarra Oña es Catedrática de Universidad en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y actualmente ocupa el cargo de Vicerrectora de Estudios, Calidad, Acreditación y Lenguas de la UPV. Su labor académica e investigadora se centra en la economía circular, la innovación y la sostenibilidad en sectores industriales y turísticos, y cuenta con una destacada trayectoria en la dirección de proyectos de investigación y en la publicación de artículos científicos en revistas de alto impacto.

# IMPACTO DE LAS TRANSFORMACIONES PROPUESTAS PARA UNA MEJOR ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

**Dania González Couret[1], Guillermo Antonio de la Paz Pérez[2]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana "Jose Antonio Echeverría" (CUJAE), [1]Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte"

[1]e-mail: daniagcouret@gmail.com

**RESUMEN**

Como parte del proyecto de investigación "Adaptación del hábitat urbano al cambio climático en Cuba", se han propuesto acciones de transformación encaminadas a reducir el impacto de la Isla de Calor Urbana (ICU) y mejorar la adaptación de los tipos morfológicos urbanos al calentamiento global, tomando La Habana como objeto de estudio. En la ponencia se presenta el procedimiento elaborado para realizar el análisis costo – beneficio de las soluciones de diseño propuestas, y los resultados preliminares de su aplicación. Para ello se partió de una búsqueda bibliográfica encaminada a identificar los principales enfoques, que posteriormente fueron valorados y ajustados de acuerdo con las condiciones específicas de Cuba. Teniendo en cuenta la experiencia de las "Soluciones basadas en la naturaleza", se elaboró el Diagrama de Bucle Causal, se asumieron costos de referencia y otros fueron estimados, según una línea base y diversos escenarios construidos. El análisis de sensibilidad realizado como resultado de la información incompleta ha permitido demostrar el impacto positivo de las acciones propuestas.

**PALABRAS CLAVES:** calentamiento global, adaptación, transformaciones urbanas, isla de calor urbana, análisis costo – beneficio

# IMPACT OF THE PROPOSED TRANSFORMATION FOR A BETTER ADAPTATION TO GLOBAL WARMING. EVALUATION PROCEDURE

**ABSTRACT**

As part of the research project "Adaptation of the urban habitat to climate change in Cuba", transforming actions have been proposed aimed at reducing the impact of the Urban Heat Island (UHI) and improving the adaptation of urban morphological types to global warming, taking Havana as an object of study. The paper presents the procedure developed to carry out the cost-benefit analysis of the proposed design solutions, and the preliminary results of its application. To do this, we started from a bibliographic search aimed at identifying the main approaches, which were subsequently evaluated and adjusted according to the specific Cuban conditions. Taking into account the experience of "Nature-based Solutions", the Causal Loop Diagram was prepared, reference costs were assumed and others were estimated, according to a baseline and various constructed scenarios. The sensitivity analysis carried out as a result of the incomplete information has made it possible to demonstrate the positive impact of the proposed actions.

**KEY WORDS:** global warming, adaptation, urban transformations, urban heat island, cost – benefit analysis

## 1- INTRODUCCIÓN

Como parte del proyecto de investigación "Adaptación del hábitat urbano al cambio climático en Cuba" se concibió la elaboración de una metodología para evaluar los impactos del calentamiento global en el hábitat urbano y de las transformaciones propuestas con vistas a mejorar su adaptación. El trabajo comenzó con una etapa teórica en la que, a partir de una revisión bibliográfica se caracterizaron las principales tendencias y posibles enfoques metodológicos [1].

En la ponencia se expone y fundamenta el procedimiento elaborado y se discuten los resultados de su aplicación en la valoración de las transformaciones propuestas para la adaptación del hábitat urbano al calentamiento global en La Habana.

## 2- MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación encaminada al análisis costo – beneficio de las transformaciones propuestas se ha desarrollado en tres etapas. La primera teórica, a partir de la revisión bibliográfica de 523 artículos vinculados a los temas del cambio climático, calentamiento global, adaptación, vulnerabilidad, resiliencia, sustentabilidad, huella de carbono, isla de calor, microclima, morfología, adaptación, entre otros, en relación con la escala urbana y arquitectónica, así como metodologías de evaluación, la mayoría de ellos publicados durante los dos últimos años. Como resultados, se elaboró el marco teórico de la investigación, que incluye el sistema de variables, parámetros e indicadores que sirvieron de base para la caracterización, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos urbanos según su influencia en el microclima térmico, así como las propuestas de transformación y la evaluación de su impacto [2].

Durante la segunda etapa de trabajo se elaboró una propuesta de procedimiento para desarrollar la evaluación del impacto, de acuerdo con las consideraciones teóricas y metodológicas previamente elaboradas en la etapa anterior. Se profundizó en las posibilidades del método de análisis costo – beneficio, que resultaría difícil en las condiciones de Cuba, por la falta de información precisa sobre los costos y el proceso inflacionario que vive el país. Pero también se incursionó en las posibilidades del análisis multicriterio, que depende de la consulta a expertos, y es útil fundamentalmente para seleccionar la mejor variante en un análisis comparativo entre varias opciones, lo cual no se adecuaba a la investigación en curso. Se optó, entonces, por adoptar y adecuar el procedimiento seguido para la evaluación de las "Soluciones basadas en la naturaleza" (NBS) [3].

Para ello fue necesario elaborar de forma colectiva un "Diagrama de Bucle Causal" (CLD), con vistas a identificar el problema, las variables y factores influyentes, elaborar hipótesis sobre las causas (relación causa – efecto), a través de modelos mentales, identificando los bucles de retroalimentación (Figura 1).

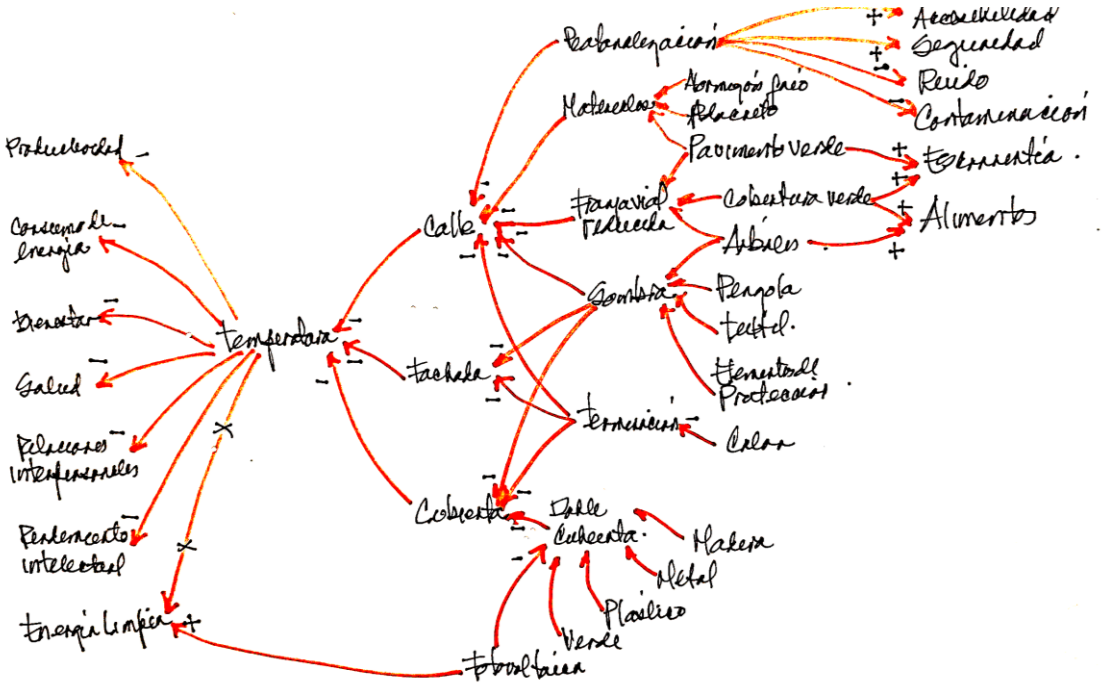



Figura 1. Diagrama de Bucle Causal de las transformaciones propuestas

Como puede apreciarse en la Figura 1, el principal objetivo de las transformaciones propuestas se concentra en la reducción de la temperatura, de lo cual se derivan sus beneficios. Este diagrama sirvió de base para identificar las Externalidades (Costos y Beneficios ambientales, sociales y económicos), los Costos directos,

Costos evitados y Beneficios añadidos, así como los Impactos (directos, indirectos e inducidos), necesarios para estimar la relación Beneficio – Costo en el enfoque de "Valoración Sustentable de Activos" (Sustainable Asset Valuation, SAVi). Este método también considera otros indicadores como el "Valor Neto Presente" (Net Present Value NPV), la "Tasa Interna de Retorno" (Internal Rate Return, IRR), y el Período de Retorno (Payback Period, PP), lo cual no fue posible estimar en esta ocasión, por la diversidad e imprecisión de las fuentes de datos que encontradas.

Sobre esta base, se elaboró una propuesta de procedimiento para evaluar el impacto de las transformaciones recomendadas en la investigación (Figura 2), que toma como base el enfoque de la relación costo – beneficio, a pesar de las dificultades reconocidas para la obtención de información confiable en las condiciones cubanas actuales. Este propone que de cada una de las soluciones de transformación propuestas se estimen los costos directos, de construcción, operación y financieros. En la presente ponencia se explica cómo se obtuvieron los primeros, pero no siempre fue posible encontrar información sobre los segundos, y la valoración de los terceros, es decir, los financieros, no resultó posible.

| LEYENDA DE IMPACTOS | | IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | SOLUCIONES | | | | | COSTOS DIRECTOS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | SOCIAL | | | | | | | | | | |
| | | ECONÓMICO | | | | | | | | | | ECONÓMICO | | | | | | | | | | |
| | | SOCIAL | | | | | | | | | | AMBIENTAL | | | | | | | | | | |
| Directo | | Aumento | | | | | | | Reducción | | Aumento | | Reducción | | | | | | | | | |
| Indirecto | | Alimentos | Productividad y rendimiento | Salud | Accesibilidad | Seguridad | Bienestar Sonoro | Bienestar Térmico | Temperatura | Ruido | Escorrentía | Energía limpia | Consumo de energía | Contaminación | | | | | | Construcción | Operación | Financieros |
| Inducido | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Impacto a considerar | | | | | | | | | | | | | | Transformación de la vía | Peatonalización de calles | Sin transformar | | | | | |
| | Dudas sobre el efecto | | | | | | | | | | | | | | | Reducción de la franja asfáltica. | Sustitución por cobertura verde | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Inserción de arbustivas | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Aumento de la sombra en la vía | Inserción de árboles | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Pérgolas | De madera | Nueva | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusada (Pallets) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De metal | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De plástico | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Cubierta textill | | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Cambio de materiales | Adocreto | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Pavimento verde | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Hormigón frío | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Transformación en fachadas | Aumento de la sombra arrojada | Elementos de protección horizontales | De madera | Nueva | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusada (Pallets) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De metal | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De plástico | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Textil | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Verde | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Elementos verticales y doble piel | De madera | Nueva | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusada (Pallets) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De metal | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De plástico | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Textil | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Verde | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Cambio de terminación superficial | Cambio de color | Más claro | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Más oscuro | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Transformación en cubiertas | Aumento de la sombra arrojada | Doble cubierta | De madera | Nueva | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusada (Pallets) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De metal | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | De plástico | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reciclado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Textil | Nuevo | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Reusado | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Verde | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Fotovoltaica | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | COSTOS DE REFERENCIA | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Baseline | 20 años | RCP 4.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | RCP 8.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 30 años | RCP 4.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | RCP 8.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Transformado | 20 años | RCP 4.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | RCP 8.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 30 años | RCP 4.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | RCP 8.5 | COSTOS EVITADOS | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | BENEFICIOS AÑADIDOS | | | | |

Figura 2: Cuadro resumen de la información a recopilar para hacer el análisis costo – beneficio.

A partir del Diagrama de Bucles elaborado, se identificaron los posibles impactos directos, indirectos e inducidos de las acciones a realizar (Figura 3) y su compleja relación con las dimensiones económica, social y/o ambiental. Para valorar cada uno de estos impactos fue necesario encontrar costos de referencia en la literatura consultada.

| LEYENDA DE IMPACTOS | |
|---|---|
| | Directo |
| | Indirecto |
| | Inducido |

| IMPACTOS | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | SOCIAL | | |
| ECONÓMICO | | | | | | | | | | ECONÓMICO | | |
| SOCIAL | | | | | | | | | | AMBIENTAL | | |
| Aumento | | | | | | | Reducción | | Aumento | | Reducción | |
| Alimentos | Productividad y rendimiento | Salud | Accesibilidad | Seguridad | Bienestar | | Temperatura | Ruido | Escorrentía | Energía limpia | Consumo de energía | Contaminación |
| | | | | | Sonoro | Térmico | | | | | | |

Figura 3: Impactos de las transformaciones propuestas: Directos (azul oscuro), Indirectos (azul medio), Indirectos (azul claro).

Por último, el método de evaluación elaborado prevé la estimación de los costos evitados y los beneficios añadidos en un plazo de 20 y 30 años, según dos escenarios, con vistas a comparar el impacto de las transformaciones realizadas con respecto a una línea base en la que no se ejecute ninguna de las acciones propuestas.

La tercera y última etapa del proceso seguido para evaluar el impacto de las transformaciones propuestas consistió en la búsqueda y recopilación de información que permitiera cuantificar los impactos económicos, sociales y ambientales identificados, a partir de los resultados publicados de investigaciones precedentes, y traducirlos en costos, así como los costos directos.

Para cuantificar los beneficios en términos monetarios con vistas a compararlos con los costos, se empleó el costo del kWh de consumo doméstico en el mundo, ya que en Cuba está subsidiado, el costo por tonelada de $CO_2$ equivalente en California (2026), la media anual del precio en Euros del kg de $CO_2$, y el ahorro anual /m2 de césped, según Valbuena [4].

Mucho más difícil resultó cuantificar los costos de las soluciones propuestas. Con la intención de ofrecer los datos más reales posibles, se acudió a información proveniente de empresas privadas dedicadas a la actividad constructiva. Solo se consideraron los costos de materiales, que inevitablemente representan una inversión necesaria, y no los de mano de obra, ya que el origen de esta varía, y las acciones pueden, incluso, ser ejecutadas con participación popular.

La mayoría de los costos de inversión inicial provienen de esa fuente y se expresan en CUP, a pesar de que se trató de evitar usar la moneda nacional como valor de referencia, por el proceso de devaluación que sufre como consecuencia de la inflación que actualmente vive el país. Por lo general no fue posible incluir los costos de mantenimiento, excepto en los casos en que se pudo conocer la durabilidad de los materiales o al considerar valores que fueron tomados de fuentes internacionales, ya sea en USD o en Euros. Sobre esta base se procesaron los datos recopilados y se ajustaron los impactos originalmente previstos, según aquellos sobre los cuales fue posible encontrar información, y a partir de ahí se estimaron los costos y beneficios de todas las soluciones propuestas.

Tomando como referencia los costos unitarios y anuales recopilados, se estimaron los costos de las transformaciones a ejecutar en una cuadra de 100m de largo con un ancho de vía (de fachada a fachada) de 15m, que es el valor medio de los dos tipos morfológicos semi-compactos, con espacios de acera y de parterre a recuperar, de 1.5m respectivamente a ambos lados de la franja vial de 9 m de ancho. Se estimó la existencia de 20 lotes, 10 a cada lado de la vía, con la dimensión estándar de 10 m por 20 m, y edificaciones de dos pisos de altura, como promedio, por lo que para asumir la población residente se consideraron 40 viviendas con un núcleo familiar de 3 personas como promedio en cada una, la tercera parte de las cuales serían adultos mayores de 65 años, según datos de la Comisión Gubernamental para la atención a la Dinámica Demográfica. No obstante, se partió del supuesto de que las transformaciones propuestas se realizaban en la mitad de las superficies de pared y cubierta o en el 50% de las edificaciones existentes en la cuadra.

En cuanto a la inserción de árboles, se estimaron 10 por cuadra, es decir, separados a 10 m entre ellos, y ubicados en una sola acera. El costo fue considerado a partir de la siembra de posturas obtenidas en viveros, en lugar del moteo del árbol adulto, según datos del proveedor (COMCAVILA).

Para traducir la reducción de temperatura en disminución del consumo de energía, se partió de la "regla del dedo pulgar", de que por cada $^oC$ de aumento de la temperatura, el consumo de energía se eleva en un 10% [5]. Al estimar los beneficios derivados de las reducciones expresadas en porciento en las fuentes consultadas, se asumió un consumo de 300kWh por vivienda, al mes, que es el límite para la tarifa eléctrica subsidiada. Por otro lado, al considerar el valor en USD de la reducción del consumo de energía, se asumió un costo promedio

internacional de 0.18 USD/kWh en (diciembre, 2022). También se tuvo en cuenta que un aumento de la temperatura genera un incremento de emisiones en la misma proporción [6].

La estimación de los costos de los elementos de protección solar se realizó según los precios de materiales obtenidos, aplicados a un mismo diseño en trama de elementos múltiples, factible para ser adicionado tanto en paredes como en cubiertas. Este elemento modular fue posteriormente repetido, según el área a cubrir. Los valores del sistema fotovoltaico fueron suministrados por el experto Nilo Ledón de Cubasolar, y para estimar la energía generada y por tanto, la reducción del consumo, se procedió de la misma manera ya expuesta para el costo de la energía.

Como la estimación de los beneficios se realizó a partir de indicadores internacionales relativos, no fue necesario construir los dos escenarios previstos, ni la línea base. Simplemente, se consideraron los costos evitados por consumo de energía, contaminación ambiental y atención de salud, incluida la mortalidad, en dos pazos (20 y 30 años), en relación con los de las transformaciones propuestas, si éstas se ejecutan. El beneficio neto está relacionado con lo que ocurriría si no se realiza ninguna acción.

Como los costos quedaron expresados en tres monedas diferentes (CUP, USD y Euro) y los beneficios en 2 (USD y Euros), fue necesario convertir todos los valores a una misma moneda, para poder completar el análisis. En aras de verificar su impacto en la práctica, se ha gestionado la aplicación parcial de algunas propuestas que serán monitoreadas, pero lamentablemente, aun no es posible contar con esos resultados. Por otro lado, la influencia de las transformaciones propuestas en la reducción de la temperatura exterior en el contexto urbano fue simulada con el empleo del software ENVImet en varios sitios específicos seleccionados dentro de los tipos objeto de estudio, pero las limitaciones impuestas por el necesario uso de la versión libre de pago del programa dificultan la verificación del impacto específico de las soluciones. Es por ello que la evaluación de los impactos de las transformaciones propuestas ha debido hacerse sobre bases teóricas y los resultados no han podido aun ser verificados en la práctica.

## 3- RESULTADOS

Como resultado de la investigación teórica realizada en esta etapa para proponer el método a emplear en la evaluación del impacto de las transformaciones propuestas, se confirmó el enfoque inicial de la investigación en cuanto a las variables identificadas para clasificar los tipos urbanos, proponer medidas de adaptación y evaluar su impacto.

El procedimiento propuesto para la evaluación del impacto pone el énfasis en las soluciones urbanas y arquitectónicas. El objetivo principal de la investigación no es la creación de una nueva metodología, sino la propuesta de soluciones para mejorar la adaptación del hábitat urbano al cambio climático en Cuba, con la correspondiente demostración de sus beneficios.

En el Diagrama de Bucles (Figura 1) puede apreciarse que el objetivo principal al cual se dirigen todas las transformaciones propuestas es reducir la temperatura en el contexto urbano para contrarrestar el efecto de la isla de calor como medida esencial para la adaptación al calentamiento global, y de ello se derivan todos los beneficios enunciados y cuantificados.

La información recopilada en las fuentes consultadas expresa los beneficios de las soluciones propuestas, en los siguientes términos:

- Porcientos:
    - Que representan los beneficios con respecto a los costos
    - De reducción de la carga térmica
    - De reducción del consumo de energía
    - De reducción de la carga de refrigeración o de climatización
    - De reducción de la contaminación del aire
    - De aumento de la captura o absorción de carbono
- Reducción de la temperatura
    - Media de la ciudad
    - En calles
    - En superficies de paredes y cubiertas
    - En autos estacionados

- En espacios interiores

Teniendo en cuenta los impactos previstos en las dimensiones económica, social y ambiental, los datos cuantitativos de impactos recopilados en la documentación consultada se refieren casi totalmente a:

- Impacto social
  - Mejora de la salud. Reducción de costos para mantener la salud física y mental
  - Reducción de la temperatura, que se traduce en bienestar, rendimiento y productividad.
- Impacto económico y ambiental
  - Reducción del consumo de energía
  - Reducción del costo del consumo de energía
- Impacto ambiental
  - Captura o absorción de carbono
  - Reducción de la contaminación del aire

Los beneficios sociales, económicos y ambientales de las soluciones propuestas se evaluaron a partir de esos indicadores disponibles. Como que el objetivo principal de la investigación se ha concentrado en la reducción de las temperaturas (ver Figura 1), también se tuvo en cuenta información útil para relacionar la variación de la temperatura con:

- El consumo de energía y su reducción
- El costo del consumo de energía reducido
- La variación de las emisiones

Esto permitió estimar el impacto energético de las soluciones propuestas una vez transcurridos 20 y 30 años. Todos los costos fueron expresados en USD, usando la tasa de cambio oficial del Estado cubano (120 CUP / USD), y la tasa de cambio de 1,08 USD por Euro, vigente el 12 de junio de 2024.

En la Tabla 1, que resume los costos y beneficios de las soluciones propuestas en los dos plazos temporales previstos, aparecen en amarillo los valores expresados en CUP, en verde los que están en USD y en azul los que se expresan en Euros, todos transferidos a USD en la casilla siguiente. También se incluyen el beneficio neto y la relación beneficio / costo, indicando en rojo, los casos en que el resultado no es favorable.

Tabla 1. Resumen de costos y beneficios a 20 y 30 años, expresados en las monedas originales de la fuente de referencia y en USD.

| TRANSFORMACIONES | | | 20 años | | | | | | 30 años | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Costo | | Beneficio | | Beneficio neto (USD) | Beneficio / Costo | Costo | | Beneficio | | Beneficio neto | Beneficio / Costo |
| | | | Moneda de origen | Conversión a USD | Moneda de origen | Conversión a USD | | | Moneda de origen | Conversión a USD | Moneda de origen | Conversión a USD | | |
| Fachadas | Protección solar | Madera | 2,100,000.00 | 17,500.00 | | | 25,700.00 | 2.46 | 2,100,000.00 | 17,500.00 | | | 47,300.00 | 3.7 |
| | | Metal y asbesto | 3,810,000.00 | 31,750.00 | 43,200.00 | 43,200.00 | 11,450.00 | 1.36 | 3,810,000.00 | 31,750.00 | 64,800.00 | 64,800.00 | 33,050.00 | 2.04 |
| | | PVC | 9,000.00 | 9,720.00 | | | 33,480.00 | 4.44 | 9,000.00 | 9,720.00 | | | 55,080.00 | 6.66 |
| | | Verde | 204,480.00 | 204,480.00 | 21,420.00 | 23,133.60 | -181,346.40 | 0.11 | 242,220.00 | 242,220.00 | 32,130.00 | 34,700.00 | -207,520.00 | 0.14 |
| | Cambio de color (claro) | | 223,968.00 | 1,866.40 | 324 | 324 | -1542.4 | 0.17 | 335,952.00 | 2,799.60 | 486 | 486 | -2,313.00 | 0.17 |
| Cubiertas | Protección solar | Madera | 5,600,000.00 | 46,666.66 | | | -3466.66 | 0.92 | 5,600,000.00 | 46,666.66 | | | 18,133.34 | 1.38 |
| | | Metal y asbesto | 7,040,000.00 | 58,666.66 | 43,200.00 | 43,200.00 | -15,466.66 | 0.73 | 7,040,000.00 | 58,666.66 | 64,800.00 | 64,800.00 | 6,133.34 | 1.1 |
| | | PVC | 12,000.00 | 12,960.00 | | | 30,240.00 | 3.33 | 12,000.00 | 12,960.00 | | | 51,840.00 | 5 |
| | | Verde | 167,040.00 | 167,040.00 | | | -123,840.00 | 0.25 | 205,760.00 | 205,760.00 | | | -140,960.00 | 0.31 |
| | | Fotovoltaico | 22,000.00 | 22,000.00 | 129,600.00 | 129,600.00 | 107,600.00 | 5.89 | 22,000.00 | 22,000.00 | 194,400.00 | 194,400.00 | 172,400.00 | 8.83 |
| Vías | Recuperación de parterres | | 19,800.00 | 19,800.00 | 24,704,400.00 | 26,704,400.00 | 26,684,600.00 | 1,348.70 | 28,800.00 | 28,800.00 | 37,056,600.00 | 40,021,128.00 | 39,992,328.00 | 1,389.62 |
| | Inserción de árboles | | 2700 | 22.50 | 300,436.00 | 300,436.00 | 300,413.50 | 13,352.71 | 2700 | 22.50 | 405,472.00 | 405,472.00 | 405,449.50 | 18,020.97 |
| | Protección solar | | 120 | 129.60 | 15,552.00 | 15,552.00 | 15,422.40 | 120 | 180 | 194.40 | 23,329.00 | 23,329.00 | 23,134.60 | 120 |
| | Cambio de materiales | Cesped | 19,800.00 | 19,800.00 | 24,704,400.00 | 26,704,400.00 | 26,684,600.00 | 1,348.70 | 28,800.00 | 28,800.00 | 37,056,600.00 | 40,021,128.00 | 39,992,328.00 | 1,389.62 |
| | | Pavimento verde | 3.486.00 | 3.486.00 | | | -894 | 0.74 | 3.486.00 | 3.486.00 | | | 402 | 1.11 |
| | | Adocreto | 2,250,000.00 | 18,750.00 | | | -16,158.00 | 0.13 | 2,250,000.00 | 18,750.00 | | | -14,862.00 | 0.2 |
| | | Recortería de jaimanitas | 2,250,000.00 | 18,750.00 | | | -16,158.00 | 0.13 | 2,250,000.00 | 18,750.00 | | | -14,862.00 | 0.2 |
| | | Gravilla | 1,350,000.00 | 11,250.00 | 2,592.00 | 2,592.00 | -8658 | 0.23 | 1,350,000.00 | 11,250.00 | 3,888.00 | 3,888.00 | -7,362.00 | 0.34 |
| | | Pavimento drenante | 2,400.00 | 2,592.00 | | | 0.00 | 1 | 2,400.00 | 2,592.00 | | | 1,296.00 | 1.5 |
| | Pacificación del tránsito | | 0.00 | 0.00 | | | 2,592.00 | ∞ | 0.00 | 0.00 | | | 3,888.00 | ∞ |

## 4- DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados finales obtenidos, los mayores impactos se obtienen con la vegetación, ya sea mediante la inserción de árboles o césped al recuperar jardines y parterres, o en sustitución del asfalto cuando se reduce la franja vial. La desproporción del efecto con respecto a los demás (ya que reporta un beneficio más de mil veces superior al costo) dificulta la representación gráfica de resultado, y aunque es posible que las fuentes consultadas ponderen demasiado el impacto positivo de la vegetación (Valbuena et al., 2016), lo cierto es que la inserción de árboles en la vía es la única acción con la cual han podido cuantificarse beneficios tanto económicos como sociales y ambientales, estos últimos, especialmente, de gran magnitud, como resultado de

la absorción de CO2, de manera que ha sido necesario manipular su escala para poder reflejarlos en el gráfico de la Figura 4.

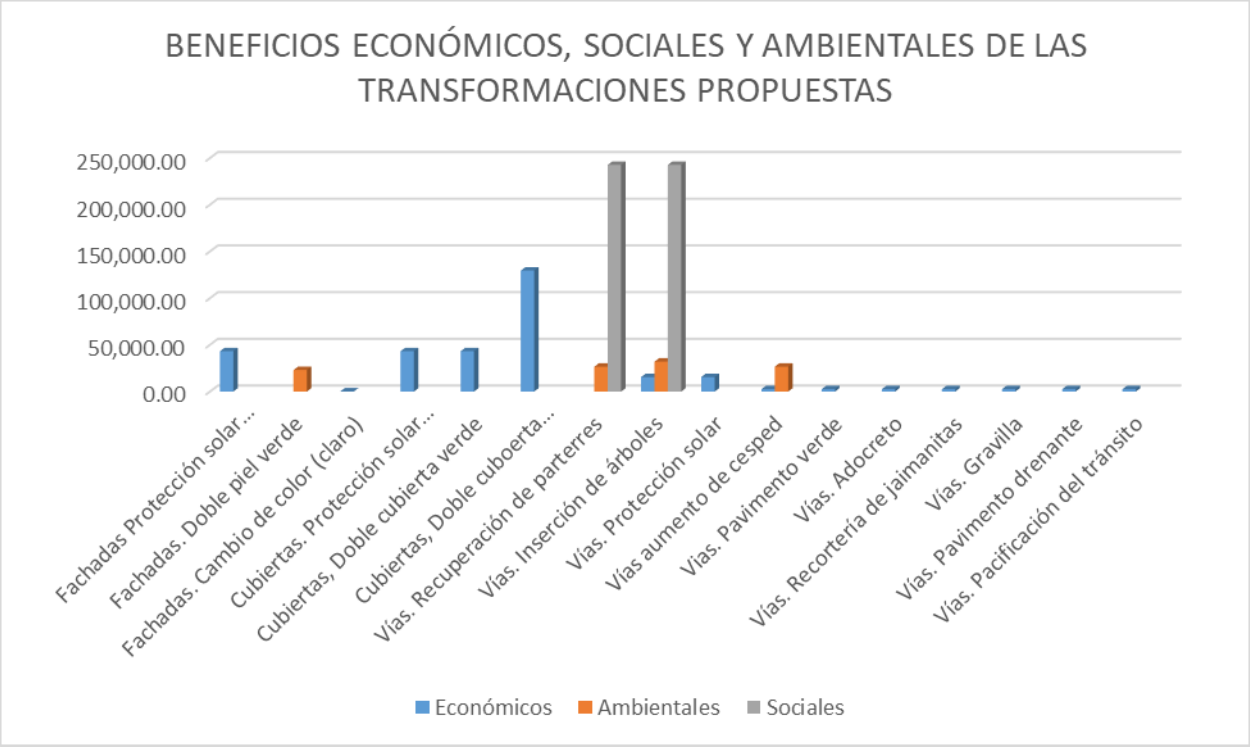


Figura 4. Beneficios económicos, sociales y ambientales de las transformaciones propuestas.

En segundo lugar de importancia, de acuerdo con la relación beneficio costo, que alcanza un valor superior a 100, se encuentra la sombra arrojada sobre la vía, mediante elementos textiles, lo cual es factible, fundamentalmente, en zonas compactas con calles estrechas y edificios altos, pero fundamentalmente, en vías con su eje orientado cercano al entrono E-O. Es posible que esta relación se deba al bajo costo estimado de la cubierta textil (CATVELA, España. http://catvela.com), pero en cualquier caso, estas soluciones pueden resultar muy económicas si se realizan con elementos reusados como en muchos ejemplos internacionales que recuperan paraguas de colores (Figura 5).

En el gráfico de la Figura 6 aparece la relación Beneficio / Costo en los plazos de 20 y 30 años para el resto de las soluciones, exceptuando la vegetación y la sombra horizontal en la vía, cuyo alto valor en comparación con las demás, no permite la visualización del conjunto. Como puede apreciarse, la protección solar en fachadas reporta beneficios superiores a los costos, especialmente, si se usa PVC. Sin embargo, el resultado es inferior en cubiertas, donde la variante de PVC es la única que reporta beneficios netos. Por supuesto, esto se debe al relativamente bajo costo del PVC en la fuente consultada (http://bricomarian.com), y a que por supuesto, la temperatura de las cubiertas tiene un menor efecto en la vía y el espacio público que la de las paredes, pero su influencia sí es importante para el espacio interior, particularmente, en edificios de baja altura. No obstante, cuando se trata de una cubierta fotovoltaica, el beneficio es casi 6 veces superior al costo a los 20 años, y aunque a los 30 puede ser 8 veces mayor, es necesario considerar que la durabilidad de estos sistemas se estima en 25 años.

El cambio de materiales parece tener un efecto menor, ya que, por lo general, los beneficios estimados no superan a los costos, es decir, que índice Beneficio / Costo es inferior a 1, excepto en el caso del pavimento drenante, cuyo valor fue tomado de una fuente internacional (Paviprint, España. http://www.paviprint.com). Esto puede ser debido al elevado precio de los materiales de construcción en el mercado informal en Cuba hoy, y que la conversión a USD se ha hecho sobre la base del cambio oficial, de manera que los valores estimados en USD son superiores a los reales, según el cambio del mercado informal. No obstante, estas son acciones que

en la propuesta de desarrollo progresivo, están previstas para realizarse en etapas posteriores, ya que dependen de decisiones políticas y de inversiones, y no pueden ser ejecutadas por la población.



Figura 5. Sombra en la vía con elementos reusados. Foto de los autores.

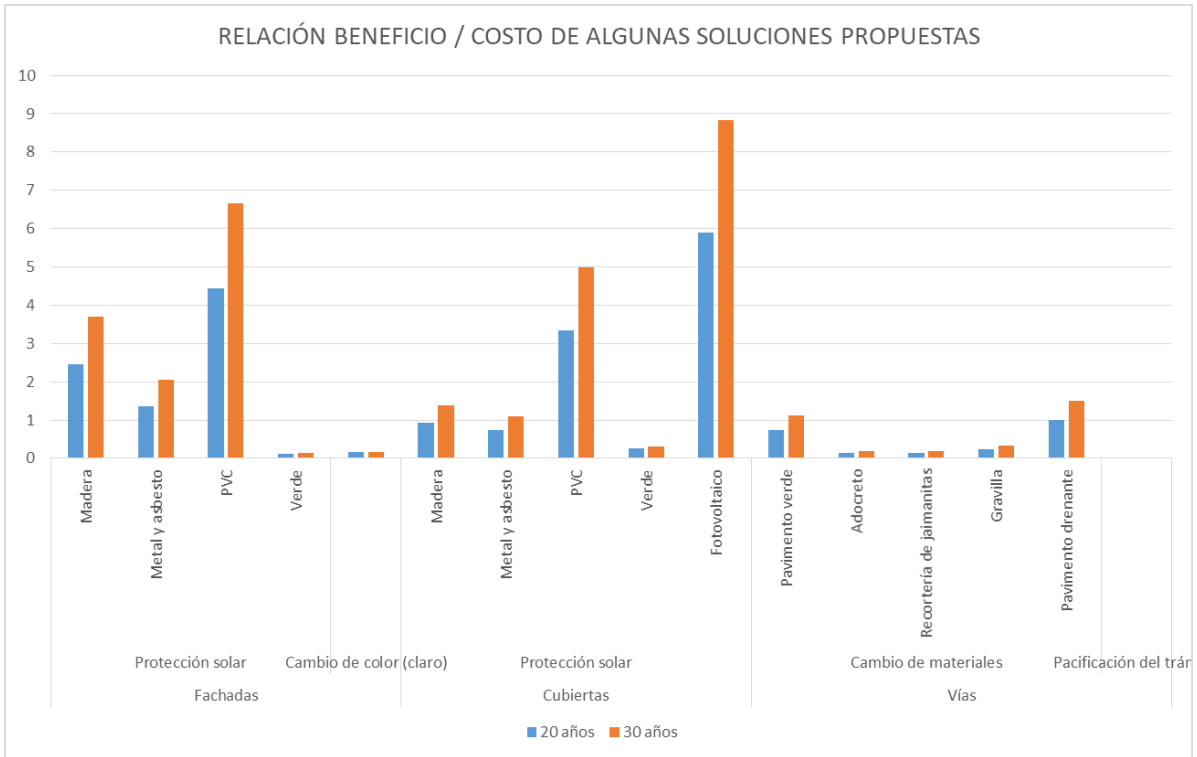



Figura 6. Relación Beneficio / Costo de las soluciones propuestas, exceptuando la vegetación y la sombra sobre la vía.

Llama la atención que tanto en paredes como en cubiertas, la protección con vegetación no presenta un resultado favorable, a pesar de los beneficios que reporta. Esto se debe al elevado costo asumido a partir de la fuente consultada, que no se refiere a soluciones verdes con plantas trepadoras separadas de las paredes o la cubierta, sino integradas a ellas. Los costos reales de las soluciones propuestas para las condiciones cubanas seguramente serán inferiores y podrán ser ejecutados por iniciativa de la propia población, como ya ha sucedido con la agricultura urbana en numerosos barrios populares.

Por último, el índice de Beneficio / Costo de la pacificación del tránsito no aparece, a pesar de que hay un beneficio reconocido, pero no es posible estimarlo, porque el costo es cero, ya que de lo que se trata en la primera etapa es de limitar el tránsito vehicular en las calles sin necesidad de hacer ninguna transformación, por lo que el beneficio se obtiene sin costo alguno. El proceso progresivo posterior puede comenzar con acciones de urbanismo táctico. En la Tabla 2 se resumen los datos finales del análisis costo beneficio.

Tabla 2. Resumen del análisis Costo - Beneficio

| TRANSFORMACIONES | | | 20 años | | | | 30 años | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | COSTO USD | BENEFICIO USD | Beneficio neto (USD) | Beneficio / Costo | COSTO USD | BENEFICIO USD | Beneficio neto | Beneficio / Costo |
| Fachadas | Protección solar | Madera | 17,500.00 | 43,200.00 | 25,700.00 | 2.46 | 17,500.00 | 64,800.00 | 47,300.00 | 3.7 |
| | | Metal y asbesto | 31,750.00 | | 11,450.00 | 1.36 | 31,750.00 | | 33,050.00 | 2.04 |
| | | PVC | 9,720.00 | | 33,480.00 | 4.44 | 9,720.00 | | 55,080.00 | 6.66 |
| | | Verde | 204,480.00 | 23,133.60 | -181,346.40 | 0.11 | 242,220.00 | 34,700.00 | -207,520.00 | 0.14 |
| | Cambio de color (claro) | | 1,866.40 | 324 | -1542.4 | 0.17 | 2,799.60 | 486 | -2,313.00 | 0.17 |
| Cubiertas | Protección solar | Madera | 46,666.66 | 43,200.00 | -3466.66 | 0.92 | 46,666.66 | 64,800.00 | 18,133.34 | 1.38 |
| | | Metal y asbesto | 58,666.66 | | -15,466.66 | 0.73 | 58,666.66 | | 6,133.34 | 1.1 |
| | | PVC | 12,960.00 | | 30,240.00 | 3.33 | 12,960.00 | | 51,840.00 | 5 |
| | | Verde | 167,040.00 | | -123,840.00 | 0.25 | 205,760.00 | | -140,960.00 | 0.31 |
| | | Fotovoltaico | 22,000.00 | 129,600.00 | 107,600.00 | 5.89 | 22,000.00 | 194,400.00 | 172,400.00 | 8.83 |
| Vías | Recuperación de parterres | | 19,800.00 | 26,704,400.00 | 26,684,600.00 | 1,348.70 | 28,800.00 | 40,021,128.00 | 39,992,328.00 | 1,389.62 |
| | Inserción de árboles | | 22.50 | 300,436.00 | 300,413.50 | 13,352.71 | 22.50 | 405,472.00 | 405,449.50 | 18,020.97 |
| | Protección solar | | 129.60 | 15,552.00 | 15,422.40 | 120 | 194.40 | 23,329.00 | 23,134.60 | 120 |
| | Cambio de materiales | Cesped | 19,800.00 | 26,704,400.00 | 26,684,600.00 | 1,348.70 | 28,800.00 | 40,021,128.00 | 39,992,328.00 | 1,389.62 |
| | | Pavimento verde | 3.486.00 | 2,592.00 | -894 | 0.74 | 3.486.00 | 3,888.00 | 402 | 1.11 |
| | | Adocreto | 18,750.00 | | -16,158.00 | 0.13 | 18,750.00 | | -14,862.00 | 0.2 |
| | | Recortería de jaimanitas | 18,750.00 | | -16,158.00 | 0.13 | 18,750.00 | | -14,862.00 | 0.2 |
| | | Gravilla | 11,250.00 | | -8658 | 0.23 | 11,250.00 | | -7,362.00 | 0.34 |
| | | Pavimento drenante | 2,592.00 | | 0.00 | 1 | 2,592.00 | | 1,296.00 | 1.5 |
| | Pacificación del tránsito | | 0.00 | | 2,592.00 | ∞ | 0.00 | | 3,888.00 | ∞ |

## 5- CONCLUSIONES

Aunque los datos que se ofrecen no son absolutos ni definitivos, ni están validados por la práctica cubana real, sí permiten demostrar la pertinencia de las acciones de transformación propuestas para lograr una mejor adaptación del hábitat urbano al calentamiento global.

Queda demostrado que la principal transformación a realizar, la de menor costo y mayor beneficio, consiste en fomentar el verde urbano en todos los tipos morfológicos y por todas las vías posibles. Para ello es crucial el rescate de jardines y parterres en aquellos sitios donde han sido eliminados, lo cual ocurre con mucha frecuencia en los tipos morfológicos semi-compactos de densidad media. Esto puede ser realizado por la propia población, previa capacitación y toma de conciencia sobre su necesidad.

Especial importancia tiene la inclusión de árboles donde quiera que sea posible, incluso, de pequeño y mediano porte en zonas compactas y semi-compactas de densidad media. En esto también puede colaborar la comunidad, si se plantan posturas de rápido crecimiento, que pueden llegar a alcanzar un gran porte, principalmente en zonas abiertas y en tipos semi-compactos de baja densidad, donde, por lo general, la vegetación ya es abundante, pero se puede incrementar. Sobre todo, es necesario detener la eliminación de los árboles existentes en la ciudad.

Incrementar la sombra arrojada sobre paredes y cubiertas es también recomendable, aunque eso no puede ser realizado solo por la población, sino que debe requerir de decisiones políticas y soluciones técnicas, pero también la población bien informada puede contribuir con sus medios. Lo mismo sucede con la posibilidad de reducir la franja asfáltica, sobre todo en las zonas semi-compactas de baja densidad, y sustituirla parcialmente por vegetación (césped y arboles), ya que el cambio de materiales resulta costoso. Esto es posible lograrlo con una acción conjunta del gobierno local, los técnicos y la población.

## REFERENCIAS

1- GONZÁLEZ COURET, D., DE LA PAZ PÉREZ, G. A., COLLADO BALDOQUIN, N., RUEDA GUZMÁN, L.A. (2023). “Enfoques metodológicos para evaluar el potencial de la adaptación de las morfologías urbanas al calentamiento global”. *Ecosolar* No 83, pp. 3 – 13. https://ecosolar.cubaenergia.cu/index.php/ecosolar/article/view/114

2- GONZÁLEZ COURET, D. COLLADO BALDOQUIN, N., DE LA PAR PÉREZ, G. A., RUEDA GUZMÁN, L. A. (2023). "Urban variables for adaptation to global warming in a hot-humid climate, Cubam cities as a case study". *Urban Climate* 51 (2023) 101633. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101633

3- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2021). *How can investment in nature close the infrastructure gap?*. nbi global resource centre. https://www.iisd.org/publications/investment-in-nature-close-infrastructure-gap

4- VALBUENA LESMES, Steven y TIBASOSA BOLÍVAR, Adriana Paola. *Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de Bogotá* (Proyecto curricular de Administración Ambiental). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3341/;jsessionid=9bec948c3cb1dc1207bb621bb8e89cb7?sequence=1

5- FRAIJ, Ahmad (2020), *How much can you save energy by adjusting your thermostat by 1°C?*. https://appliedenergysaving.com.au/how-much-can-you-save-energy-by-adjusting-your-thermostat-by-1c/#:~:text=the%20rule%20of%20thumb%20says,the%20heating%20or%20cooling%20unit

6- OLIVARES MENDOZA, J.A, HERNÁNDES RODRÍGUEZ, C., JIMÉNEZ PORTUGAL, L. A. "Sustainable urban mobilitu: An alternative for air pollution in the Guadalajara Metropolitan Area". *Noesis. Revista de Ciencias Sociales*, vol 31, num 62, pp. 108 – 130, 2022. : https://doi.org/10.20983/noesis.2022.2.7

# CLASIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA IBEROAMERICANA SEGÚN SU DESEMPEÑO ENERGÉTICO. VARIABLES A CONSIDERAR

**Dania González Couret, Luis Alberto Rueda Guzmán[1]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana "Jose Antonio Echeverría" (CUJAE)
[1]e-mail: daniagcouret@gmail.com

**RESUMEN**

La red CYTED sobre desempeño energético de la arquitectura iberoamericana (REDENARQUI) pretende proponer procedimientos e indicadores para su clasificación, evaluación, diseño y renovación, de acuerdo con los tipos climáticos y urbanos, la arquitectura tradicional, los materiales y sistemas constructivos, los manejos de energía y los usos y costumbres de las diferentes regiones de donde son originarios los integrantes de la Red (México, Cuba, Colombia, Bolivia, Argentina y España). La investigación se ha iniciado con la elaboración de un marco teórico metodológico que servirá de base a las siguientes etapas de trabajo empírico y elaboración propositiva. En la ponencia se presentan los resultados parciales de la investigación teórica encaminada, específicamente, a identificar las variables, parámetros e indicadores a usar como referencia en la caracterización, evaluación y clasificación de la arquitectura iberoamericana. Partiendo de los resultados de investigaciones precedentes, se discuten los criterios a considerar y la interrelación entre los componentes del modelo teórico elaborado, que contempla, además del clima, la época y el contexto, el volumen, el espacio, la envolvente, los usos y las tecnologías.

**PALABRAS CLAVES:** arquitectura y urbanismo, desempeño energético, Iberoamérica, metodología.

# CLASSIFICATION OF THE IBERO-AMERICAN ARCHITECTURE ACCORDING TO THE ENERGY BEHAVIOUR. VARIABLES TO BE CONSIDERED.

**ABSTRACT**

The CYTED network on energy performance of Ibero-American architecture (REDENARQUI) aims to propose procedures and indicators for its classification, evaluation, design and renovation, according to climatic and urban types, traditional architecture, materials and construction systems, management of energy and the uses and customs of the different regions from which the members of the Network originate (Mexico, Cuba, Colombia, Bolivia, Argentina and Spain). The research has begun with the development of a methodological theoretical framework that will serve as a basis for the following stages of empirical work and propositional elaboration. The paper presents the partial results of the theoretical research aimed specifically at identifying the variables, parameters and indicators to be used as a reference in the characterization, evaluation and classification of Ibero-American architecture. Based on the results of previous research, the criteria to be considered and the interrelation between the components of the theoretical model developed are discussed, which contemplates, in addition to the climate, the time and the context, the volume, space, envelope, uses and the technologies.

**KEY WORDS:** architecture and urbanism, energy behaviour, Ibero-America, methodology.

# PROPUESTAS PARA MEJORAR EL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN PORTOVIEJO.

**José Fabián Véliz Párraga[1], Nicolás Francisco Álvarez Pesantes[2], Elim Marianela Zambrano Martillo[3]**

[1,2,3]Universidad Técnica de Manabí, Ave. Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador

[1]e-mail: fabian.veliz@utm.edu.ec

**RESUMEN**

En el presente trabajo se exponen los resultados de una investigación experimental realizada en modelos de laboratorio para evaluar el comportamiento térmico relativo de diferentes soluciones de cubierta en la ciudad de Portoviejo, Ecuador. Se realizó un estudio experimental en modelos unitarios (1m2 de superficie interior y 2,60m de altura), basado en un inventario de los recursos locales disponibles (naturales o reciclados). Se observaron y registraron las condiciones climáticas todos los días. Se midió la temperatura del aire interior cada hora, cubriendo los módulos experimentales con las diferentes soluciones de techo estudiadas, y simultáneamente en una cabina meteorológica al aire libre. Teniendo en cuenta que la teja de zinc es el material de construcción de cubiertas más utilizado, se verificó su influencia en la temperatura interior, agregando techo y morteros sobre la misma, elaborados con los materiales locales, e incluso techos dobles. Finalmente, se realizó un procesamiento estadístico de las temperaturas medidas en viviendas reales con techo de zinc durante un trabajo de investigación previo y en los módulos experimentales cubiertos por un techo de zinc, con el fin de encontrar su correlación.

**PALABRAS CLAVES:**

Comportamiento térmico, cubiertas, ganancia térmica, Portoviejo.

# PROPOSALS TO IMPROVE THE INTERIOR THERMAL ENVIRONMENT OF SOCIAL INTEREST HOUSING IN PORTOVIEJO.

**ABSTRACT**

In this work the results are presented of an experimental research carried out in lab models to evaluate the relative thermal behaviour of different roof solutions in Portoviejo city, Ecuador. An experimental study was carried out in unitary models (1m2 interior surface and 2,60m height), based on an inventory of local available resources (natural or recycled). Weather conditions were observed and recorded each day. Indoor air temperature was measured each hour, covering the experimental modules with the different studied roof solutions, and simultaneously in a meteorological cabin outdoors. Taking into account that zinc tile is the most used roof building material, its influence on indoor temperature was verified, adding ceiling and mortars over it, elaborated with the local materials, and even double roofs. Finally, a statistical processing of the temperatures measured in real zinc roofed housing during a previous research work and in the experimental modules covered by a zinc roof were made, in order to find their correlation.

**KEY WORDS:**

Thermal behavior, covers, thermal gain, Portoviejo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una tendencia a incrementar los trabajos de investigación enfocados a mejorar la calidad de la vivienda social y popular, y en particular, su ambiente térmico interior. Entonces, numerosos estudios precedentes pueden servir de referencia a la vivienda social para el clima cálido y húmedo de Portoviejo [1,2,3]. Los autores del presente trabajo realizaron un estudio exploratorio del ambiente térmico interior en viviendas sociales ubicadas en el clima cálido y húmedo de Portoviejo [4]. Demostró la necesidad de buscar soluciones alternativas para reducir la carga térmica hacia los espacios interiores a través de los techos, utilizando los recursos disponibles localmente. Este artículo pretende exponer y discutir los resultados de una investigación experimental realizada en modelos de laboratorio para evaluar el comportamiento térmico relativo de diferentes soluciones habitacionales en la ciudad de Portoviejo, Ecuador.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados presentados en este trabajo son parte de una investigación mayor, en la que se identificaron en el marco teórico las variables que influyen en el ambiente interior de la vivienda (en particular, las referidas a la transferencia térmica a través de las cubiertas). El segundo paso de la investigación consistió en un estudio exploratorio del ambiente térmico interior en viviendas habitualmente construidas por el Ministerio de Urbanismo y Vivienda (MIDUVI) (Figura 1). Se seleccionó una muestra intencional de 92 viviendas, que representan diversas condiciones del diseño identificadas variables para comparar las temperaturas interiores medidas resultantes.

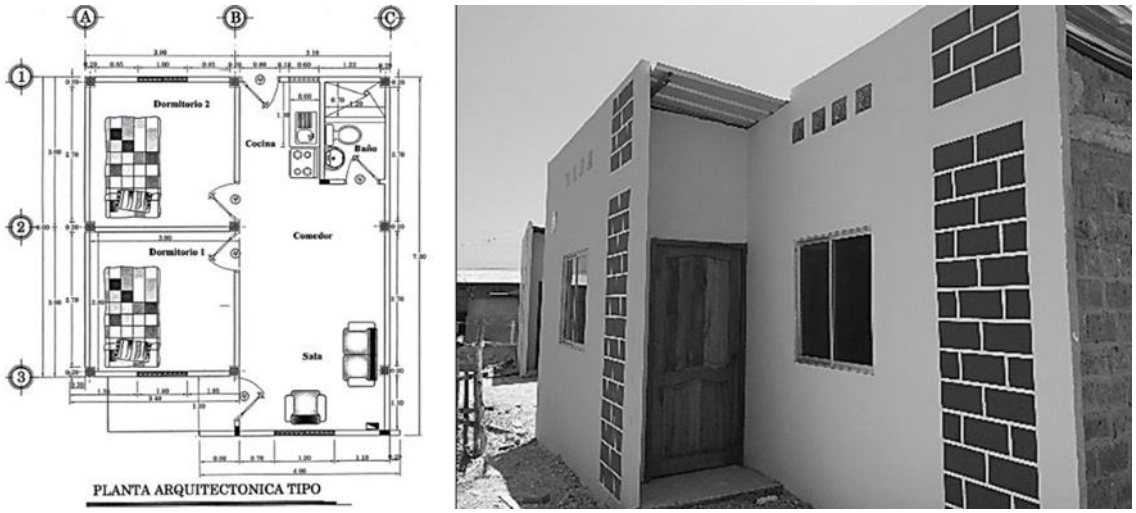
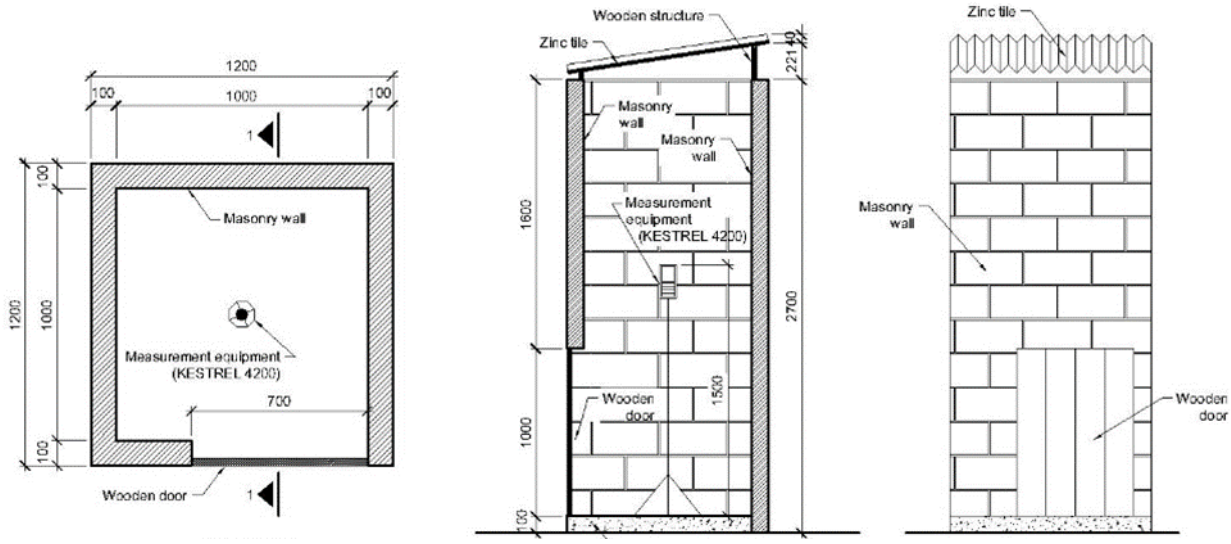



FIGURA 1: Vivienda Social construida por MIDUVI en Ecuador

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se realizaron utilizando un Kestrel 4200 (Pocket Air Flow Tracker) con precisión de + - 1oC, ubicado dentro de la vivienda (sala de estar) a 1,50 m sobre el piso y programado para medir cada hora. En todos los casos, las medidas también se realizaron en un punto de referencia exterior situado a menos de 10 m de la vivienda estudiada y utilizando el mismo equipamiento, dentro de una pequeña cabina meteorológica a 2,00 m de altura bajo un árbol. Cada caso se midió durante 24 horas. Los resultados se compararon con mediciones simultáneas tomadas en la estación meteorológica local.

El tercer paso de la investigación, que constituye el objetivo esencial del presente trabajo, consistió en un estudio experimental con modelos de laboratorio unitarios (1m2 de superficie interior y 2,60m de altura) con el fin de comparar el desempeño relativo de diferentes soluciones de cubierta en las condiciones de Portoviejo, por lo que se realizó un inventario de los recursos locales disponibles (naturales o reciclados).

Se construyeron tres módulos unitarios espaciales mínimos mediante muros de bloques de hormigón, de 10 cm de ancho, en un polígono experimental, separados 3,50 m entre ellos, para evitar sombras. Las condiciones climáticas (soleado, nublado o lluvioso) se observaron y registraron cada día, ya que las diferencias de temperatura (interior - exterior) varían de acuerdo a eso. Las mediciones de temperatura del aire interior se realizaron cada hora, cubriendo los módulos experimentales con las diferentes soluciones de techo estudiadas, y simultáneamente a las mediciones de temperatura exterior (Figura 2). Finalmente, se realizó un procesamiento estadístico de las temperaturas medidas en la vivienda de techo de zinc real y en los módulos experimentales cubiertos por un techo de zinc, con el fin de encontrar su correlación.




PLANTA SECCION 1-1 ELEVACION

FIGURA 2: Módulos experimentales

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Temperatura interior en carcasas de techo de zinc

En el estudio exploratorio anterior [4], fue posible concluir que las condiciones específicas en contextos periféricos no inducen diferencias significativas en la temperatura del aire interior. Tampoco existen diferencias notables según tipologías arquitectónicas. También es posible apreciar que las viviendas populares autoconstruidas ofrecen mejores condiciones que las MIDUVI. Según la orientación, las diferencias tampoco son significativas. Entonces, dado que las tipologías y contextos son muy similares, los materiales de construcción (techos y paredes) son la variable que más influye en la temperatura interior.

Las personas entrevistadas consideraron casi unánimemente que sus casas son calurosas o muy calurosas, durante el día, principalmente por la tarde, cuando brilla el sol, excepto los habitantes de viviendas con paredes de bambú, que dicen estar relativamente frescas durante el día. Por el contrario, quienes viven en viviendas con techo de hormigón aseguran que hace mucho calor, incluso de noche.

### 3.2 Temperatura interior en módulos experimentales de techo de zinc

Teniendo en cuenta que la teja de zinc es el material de construcción de cubiertas más utilizado, tanto por su disponibilidad y costo como por un comportamiento relativamente mejor, se verificó su influencia en la temperatura interior, agregando sobre ella morteros elaborados con diferentes materiales locales (naturales o reciclados), lo que podría mejorar su rendimiento.

Un mortero añadido con zapan (una fibra procedente del tronco del plátano) produce una reducción de la temperatura del aire interior cercana a los 2oC a las 16:00 h. Utilizando en el mortero añadido caucho reciclado procedente de neumáticos de coche, la temperatura del aire interior en el módulo experimental se reduce entre 1,5oC y 2oC, mientras que, con la fibra de coco añadida al mortero, la reducción alcanza casi los 2oC por la tarde. Un mortero con aserrín también provoca un efecto similar por la tarde, pero menor que los casos anteriores (algo superior a 1oC), mientras que el empleo de poliestireno expandido (espuma-flex) permite conseguir una reducción máxima de tan solo 1oC a las 16:00 h (Figura 3).

**MORTERO SOBRE TEJADO. DIDEFERENCIA DE TEMPERATURA (ti-te)**

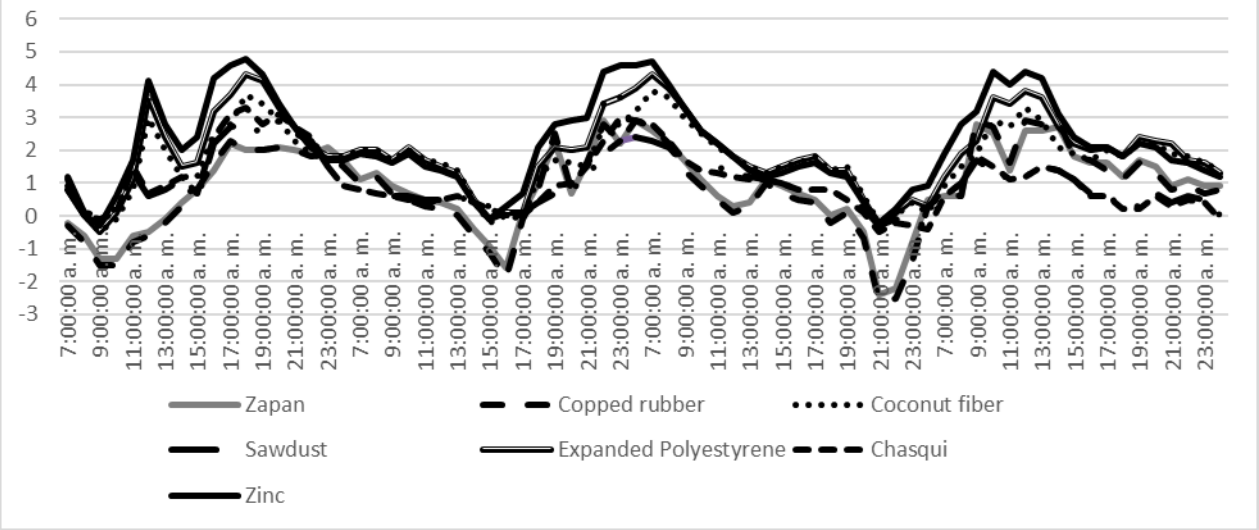



FIGURA 3: Diferencia horaria de temperatura entre el interior del módulo experimental con mortero de diferentes materiales sobre el techo de zinc y el punto de referencia exterior.

Agregar un techo debajo del techo de tejas inclinadas de zinc es una tradición en esta región, no para mejorar el ambiente térmico interior, sino por razones estéticas. Teniendo esto en cuenta, se realizaron mediciones en los módulos experimentales, agregando al techo de zinc, diversas soluciones de techo elaboradas con diferentes materiales de baja transferencia térmica disponibles localmente (naturales o reciclables).

El yeso es un material utilizado tradicionalmente como techo en Portoviejo, y según las mediciones realizadas en los módulos experimentales, produce una reducción de la temperatura interior de hasta 2oC entre las 15:00 y las 16:00 horas, a pesar de las condiciones del cielo (nublado o soleado). Los paneles modulares de corcho son elementos producidos industrialmente con baja conductividad y disponibles en el mercado a un precio relativamente bajo. A pesar de que su uso no es tradicional en la vivienda, la investigación experimental mostró una reducción de la temperatura del aire interior de más de 2oC a las 15:00 horas, incluidos los días de lluvia.

El resto de las pruebas desarrolladas en los módulos experimentales se realizaron agregando a los techos de zinc diferentes soluciones de cielorraso utilizando materiales alternativos disponibles localmente. Un techo de aserrín sobre una red textil permitió reducir la temperatura del aire interior por la tarde hasta 2oC entre las 14:00 y las 16:00 horas. También se ensayó como techo para el techo de zinc el papel de periódico, reconocido como material altamente aislante que constituye un residuo disponible y reciclable, generando una reducción de la temperatura del aire interior de hasta 2oC entre las 15:00 y las 16:00 horas (Figura 4). La mayor reducción de temperatura se logra agregando un techo de zapan al techo de zinc, que se mantiene durante toda la tarde y alcanza hasta 3oC (Figura 5).

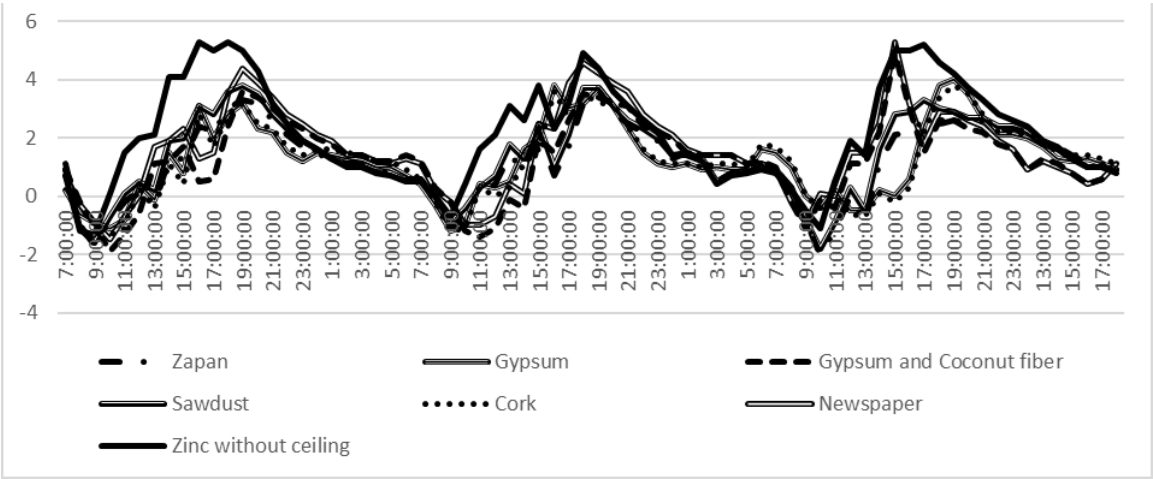



FIGURA 4: Diferencia horaria de temperatura entre el interior del módulo experimental con techo de diferentes materiales añadido a techo de zinc y el punto de referencia exterior

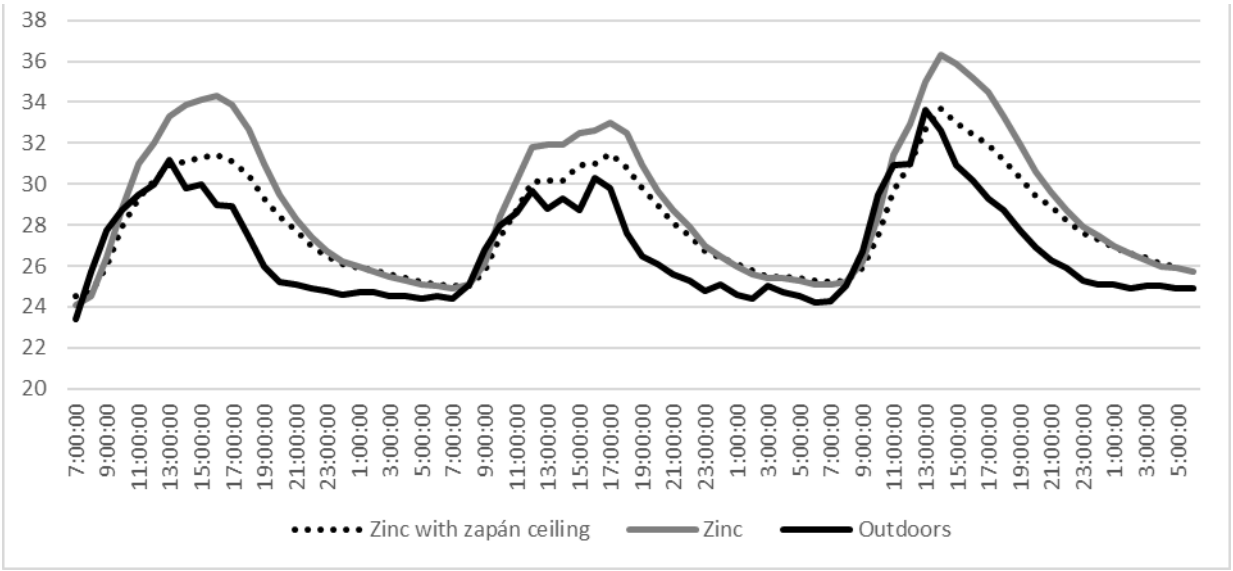
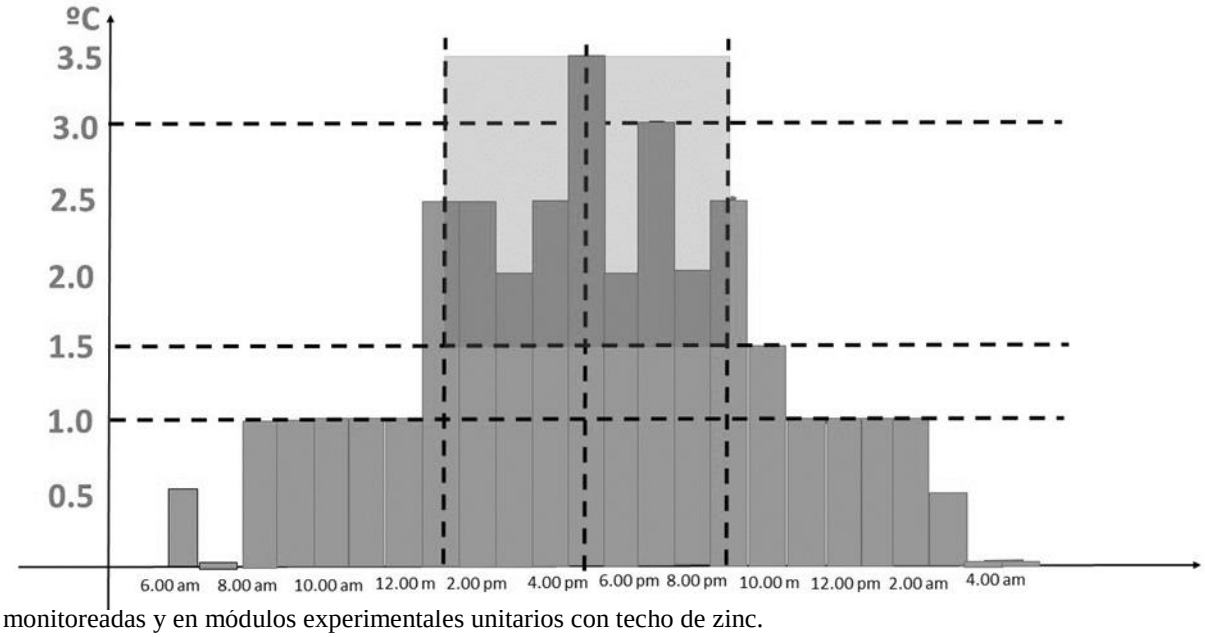



FIGURA 5: Temperaturas exterior e interior registradas en módulos experimentales cubiertos con techo de "zinc" y "zinc" con techo de "zapan"

### 3.4 Correlación entre vivienda y módulos experimentales

Entre las 13:00 y las 21:00 horas, la temperatura interior en los módulos es superior a la de las viviendas respecto a la exterior, con diferencias de Δt entre 1,5oC y 2,5oC, siendo posible alcanzar los 3oC a las 19:00 horas (Figura 6). Sin embargo, los resultados son comparables en igualdad de condiciones, a pesar de que el efecto de escala verificado podría significar reducciones reales ligeramente inferiores a las registradas en la prueba.




monitoreadas y en módulos experimentales unitarios con techo de zinc.

## 4. CONCLUSIONES

La tradicional cubierta de zinc presenta condiciones intermedias de emisividad y absortividad, pero una elevada transferencia térmica, lo cual la hace apropiada en horas de la noche por su rápido enfriamiento, pero calurosa durante el día.

La diferencia de temperatura interior bajo una cubierta de zinc puede ser de hasta 2oC menor en un día lluvioso con respecto a uno nublado.

Los estudios de calidad de la vivienda de interés social adquieren cada vez más importancia, particularmente el ambiente térmico interior, que se agrava en las zonas urbanas y como consecuencia del calentamiento global.

Con independencia de los diversos indicadores para medir la sensación térmica, a partir de los resultados de investigaciones precedentes, es posible considerar 26oC de temperatura del aire interior como condición neutra de confort, más de 28oC como estrés térmico y falta de confort, y situaciones cercanas a los 35oC como de riesgo potencial para la salud.

## REFERENCIAS

1.Triana, M. A., Lamberts, R. y Sassi, P. (2015). Caracterización de tipologías de edificación representativas para proyectos de vivienda social en Brasil y su desempeño energético. Política energética, 87: pág. 524-541.

2. Mesquita, L. y Kos, J. R. (2017). Hacia viviendas sociales más resilientes y energéticamente eficientes en Brasil. Brasil: Energy Procedia, 121: p. 65-70

3 Naicker, N., Teare, J., Balakrishna, Y., Wright, C. y Mathee, A. (2017). Temperaturas interiores en viviendas de bajo costo en Johannesburgo, Sudáfrica. Revista internacional de investigación ambiental y salud pública. doi: 10.3390 / ijerph14111410.

4.González Couret, D. y Veliz Párraga, J. F. (2019). Vivienda de interés social en Portoviejo. Ambiente Térmico Interior. Revista AUS. 26 / 35-41 / segundo semestre 2019 / DOI: 10.4206 / aus.2019.n26-07

# REFLEXIÓN EN TORNO A LAS VARIACIONES LUMÍNICAS DEL ESPACIO DOMÉSTICO: LA HABITACIÓN, IMPLICACIONES DEL COMPORTAMIENTO HUMANO EN LA ILUMINACIÓN NATURAL.

**Diana Artemisa Arbeláez Arbeláez**[1] **Danny Palacio Rojas** [2], **Ader Augusto Garcia**[3] **Elisabeth Herreño Téllez** [4].

[1]Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia; [2] Estudiante de arquitectura., Universidad Nacional de Colombia, Carrera 65 Nro. 59A – 110, [3] Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia; [4]Profesor, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia; Medellín Colombia.

e-mail: [1]diarbelaeza@unal.edu.co

**RESUMEN**

La relación entre iluminación y vida cotidiana en los espacios domésticos es crucial para comprender cómo el entorno lumínico influye en el bienestar humano. Algunas investigaciones en iluminación se han realizado en condiciones de laboratorio, sin tener en cuenta la diversidad de hábitos y comportamientos de las personas, lo cual puede afectar las condiciones lumínicas del espacio y, por ende, el bienestar de sus ocupantes.

Este artículo reflexiona sobre las variaciones de luz natural relacionadas con diferentes hábitos en un espacio doméstico ubicado en la ciudad de Medellín, Colombia, y cómo se relacionan con algunos de los estándares WELL light.

Desde una metodología cuantitativa-cualitativa-deductiva se seleccionan dos habitaciones con características similares, ocupadas por dos personas con hábitos de vida distintos. Utilizando instrumentos cuantitativos, como sensores de iluminación y levantamiento arquitectónico, se evaluaron las condiciones lumínicas de los espacios. En lo cualitativo se usaron fotografías, entrevistas y encuestas, con ellas se contrastó la relación del comportamiento humano con las condiciones lumínicas.

Las mediciones se realizaron en un periodo de 24 días antes y 24 días después del equinoccio de marzo 19 de 2024, coincidente con temporada seca y de lluvia, permitiendo identificar variaciones en la luz natural. En el resultado se observa que las condiciones arquitectónicas de los espacios cumplen con la característica L01 (exposición a la luz) y L05 (estrategia de diseño de iluminación natural), que corresponde a los requerimientos para el ingreso de iluminación, sin embargo, al convertir a m-EDI los promedios de iluminancia producto de los hábitos de las personas no cumplen para la característica L03 (diseño de iluminación circadiana), lo que significa que las personas que habitan el lugar no tendrían la suficiente iluminación para hacer la activación circadiana y equilibrar los niveles hormonales.

**PALABRAS CLAVES:** Iluminación, cotidianidad, espacio doméstico, bienestar, certificación WELL

# REFLECTION AROUND THE LIGHT VARIATIONS OF THE DOMESTIC SPACE: THE ROOM, IMPLICATIONS OF HUMAN BEHAVIOR IN NATURAL LIGHTING.

**ABSTRACT**

The relationship between lighting and everyday life in domestic spaces is crucial to understanding how the light environment influences human well-being. Some lighting research has been carried out under laboratory

conditions, without taking into account the diversity of habits and behaviors of people, which can affect the light conditions of the space and, therefore, the well-being of its occupants.

This article reflects on the variations of natural light related to different habits in a home space located in the city of Medellín, Colombia, and how they relate to some of the WELL light standards.

From a quantitative-qualitative-deductive methodology two rooms with similar characteristics are selected, occupied by two people with different habits of life. Using quantitative instruments, such as lighting sensors and architectural surveying, the light conditions of the spaces were evaluated. In the qualitative, photographs, interviews and surveys were used to compare the relationship between human behavior and light conditions.

Measurements were taken in a period of 24 days before and 24 days after the equinox of March 19, 2024, coinciding with dry and rainy season, allowing to identify variations in natural light. The result shows that the architectural conditions of the spaces meet the L01 (light exposure) and L05 (natural lighting design strategy) characteristics, that corresponds to the requirements for lighting input, however, when converting to m-EDI the average illuminance product of people's habits do not meet for the characteristic L03 (circadian lighting design), which means that the people inhabiting the place would not have enough illumination to make circadian activation and balance hormone levels.

KEYWORDS: Lighting, everyday life, home space, wellness, WELL certification

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación presenta una reflexión de cómo el comportamiento humano dentro de un espacio arquitectónico puede influir en el comportamiento lumínico de este. Se estudia la iluminación natural en un entorno real como *la casa*, ya que por lo general más del 80% de las tramas urbanas son viviendas (1), sin embargo, los estudios asociados a las normativas técnicas se centran en evaluaciones en condiciones de laboratorio y simulaciones, en los que no se contempla la actividad humana en el entorno real. En algunos estudios se puede evidenciar análisis del comportamiento humano dentro de los espacios arquitectónicos, considerando factores que pueden alterar la percepción del individuo, como el movimiento de las extremidades humanas, las dimensiones del espacio, el nivel de iluminación, la reflectancia, la temperatura, el ruido, entre otros; también se presentan análisis ergonómicos y evalúa tipos de usuarios reales, realiza dibujos a escala y maquetas que pueden recrear el entorno en aspectos formales para simular la interacción del usuario, pero no incluye las variables humanas(2).

Desde una metodología mixta cualitativa-cuantitativa-deductiva, esta investigación se centra en hacer una reflexión de las variaciones de la iluminación natural dentro del espacio doméstico, concretamente de dos habitaciones de una misma vivienda autoconstruida localizada al sur-occidente de la ciudad de Medellín-Colombia, en la latitud 6.2230366, longitud -75.6100668 y a una altura de 1570 m.s.n.m. La vivienda se ubica en una esquina, con fachadas externas por el sur y el occidente. Por las condiciones topográficas en pendiente, cuenta con 4 niveles por el costado sur y 3 niveles por el costado oeste (ver figura 1).

Se analiza las variaciones de la iluminancia y cómo este fenómeno es afectado por la vida cotidiana de sus dos habitantes, con géneros y hábitos de vida diferentes. Tomando como referencia los estándares internacionales WELL y su concepto Light cuyo objetivo es *"(...) proporcionar un entorno de iluminación que reduzca la alteración de la fase circadiana, mejore la calidad del sueño e influya positivamente en el estado de ánimo y la productividad"(3).*



**Fig.1 Gráfico de localización.** Elaboración propia a partir de ortofoto de Alcaldía de Medellín

Para recopilar información del comportamiento lumínico, se utilizan sensores de medición de iluminancia y se incluyen los aspectos del espacio arquitectónico para ver la influencia de la disposición en el ingreso de luz natural. Y para estudiar el factor humano y su comportamiento en el espacio, se hacen visitas de campo y se toman registros fotográficos, que permite ver la influencia de los hábitos cotidianos en la situación lumínica del espacio, como por ejemplo, mover las cortinas, prender la luz artificial o colocar objetos cerca a los vanos de la habitación. Para entender el comportamiento humano, se hacen encuestas a los usuarios de las habitaciones. Esta información cualitativa junto con la cuantitativa se relaciona con el fin de detectar patrones de comportamiento en relación con los requerimientos lumínicos de las actividades desarrolladas en el espacio.

Finalmente se comparan las condiciones de iluminación natural de las habitaciones con las sugeridas por los estándares de la certificación WELL. Donde se relacionan la iluminancia con las actividades cotidianas para identificar cómo éstas últimas pueden generar variaciones directas en las condiciones de iluminación de estos espacios, pues mucho se ha investigado sobre la influencia de la luz en aspectos fisiológicos, pero poco en la relación que hay entre la iluminación natural con las actividades cotidianas de los usuarios.

## 2. MARCO TEÓRICO

Dado que en la literatura técnica hay poca evidencia sobre las relaciones que pueden existir entre el comportamiento cotidiano y las condiciones de iluminación en espacios domésticos, esta investigación se construye a partir varios conceptos, el primero de ellos, asociado a los hábitos domésticos entendido como "(...*) unidades espacio-temporales conformadas por la repetición cíclica de experiencias vividas al interior de los espacios domésticos*" (4); el segundo, vinculado a los requerimientos de iluminación o exigencias visuales de las actividades como se aborda en la norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464.1 que se asemeja al RETILAP norma utilizada en Colombia; y el tercero, la iluminación natural entendida como la iluminación para la cual la luz natural es la fuente de luz(5). Tema que en los estándares WELL asocian al fotoentrenamiento para la recuperación circadiana, en donde se expresa que un diseño de iluminación inadecuado o una iluminación insuficiente podría provocar una desviación de la fase circadiana, comprendiendo que las personas pasan gran parte de su vida en espacios interiores (3).

En el ámbito de la iluminación se toman en cuenta tres características del desempeño de iluminación expresados en WELL Light: L01: Exposición a la luz/Proporcionar luz interior, L03: Diseño de iluminación circadiana/ iluminación para personas activas durante el día y la L05 Estrategias de diseño de iluminación natural/ Implementar el plan de luz natural. En la norma se evalúan los efectos biológicos de la luz que en los seres humanos se pueden medir en lux melanópico equivalente (EML), una métrica alternativa propuesta que se pondera en función de las ipRGC (glándulas intrínsecamente fotosensibles) en lugar de los conos, que es el caso del lux tradicional (Diseño de iluminación Circadiana, versión cuarto trimestre, 2020).

Otras investigaciones mencionan que el desempeño de la luz natural en espacios interiores se ha estudiado en términos de la autonomía de la luz y eficiencia energética, excluyendo comúnmente la variable de evaluación del factor humano (7). Sin embargo, investigaciones recientes confirman las ventajas biológicas de aprovechar

la luz natural para la regulación del ritmo circadiano(7) *(8)*. La arquitectura debe favorecer el ingreso de luz natural a los espacios domésticos, igualmente el individuo debe generar conciencia de los hábitos de vida de su cotidianidad diaria para promover, reconocer y aprovechar la importante relación directa que hay entre iluminación natural y la salud, específicamente en aspectos fisiológicos y psicológicos (7).

## 3. METODOLOGÍA

Con un abordaje desde una metodología mixta cualitativa-cuantitativa deductiva, a partir de un caso de estudio se busca reflexionar cómo los hábitos de vida pueden afectar las condiciones lumínicas dentro de un espacio arquitectónico como la vivienda, particularmente la habitación, lugar donde se desarrollan las actividades cotidianas básicas de las personas, como levantarse, vestirse, desvestirse, ejercitarse, leer, ver el celular o la TV, estudiar, trabajar, dormir e inclusive comer, entre otras cosas.

La selección de la vivienda es por conveniencia, por tratarse de una vivienda autoconstruida con facilidad de ingreso, accesibilidad para la instalación de instrumentos de medición y disponibilidad de los habitantes para responder las encuestas y entrevistas. Concretamente se seleccionan como sitio de estudio dos habitaciones con condiciones arquitectónicas similares en cuanto a dimensiones, cantidad de ventanas, ubicación en el mismo nivel y hacia el mismo costado de la vivienda (sur), con el fin de disminuir la incidencia del contexto en las variaciones lumínicas de los interiores; en una de éstas habita una mujer y en la otra un hombre con hábitos cotidianos diferentes, con edades similares entre los 55 y 60 años, con más de 25 años habitando este mismo espacio. En el estudio se identifica la habitación de la mujer como la habitación A y la habitación del hombre como la habitación B, en donde se analiza las actividades diarias cotidianas relacionadas con el desempeño visual y el ambiente lumínico del espacio.

**Herramientas, instrumentos y equipos**

Para la recolección de datos cuantitativos y cualitativos asociados a aspectos lumínicos del espacio y a los hábitos de vida cotidiana dentro de las habitaciones se usan diferentes herramientas, instrumentos y equipos de medición como se presenta en la tabla 1.

***Tabla 1. Resumen de herramientas, insumos y equipos de la investigación***.




Estos datos se usan para obtener información que permita construir deducciones y encontrar relaciones entre ellos, como se muestra en la figura 2.

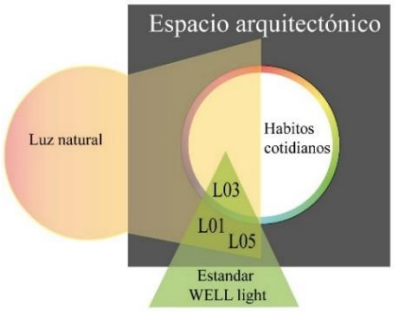



***Fig.2. Síntesis de metodología / relación de los datos.***

**Análisis relacional de datos**

El levantamiento arquitectónico de las habitaciones y el espacio doméstico cercano a estas, brindan información planimétrica, que se relaciona con la información ambiental del espacio y con las características de los estándares WELL Light. Los sensores brindan datos métricos de la iluminancia (lx) a lo largo del día, estos se instalan al interior de las habitaciones y en el exterior de la vivienda. Los hábitos cotidianos se abordan a partir de encuestas a los usuarios de cada habitación, para identificar las actividades que realizan en ellas. Adicionalmente, por medio de fotografías se observa la situación lumínica de los espacios a partir de los objetos que inciden en el ingreso de luz natural.

**Procedimientos, recolección y organización de la información**

**Distribución espacial**

Se realiza levantamiento arquitectónico de las habitaciones, su entorno inmediato y su localización geográfica (latitud-longitud-altitud). Se obtienen datos de área de vanos, altura de sillar, ubicación de ventanas, área interior de fachada y área de superficie de piso. Y se analiza el ingreso de luz natural en un periodo de tiempo cercano al equinoccio de marzo 19 de 2024 (equinoccio de primavera para el hemisferio norte y de otoño para el sur). Esta información se relaciona con las características L01: Exposición a la luz, L03: Diseño de iluminación circadiana y la L05 Estrategias de diseño de iluminación natural de los estándares WELL light para evaluar si el espacio arquitectónicamente cumple con las exigencias mínimas (ver tabla 2)

***Tabla 2. Características WELL light L01, L03 Y L05.***

| Característica | | | Superficie acristalada / superficie del piso | Transmitancia de luz visible (VLT) | m-EDI [Lx] |
|---|---|---|---|---|---|
| L01 | Exposición a la luz | Opción 2 | 7% | --- | --- |
| | | Opción 3 | 15% | 40% | 109 |
| L03 | Diseño de iluminación circadiana | 1 punto | 15% | 40% | 109 |
| | | 3 puntos | 15% | 40% | 163 |
| L05 | Estrategias de diseño de iluminación natural | 1 punto | 15% | 40% | --- |
| | | 2 puntos | 25% | 40% | --- |

**Comportamiento lumínico**

La información del comportamiento lumínico se obtiene por medio de sensores datalogger marca HOBO™ U12, que censan cada minuto entre el 25 de febrero y 13 de abril, 24 días antes y 24 días después del equinoccio de 19 de marzo del 2024. La característica L03 de WELL Light indica que la medición en salones de estar, cocinas, apartaestudios y habitaciones sin salas de estar, debe realizarse una altura de 55 in (1.40 m) en el centro del espacio, y en puestos de trabajo a una altura de 18 in (0.46 m) por encima del plano de trabajo. Sin embargo, para evitar interferencias en la vida cotidiana de los usuarios durante las mediciones, los sensores internos (HA y HB) se ubican en el centro geométrico de cada cielo raso, a una altura de 2,40 m desde el nivel de piso (ver figura 3). El sensor externo (E) se ubica bajo el alero exterior del techo de la fachada sur, a la misma altura de los sensores internos. Los dos sensores internos y el externo realizan las mediciones de manera simultánea durante el período mencionado, con el fin de tener un punto exterior de referencia para comparar los espacios interiores mediante el factor de día.




***Fig.3. Vista en planta y sección de las habitaciones con ubicación de sensores, exterior (sensor E), interior habitación A (sensor HA) e interior habitación B (sensor HB).***

Debido a que los sensores Hobo U12 no son muy precisos, se aplicó un factor de corrección con respecto a los resultados obtenidos con un Luxómetro Kimo Lx100 Clase C. Se aplicó un procedimiento, similar al descrito en investigaciones preliminares para calcular los factores de corrección (9). Consiste en someter al grupo de sensores a diferentes niveles de luz natural durante 1 minuto y tomar datos cada segundo. Los niveles de luz diurna a los que se sometieron los sensores fueron los siguientes: 24- 35-46-58-72- 89-105-120-151-164-245-360- 512- 745- 1050- 2038- 3065. El factor de corrección es el resultado de la ecuación que mejor describe la relación entre cada sensor y el Luxómetro Kimo Lx100 Clase C.

Los datos obtenidos de los sensores se tabulan en una hoja de cálculo, clasificándolos por fecha, hora, período previo y posterior al equinoccio, e iluminancia de cada sensor (HA, HB y E). Se grafican en líneas para relacionar el comportamiento lumínico de cada habitación con los valores de exposición a la luz dados por WELL Light L03. Se identifican los momentos del día en los cuales el espacio cumple con esta característica y cuántos puntos se obtiene a partir de los resultados. Esta relación permite analizar la adecuada recuperación del ciclo circadiano de los usuarios si estos permanecieran en este espacio, la característica L03, para el diseño de iluminación circadiana, específica que un individuo debe alcanzar como mínimo 109 EDI-melanópicos equivalentes a 109 lux (para 1 punto) durante un periodo no inferior a 4 horas, acumulables a lo largo del día. Según WELL la exposición a la luz debe ser a partir del mediodía para que logre una buena recuperación del ciclo circadiano, sin embargo, este parámetro en el estándar WELL light está enunciado para espacios de trabajo y no se especifica para unidades habitacionales.

Para homologar las unidades de medida de iluminancia obtenidos con los sensores (lx) y las expresadas en WELL se toma en cuenta el estudio realizado por Giraldo et al.(7) donde se identificó que 250 EML corresponden a 226 lux (Internacional WELL Building Institute, 2016), dato importante para convertir a partir de una regla de tres los valores equivalentes de EML a lux.

**Cotidianidad doméstica**

Las fotografías tomadas en las habitaciones a distintas horas durante un día escogido de forma aleatoria, se utilizan para observar la disposición de los objetos de protección del vano (cortinas) y los elementos de generación lumínica en las habitaciones. Las fotografías se analizan en relación con el tipo de opacidad de las cortinas y el porcentaje de área no cubierta que permiten pasar la luz natural por el vano de manera directa.

Por otra parte, se realizan encuestas virtuales mediante formulario de Google Forms, para identificar las actividades que cada usuario desarrolla de manera cotidiana en su habitación, así como la hora y duración de las mismas. A cada actividad cotidiana se le asigna un nivel lumínico requerido haciendo una equivalencia con los niveles de iluminación en función de las tareas realizadas según la norma europea UNE 12464.1, como se muestra en la tabla 3.

***Tabla 3. Requisitos de iluminación según actividad en lugares de trabajo (norma europea UNE 12464.1) y su equivalencia con actividades domésticas.***

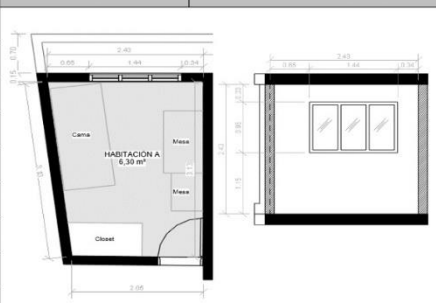
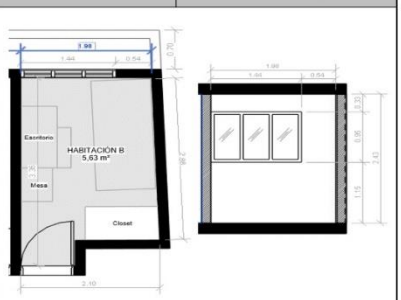
| Requisitos de iluminación según actividad en lugares de trabajo (norma europea UNE 12464.1) y su equivalencia con actividades domésticas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **TIPO DE LUGAR** | | **ACTIVIDAD EN LUGAR DE TRABAJO (UNE 12464.1 )** | **$E_m$lux** | **ACTIVIDAD COTIDIANA EQUIVALENTE** | **Mujer** | **Hombre** |
| **ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS** | **EDIFICIOS EDUCATIVOS** | SALA DE LECTURA | 500 | Leer | 500 | 500 |
| | | AULAS DE MANUALIDADES | 500 | Estudiar/Trabajar Medios manuales | 500 | _ |
| | | | | Manualidades | | |
| | | AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA | 300 | Ver televisión, videos, tutoriales o series | 300 | 300 |
| | | | | Estudiar/Trabajar Medios digitales | | |
| | | | | Juegos y entretenimiento | | |
| | **OFICINAS** | ESCRITURA, ESCRITURA A MÁQUINA, LECTURA Y TRATAMIENTO DE DATOS | 500 | Lectura/Escritura | 500 | _ |
| **LUGARES DE PÚBLICA CONCURRENCIA** | **ÁREAS COMUNES** | GUARDARROPAS | 200 | Organizarse/Vestirse | 200 | 200 |
| | **BIBLIOTECAS** | ÁREA DE LECTURA | 500 | Leer | 500 | 500 |
| **ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANALES** | **PAPEL Y ARTÍCULOS DE PAPEL** | ENCUADERNADOS ESTÁNDAR, PLEGADO, CLASIFICACIÓN, ENCOLADO, CORTE, GRABADO Y COSIDO | 500 | Encuadernación | 500 | _ |
| | **INDUSTRIA TEXTIL** | DISEÑO MANUAL, PATRONES | 750 | Modisteria | 750 | _ |
| **ZONA DE TRÁFICO Y ÁREAS COMUNES DE EDIFICIOS** | **SALAS DE DESCANSO, SANITARIAS Y DE PRIMEROS AUXILIOS** | SALAS DE DESCANSO | 100 | Tomar tinto | 100 | _ |
| | | | | Levantarse | 100 | 100 |
| | | | | Acostarse | 100 | 100 |
| | | | | Dormir | 100 | 100 |
| | | | | Descansar | 100 | 100 |
| | | VESTUARIOS, SALAS DE LAVADO, SERVICIOS | 200 | Organización y limpieza | 200 | _ |

Se relacionan las actividades cotidianas con la información obtenida de las fotografías tomadas en las habitaciones y a su vez los datos cualitativos obtenidos permiten relacionar las actividades con el comportamiento lumínico del espacio interior y ser interpretada a través de los parámetros establecidos en la característica L03 de WELL light.

## 4. RESULTADOS

El levantamiento arquitectónico evidencia la similitud espacial entre los dos espacios en términos de dimensiones y disposición de los elementos arquitectónicos, ventanas de dimensiones idénticas, ubicadas en la fachada sur, con igual altura del sillar como se puede observar la figura 3. La habitación A cuenta con 1,09m² más de área total y con 0,67m² más de área de superficie ocupada que la habitación B. A partir del alzado se identifican las ubicaciones de los vanos sobre la fachada de las habitaciones para extraer los porcentajes que se relacionan con los requerimientos de WELL.

***Tabla 4. Situación espacial de las habitaciones***

| SITUACIÓN ESPACIAL | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SITUACIÓN ESPACIAL | | HABITACIÓN A | | | HABITACIÓN B | | | |
| | | Ventana A1 | Planta | Alzado interior de fachada | Ventana B1 | Planta | Alzado interior de fachada | |
| Dimensiones del vano | Ancho | 1,44 |  | | 1,44 |  | | |
| | Alto | 0,95 | | | 0,95 | | | |
| Área vano acristalada | | 1,37 | | | 1,37 | | | |
| Altura de sillar | | 1,15 | | | 1,15 | | | |
| Localización | | Sur | | | Sur | | | |
| Área interior fachada | | 4,53 | | | 3,44 | | | |
| Área superficie piso ocupado | | 6,3 | | | 5,63 | | | |
| Proporción vano/fachada | | 30,20% | | | 39,77% | | | |
| Proporción vano/superficie de piso ocupado | | **21,71%** | | | **24,30%** | | | |
| WELL LIGHT | | WELL L01 (7%) | WELL L05 (15 % - 1 punto) | WELL L05 (25 % - 2 puntos) | WELL L01 (7%) | WELL L05 (15 % - 1 punto) | WELL L05 (25 % - 2 puntos) | |
| | | SI | SI | NO | SI | SI | NO | |

Las dimensiones influyen directamente en las proporciones que hay entre vano y fachada siendo mayor en un 7,87% la habitación B, y en la proporción vano/área de la superficie de piso ocupado la habitación B es mayor que la Habitación A en un 2,12%, como se evidencia en la tabla 4.

**Análisis de la vida doméstica en relación con los objetos de ingreso de protección del vano.**

En el análisis de las fotografías se identificaron los objetos presentes en cada una de las habitaciones, y se evidencia el cambio en el espacio por las interacciones del individuo con las cortinas y los sistemas de iluminación artificial, elementos con influencia directa sobre la iluminancia del espacio. En las fotografías se observa que la habitación A no usa iluminación artificial durante las horas del día, mientras que en la B se observa en dos momentos del día.

Durante los 49 días de medición, la ventana de la habitación A vistió cortinas de tres cuerpos de tela vertical, el central en tela velo suizo blanco translúcido y los laterales en tela poliéster blanco opaco con estampado floral. Por su parte, la ventana de la habitación B, en el periodo pre-equinoccial vistió cortinas de tres cuerpos de tela vertical, el central en tela vela suizo blanco opaco y laterales en poliéster blanco opaca con estampado floral, y en el periodo post-equinoccial cambio a tres cuerpos verticales, en el centro poliéster verde opaco, en los laterales en poliéster blanco opaco como se observa en figura 4.

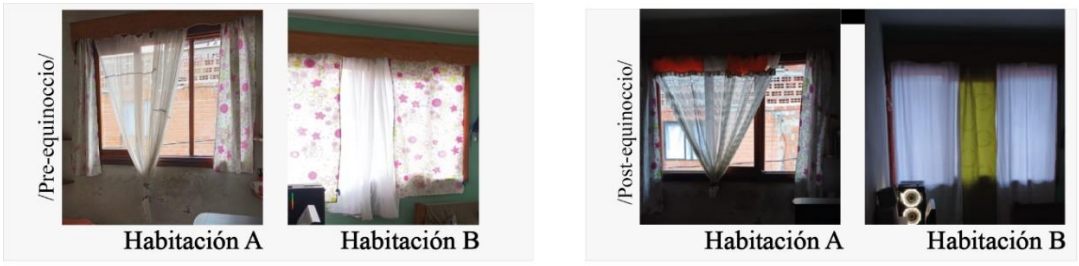



***Fig. 4 Fotografías de las cortinas en las habitaciones***

Para evaluar la apertura de las cortinas, se recurrió al uso de convenciones que faciliten la graficación y el análisis (ver figura 5). La posición de la cortina de la habitación permite establecer el área descubierta del vano que oscila entre el 35 y el 41% en la habitación A, mientras la cortina de la habitación B permanece cerrada durante toda la observación.

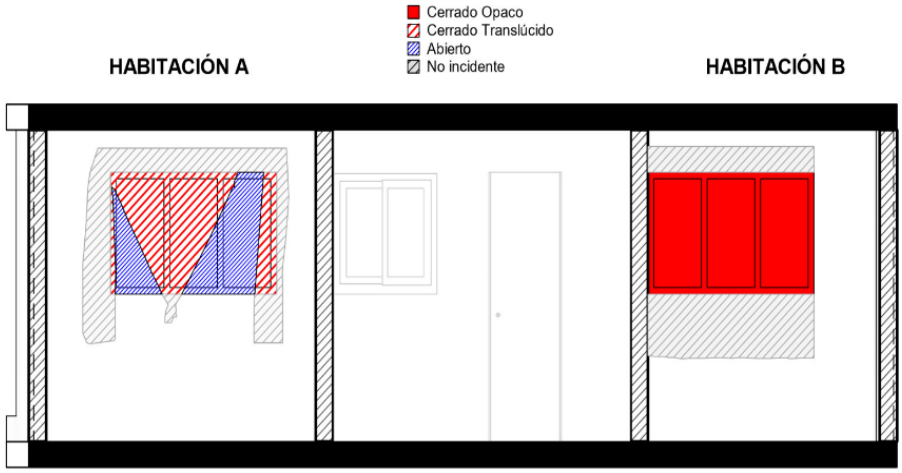
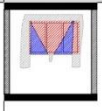
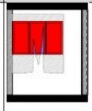
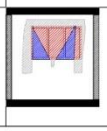
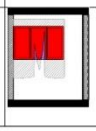



***Fig. 5 Convenciones de apertura de cortinas***

Los porcentajes de área que se encuentran cubiertos por la cortina, permitieron identificar el porcentaje de vano que posibilita el ingreso de luz natural directa y estos se relacionan con la actividad que cotidianamente se realiza en cada franja horaria, como se evidencia en la tabla 5.

***Tabla 5. Porcentaje de área libre de vanos***

| SITUACIÓN LUMÍNICA | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4/04/24 | HABITACIÓN A | | | | | | HABITACIÓN B | | | | | |
| Cerrado Opaco<br>Cerrado Translúcido<br>Abierto<br>No incidente<br>Hora | Foto | Dispositivo de protección solar Habitación A | | | Actividad | Iluminación artificial | Foto | Dispositivo de protección solar Habitación B | | | Actividad | Iluminación artificial |
| | | Situación | % de apertura | % de obstrucción | | | | Situación | % de apertura | % de obstrucción | | |
| 14:00 |  |  | 35% | 65% | Estudiar/trabajar: Medios digitales - Medios manuales | |  |  | 4% | 96% | Dormir | |
| 18:00 |  |  | 35% | 65% | Acostarse | |  |  | 4% | 96% | Levantarse | X |

En un día aleatorio se tomaron las 10 fotografías, cada hora desde las 06:00am hasta las 12:00 m y luego a las 14:00, 17:00 y 18:00. El análisis fotográfico revela que las cortinas de la habitación del hombre permanecen la mayor parte del tiempo cerradas, y solo después de las 11:00hr hay un sutil cambio dado por el recogido de la cortina, que permite el ingreso de luz natural por un 4% de la superficie acristalada. Por su parte, en la habitación de la mujer inicia con una apertura de superficie acristalada de 41% y a partir de las 10:00hr se presenta un cambio de posición de las cortinas reduciendo el área libre a un 35% por el resto del día. Al relacionar los datos obtenidos con las características WELL Light, como se muestra en la tabla 2, se encuentra que ambas habitaciones tienen un área de superficie vertical acristalada mayor al 15% en relación al área de superficie de piso ocupado, cumpliendo con la opción 2 y 3 expresadas en la característica L01; esta misma área de superficie acristalada otorga un punto en la característica L05. La transmitancia de luz visible (VLT) supera el porcentaje solicitado (40%) al contar ambas ventanas con vidrio translúcido.

En cuanto al comportamiento lumínico, se evalúa la iluminancia exterior en los períodos del pre-equinoccio y post-equinoccio, tomando las mediciones obtenidas del sensor E se construye una gráfica de líneas de un día promedio pre-equinoccial y uno pos-equinoccial, a partir de los promedios hora a hora durante cada período (ver figura 6).

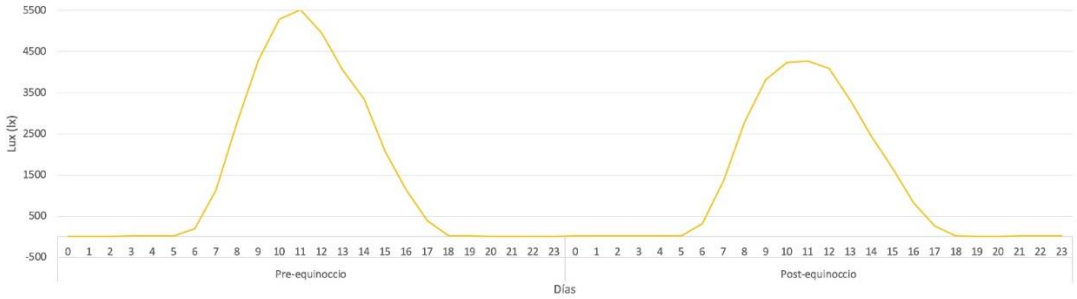



***Fig. 6. Gráfico comparativo de iluminancia exterior pre-equinoccio/ post-equinoccio***

Se observa una disminución de la iluminancia en el período post-equinoccial del 22.6%, por lo cual se toma este segundo periodo como la franja temporal de estudio del comportamiento lumínico al interior de las habitaciones, por ser el más desfavorable en términos lumínicos.

Aplicando el mismo procedimiento se construye una gráfica de líneas de un día promedio post-equinoccial a partir de las mediciones obtenidas de los sensores HA y HB. Dicha gráfica se contrasta con los rangos mínimos para alcanzar la puntuación de la norma que la sitúa entre 109 y 163 lx, según lo sugerido en la característica WELL Light L03 sobre diseño de iluminación circadiana. Se observa que la habitación A alcanza unos niveles suficientes para obtener 1 punto en esta característica, ya que se supera los 109 lx entre las 08:00 y las 14:00 hrs aproximadamente, mientras que en la habitación B no se alcanzan los valores mínimos para cumplir con esta característica como se evidencia en la figura 7.

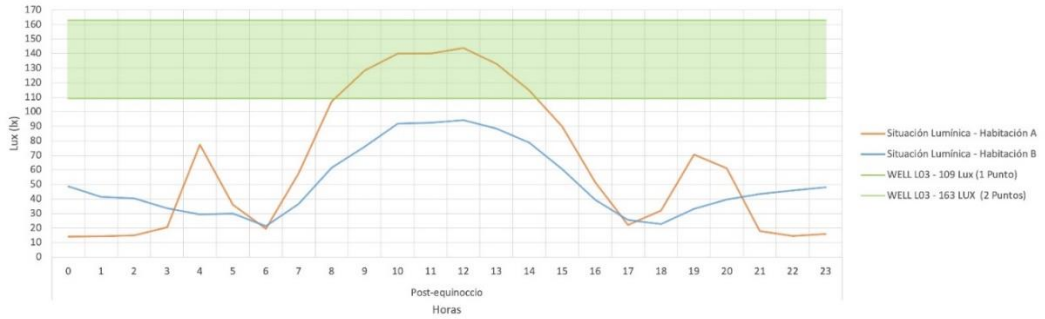



**Fig. 7. Situación lumínica habitaciones A y B**

Sin embargo, el estudio se enfoca en el análisis de la vida cotidiana, a través de las encuestas se identifican las actividades de cada individuo, y se les asigna un valor del requerimiento lumínico en lx para cada actividad, con una equivalencia asociada a los requerimientos mínimos de iluminación de la norma de acuerdo con las equivalencias presentadas en la tabla 3.

Con estos datos, se elabora la gráfica de líneas con los requerimientos lumínicos de cada usuario y las actividades realizadas cada hora (ver figura 8). En el gráfico se observa que las actividades cotidianas en la habitación B tienden a ser nocturnas, mientras que las actividades cotidianas de la habitación A son diurnas. También evidencia que las actividades que realiza la mujer son visualmente más exigentes (modistería y manualidades) comparadas con las del hombre en cuanto a tiempo de duración e intensidad lumínica requerida.

Finalmente, para relacionar las variables espaciales y humanas se sobreponen los gráficos de comportamiento lumínico y de requerimientos lumínicos, para contrastar la situación lumínica real de los espacios con las necesidades visuales de cada individuo en el desarrollo de sus actividades cotidianas, donde finalmente se relaciona con el rango en lx de la característica WELL Light L03. (ver figura 8)

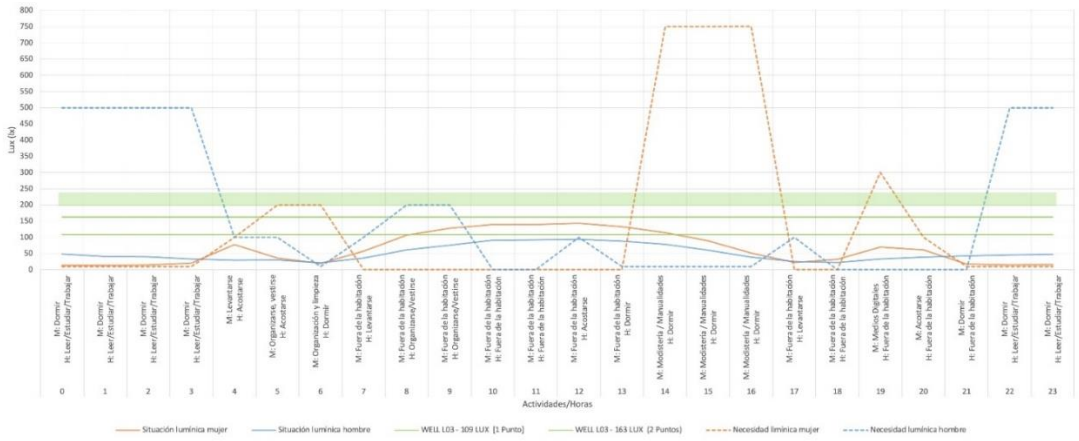



**Fig. 8. Relación situación lumínica/ necesidades lumínicas/ WELL light L03**

Se observa que los requerimientos lumínicos de ambos usuarios son superiores a las condiciones lumínicas de los espacios. Así mismo, se evidencia que las exigencias de iluminación requeridas por los usuarios superan el rango lumínico de la característica WELL Light L03. También se observa que los momentos de mayor actividad del hombre no coinciden con los momentos de disponibilidad de luz natural en su habitación; de manera similar, la mujer hace poco uso de este espacio durante dicho período de tiempo. Como se observó en las fotografías, las cortinas de la habitación del hombre permanecen cerradas durante el día, lo cual coincide en el gráfico con una menor intensidad lumínica en comparación con la otra habitación. Así pues, se evidencia cómo los pequeños hábitos cotidianos inciden en las condiciones lumínicas del espacio y en el aprovechamiento de la luz natural disponible.

## 4. DISCUSIÓN

Los cambios en las dinámicas de uso de los espacios domésticos en la actualidad, conllevan a la necesidad de contemplar una mayor gama de actividades posibles en cada espacio de la vivienda. Podría ser conveniente diseñar cada espacio considerando una necesidad visual exigente y contar con el uso de dispositivos de control de luz para disminuir la cantidad de ésta que ingresa de forma natural, adecuándose a los factores biológicos y requerimientos visuales cotidianos de los usuarios reales.

Como menciona García et al. (4) sobre la subjetividad del confort, esta interpretación también se puede extrapolar al concepto de cotidianidad, ya que como mencionan los autores "*... la noción de confort para los habitantes es subjetiva y subordinada a los hábitos de vida cotidiana, lo que permite reconocer su valor en la espacialidad de las viviendas como complemento más que como fin"*, igualmente los hábitos cotidianos aunque tienden a regularizarse, las dinámicas del individuo pueden ir variando en su día a día y a lo largo del tiempo.

Los hábitos cotidianos domésticos inciden en las condiciones lumínicas relativas a la luz natural, así mismo las condiciones climáticas, tan impredecibles como cambiantes en el trópico latinoamericano, constituyen otro factor determinante en las situaciones lumínicas de estos espacios. Estándares como el WELL no contemplan dentro de la variable del factor humano los hábitos cotidianos de las personas y las mediciones son resultado de procedimientos realizados en entornos controlados de laboratorio. El factor humano es trascendental en estos estudios, ya que como se logró evidenciar en esta investigación, los hábitos cotidianos afectan el ingreso de luz natural a los espacios y por ende pueden incidir en la activación del ciclo circadiano. Igualmente, el estándar está pensado para países europeos y no contempla otros países como por ejemplo los ubicados en el trópico latinoamericano.

El estándar WELL no contempla aspectos arquitectónicos de los diferentes contextos, como el alto del sillar de la ventana que, por ejemplo, en Colombia comúnmente está a un metro del piso y esto también puede influir en el ingreso de luz natural en los espacios. De igual forma, tampoco contemplan agudeza visual y durante la fase investigativa, tampoco se lograron encontrar otras fuentes científicas que hablen de la agudeza visual requerida para las labores domésticas; sería interesante analizar la iluminación y agudeza visual en función de las tareas realizadas al interior de la vivienda; dado que post-pandemia se han vuelto espacios de trabajo y en la actualidad solo se encuentra literatura relacionada a este tema para espacios laborales.

Las exigencias lumínicas se hacen especialmente relevantes en poblaciones que se encuentran en un rango de mayor edad. Al igual la recuperación del ciclo circadiano puede verse afectada por aspectos fisiológicos de cada individuo, en especial a nivel ocular, como señalan Giraldo et. al. (10). Como se menciona en el artículo, no se cuenta con una normativa que regule la cantidad de luz (lux) mínima, que apoye el arrastre circadiano o favorezca la supresión de melatonina en los espacios interiores. Adicionalmente se pudo evidenciar en esta investigación, que la forma como se usan los espacios también puede afectar la forma como la luz llega hasta los usuarios.

## 5. CONCLUSIONES

Para promover una adecuada activación del ciclo circadiano no es suficiente con una correcta disposición arquitectónica, la cotidianidad de los usuarios es un factor determinante en el aprovechamiento de la luz natural disponible en los espacios.

En la cotidianidad doméstica de las personas, hay algunas actividades que, aunque son de corta duración, tienen una alta exigencia lumínica, como por ejemplo la lectura y la manufactura fina, por encima incluso de los rangos establecidos por la WELL Light L03.

Si bien no es objetivo de la investigación concluir cuáles son los estándares apropiados para las particularidades de los espacios domésticos en condiciones del trópico latinoamericano, sí se resalta la necesidad de contar con mayores estudios de las condiciones lumínicas en dichas latitudes, teniendo en cuenta las características climáticas, topográficas y de cotidianidad como factores determinantes en el desempeño y aprovechamiento lumínico, este análisis se hizo en una vivienda autoconstruida, debido a que en la ciudad de Medellín cuenta con más del 60% de las viviendas en esta tipología.

Dentro de los parámetros de medición de iluminación en los estándares o normas, se debería tener en cuenta que la altura de dispositivos instalados en espacios interiores domésticos durante períodos prolongados debería ser tal que no interfiera en el normal transcurrir de la vida cotidiana de sus usuarios.

## 5. REFERENCIAS

1. FORREST, Ray. Housing and Cities. In : *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Elsevier, 2015. p. 233–238.

2. UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, México. Análisis de la actividad humana. *Revista interiorgráfico*. 4 February 2016. Vol. Tercera Edición.

3. ESTÁNDARES WELL. *Clasificación de desempeño WELL Mediciones de iluminación*. Online. March 2024. [Accessed 29 August 2024]. Available from: https://v2.wellcertified.com/en/performance-rating/lighting%20measurements

4. GARCÍA-CARDONA, Ader, HERREÑO-TÉLLEZ, Elisabeth, HERNÁNDEZ-DUQUE, Yury, ARANGO-FLÓREZ, John, ANDRADE SEPÚLVEDA, Laura, CANO ARROYAVE, Carolina, CASTRO BURBANO, Elizabeth, GARCÍA VALLEJO, María José, JAIMES NOVA, Luisa María, OROZCO GALLO, David, OSPINA MONTOYA, Cristina and VARGAS OLMOS, Álvaro. From Comfort to Life Habits. Qualitative Approaches to Comfort Research on Domestic Space in the Colombian Andean Tropics. In : *Green Energy and Technology*. 2023.

6. COMITÉ TÉCNICO CTN-UNE 72. *UNE 12464.1- Norma europea sobre la iluminación para interiores*. Online. December 2022. [Accessed 29 August 2024]. Available from: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0068596

6. ESTANDARES WELL. *Diseño de iluminación Circadiana, versión cuarto trimestre* . Online. 2020. [Accessed 29 August 2024]. Available from: https://standard.wellcertified.com/light/circadian-lighting-design

7. GIRALDO GAVIRIA, Verónica, ARANGO DÍAZ, Lucas and HERREÑO TELLÉZ, Elisabeth. Valoración del desempeño lumínico de puestos de trabajo a partir de los efectos no visuales de la luz natural sobre la salud. *ACE: Architecture, City and Environment*. 2020. Vol. 15, no. 43. DOI 10.5821/ace.15.43.8903.

8. NAGARE, Rohan, REA, Mark S., PLITNICK, Barbara and FIGUEIRO, Mariana G. Nocturnal Melatonin Suppression by Adolescents and Adults for Different Levels, Spectra, and Durations of Light Exposure. *Journal of Biological Rhythms*. 25 April 2019. Vol. 34, no. 2, p. 178–194. DOI 10.1177/0748730419828056.

9. VÁSQUEZ, Natalia Giraldo, PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay and KUHNEN, Ariane. Preferências visuais das crianças em salas de aula de educação infantil: uma aproximação experimental. *Ambiente Construído*. September 2018. Vol. 18, no. 3, p. 11–28. DOI 10.1590/s1678-86212018000300265.

10. VERÓNICA GIRALDO GAVIRIA, Lucas Arango Diaz, Elisabeth Herreño Téllez. Factores humanos en el desempeño de la iluminación natural de oficinas. Método de evaluación integrado de suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y efectos no visuales de la luz natural sobre la salud. In : *Experencias esenciales sobre el hábitat contemporáneo. Ser humano, hábitat y ambiente*. Medellín, 2021.

# ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA SALPICADURA DE AGUA LLUVIA EN FACHADAS

**Julieth Gabriela Pantoja Rosero[1], Harley Dario Paredes Córdoba[1], Ader Augusto García Cardona[2], Elisabeth Herreño Tellez[3]**

[1]Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia; [2]Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia; [3]Profesora, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 65 Nro. 59A – 110, Medellín Colombia.

**1e-mail**: jupantojar@unal.edu.co

**RESUMEN**

El impacto del agua de lluvia sobre las edificaciones es uno de los factores más determinantes en la afectación al confort de espacios habitables y el deterioro gradual del edificio. Una de las principales causas, a menudo menos evaluada, es la salpicadura de agua de lluvia sobre la fachada. Este artículo analiza dicho fenómeno con el objetivo de identificar los factores que influyen en la cantidad y dispersión del agua salpicada, y cómo estos afectan la durabilidad y conservación del edificio.

El estudio se desarrolla en dos fases; inicialmente se realizan pruebas experimentales del impacto de una gota de agua con diferentes diámetros sobre una superficie impermeable midiendo el alcance vertical y la dispersión del salpique. En la segunda fase se mide el alcance horizontal del agua en materiales porosos de suelo (ladrillo, concreto y tablilla de gres) en estado húmedo y seco.

Los resultados muestran que la dispersión de agua por salpicadura depende de la altura de la caída y de la materialidad de la superficie. La cantidad de agua salpicada desde 2 metros de altura fue el 33% de la registrada a 5 metros, mientras que entre 5 y 10 metros no hubo variación significativa. Además, un material poroso en estado seco genera solo el 2,8% de las salpicaduras que produce el mismo material en condiciones húmedas. Estos hallazgos proporcionan parámetros esenciales para optimizar el diseño arquitectónico, incluyendo las dimensiones apropiadas de los aleros, la impermeabilización y altura de los zócalos, y la elección y ubicación de materiales de pisos, con el objetivo de mitigar el impacto de la salpicadura en las fachadas.

**PALABRAS CLAVES:**
Arquitectura bioclimática, lluvia, salpicadura, patologías, habitabilidad.

# ANALYSIS AND MEASUREMENT OF THE IMPACT OF RAINWATER SPLASH ON FACADE

**ABSTRACT**

The impact of rainwater on buildings is one of the most significant factors affecting the comfort of living spaces and the gradual deterioration of the structure. One of the main causes, often less studied, is rainwater splashing onto the facade. This article examines this phenomenon with the goal of identifying the factors that influence the amount and spread of splashed water and how they affect the building's durability and preservation.

The study is divided into two phases. In the first phase, experimental tests are conducted to measure the horizontal and vertical reach of water splashes from drops of varying diameters on an impermeable surface. In the second phase, the horizontal reach of water is measured on porous ground materials (brick, concrete, and gres tile) in both wet and dry conditions.

The results show that the dispersion of water by splashing depends on the drop height and the materiality of the surface. The amount of water splashed from a height of 2 meters was 33% of that recorded at 5 meters, while between 5 and 10 meters, there was no significant variation. Additionally, a dry porous material generates only 2.8% of the splashes produced by the same material in wet conditions. These

findings provide essential parameters for optimizing architectural design, including appropriate eave dimensions, waterproofing of plinths, and the selection and placement of flooring and plinth materials, with the aim of mitigating the impact of splashing on facades.

**KEY WORDS:**
Bioclimatic architecture, rain, splash, pathologies, habitability.

## 1. CONTEXTO

Colombia, ubicada en el noroeste de América del Sur, abarca una vasta geografía de aproximadamente 1.141.748 km² de tierra firme y 928.660 km² de cuerpos de agua; su población se estima alrededor de 52 millones de habitantes en 2024 (1). La altitud varía desde las bajas tierras costeras hasta los picos nevados de los Andes, lo que resulta en una amplia gama de condiciones climáticas, desde cálidas y húmedas hasta frías y secas.

Colombia, posee un clima predominantemente tropical con una pluviosidad promedio anual de 822 mm, con una temporada de lluvia que se extiende de mayo a noviembre; la influencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y fenómenos como El Niño y La Niña afectan significativamente los patrones de lluvia, causando variaciones estacionales y regionales (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), 2018). En la Figura 1 se presenta el mapa de precipitación promedio anual de Colombia para el periodo 1981-2010. A partir de las 12 zonas de precipitación mostradas en la imagen (ver Figura 1), se decidió agruparlas en tres regiones para simplificar el proceso metodológico de la investigación: regiones con alta pluviosidad (más de 3,000mm anuales), regiones con pluviosidad moderada (entre 1,500 y 3,000mm anuales) y regiones con baja pluviosidad (menos de 1,500mm anuales).

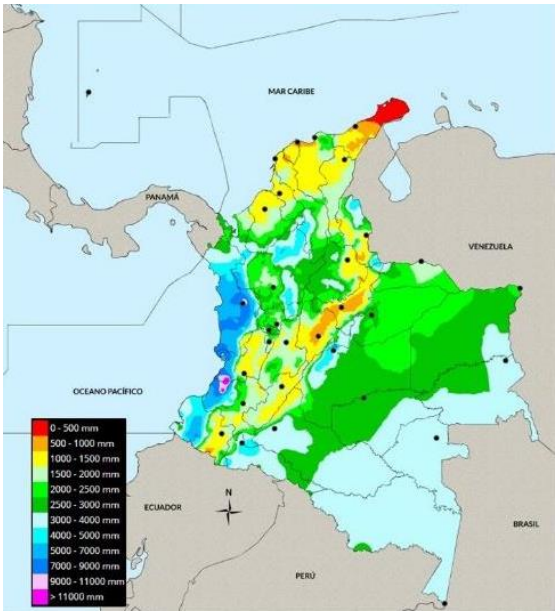


Figura 1. Mapa de lluvia promedio anual. Fuente: IDEAM (2018).

En este contexto de alta pluviosidad, la exposición periódica de las edificaciones a la lluvia puede desencadenar diversas afectaciones que van desde la aparición de patologías como la erosión o corrosión de materiales, retención de humedad, y proliferación de hongos y algas, hasta el disconfort y la inseguridad ocasionada por la entrada de agua a pasillos exteriores y espacios interiores debido a la salpicadura de agua lluvia sobre superficies. En consecuencia, los costos de reparación, mantenimiento y reformas de las edificaciones por estas afectaciones son elevados, en ese sentido la Cámara de la Industria de la Construcción (Camacol) estimó que el costo de la corrosión en Colombia alcanza los 867 millones USD anualmente y otros no estudiados, lo cual incluye gastos en mantenimiento y reparación de infraestructuras afectadas (3), dichas afectaciones podrían ser mitigadas mediante la implementación de estrategias arquitectónicas que reduzcan la exposición de los materiales al agua de lluvia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Salpicadura de agua lluvia

El proceso de salpicadura de agua lluvia comienza cuando una gota de lluvia impacta la superficie del suelo. La energía cinética de la gota se transfiere al suelo, causando la dispersión de partículas de agua. Esta dispersión no solo moviliza las partículas hacia arriba, sino también lateralmente, lo que aumenta el alcance de las gotas de lluvia incluso a metros desde el punto de impacto de la gota (4). La eficiencia y el alcance de esta salpicadura están influenciados por diversos factores, entre ellos la intensidad y el diámetro de las gotas de lluvia, así como la velocidad y el ángulo de impacto. Fuentes (2024), clasifica estos factores según el tipo de lluvia (Ver Figura 2).

| Precipitación tamaño de las gotas y velocidad terminal de caída | | | | | Ángulo de lluvia (según velocidad de viento) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de precipitación | | tamaño típico de las gotas (mm) | Velocidad Terminal (m/s) | Velocidad terminal de las gotas, diámetro(Vs) | 0,5 m/s | 1 m/s | 1,5 m/s | 2 m/s | 2,5 m/s | 3 m/s | 3,5 m/s |
| LIGERA | Niebla | 0,01 | 0,0003 | -0,12 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | neblina o bruma | 0,1 | 0,3 | 0,32 | 31,0 | 16,7 | 11,3 | 8,5 | 6,8 | 5,7 | 4,9 |
| | llovizna | 0,2 | 0,8 | 0,78 | 58,0 | 38,7 | 28,1 | 21,8 | 17,7 | 14,9 | 12,9 |
| | llovizna fuerte | 0,5 | 1,9 | 2,08 | 75,3 | 62,2 | 51,7 | 43,5 | 37,2 | 32,3 | 28,5 |
| MODERADA | lluvia ligera | 0,5 | 2,1 | 2,08 | 76,6 | 64,5 | 54,5 | 46,4 | 40,0 | 35,0 | 31,0 |
| | lluvia | 1 | 3,9 | 3,92 | 82,7 | 75,6 | 69,0 | 62,9 | 57,3 | 52,4 | 48,1 |
| INTENSA | lluvia fuerte | 1,5 | 5,4 | 5,40 | 84,7 | 79,5 | 74,5 | 69,7 | 65,2 | 60,9 | 57,1 |
| | Lluvia muy fuerte | 2,1 | 6,8 | 6,75 | 85,8 | 81,6 | 77,6 | 73,6 | 69,8 | 66,2 | 62,8 |
| | aguacero | 2,6 | 7,6 | 7,58 | 86,2 | 82,5 | 78,8 | 75,3 | 71,8 | 68,5 | 65,3 |
| | chaparrón | 3 | 8,1 | 8,08 | 86,5 | 83,0 | 79,5 | 76,1 | 72,8 | 69,7 | 66,6 |
| | chaparrón fuerte | 4 | 8,8 | 8,81 | 86,7 | 83,5 | 80,3 | 77,2 | 74,1 | 71,2 | 68,3 |
| | diluvio | 5 | 9,1 | 9,09 | 86,9 | 83,7 | 80,6 | 77,6 | 74,6 | 71,8 | 69,0 |
| GRANIZO* | | 10 | 10 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | 25 | 22,3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | 32 | 25 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | 38 | 27,4 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | 45 | 29,6 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| | | 51 | 32 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

Esta formula es aplicable únicamente para lluvia (tamaño de la gota)entre 0,1 y 5mm

** Tomado de Ventilación natural cálculos básicos para arquitectura. Víctor Armando Fuentes y José Manuel Rodríguez.*

Figura 2. Caracterización según tipos de lluvia. Fuente: Fuentes (2024).

Según Abuku (2009), la longitud de dispersión del salpique aumenta a medida que disminuye el ángulo de impacto y aumenta el diámetro de la gota y la velocidad de impacto; por otro lado, la anchura de dispersión se incrementa con el aumento del ángulo de impacto, el diámetro de la gota, y la velocidad de impacto. Además, la textura del suelo, la cobertura vegetal y la humedad del suelo son factores que modulan el impacto de la salpicadura.

### Salpique en fachadas y materialidad

Según Athauda (2023), los fenómenos meteorológicos extremos, como las tormentas severas, las inundaciones y las olas de calor, están ejerciendo presión sobre los materiales de construcción para soportar las condiciones climáticas cambiantes. En consecuencia, el hormigón y el ladrillo se expanden y contraen a medida que aumentan las temperaturas, lo que provoca fallos estructurales y daños en la fachada.

La exposición de la fachada de un edificio a la lluvia es uno de los principales factores que comprometen su durabilidad. Dukhan (2021) y Foroushani (2014), han demostrado que la distribución de la lluvia en las superficies de los edificios es influenciada por la dirección y velocidad del viento, la geometría del edificio y la presencia de elementos arquitectónicos como salientes y aleros. Las propiedades clave que determinan la resistencia de las fachadas a la lluvia incluyen la porosidad, la absorción de agua y la capacidad de secado de los materiales. Según la experimentación realizada, los materiales con alta porosidad y absorción, como el ladrillo, pueden retener hasta un 18,92% de su peso en agua, lo que aumenta el riesgo de daños por congelación y descongelación, crecimiento de moho y degradación química. Por otro lado, materiales con propiedades hidrófugas o tratados con recubrimientos repelentes al agua pueden ofrecer una protección superior al limitar la absorción de agua (10). La resistencia de las fachadas a la lluvia es una consideración esencial en el diseño y mantenimiento de edificios. La selección adecuada de materiales y el uso de tratamientos protectores pueden mejorar significativamente la durabilidad y el rendimiento de las fachadas expuestas a la lluvia.

**Influencia bioclimática de los aleros**

Un alero es un elemento arquitectónico que sobresale de la edificación, protegiendo la fachada de diferentes factores climáticos como la radiación solar, ventilación y lluvia.

Según J. Perén (11)un alero puede proteger el edificio de la radiación solar y de la lluvia impulsada por el viento. Por ello, los aleros se utilizan habitualmente en climas tropicales. La protección solar que proporcionan los aleros puede reducir significativamente el consumo de energía para refrigeración. Según el edificio, el clima y otros factores, esta reducción puede oscilar entre el 5,3 % y el 6,5 %.

Estudios como los realizados por Cerrando Yan muestran que las estrategias tradicionales de adaptación climática con el uso de aleros, reducen el ambiente térmico interior y semiexterior, y las diferencias máximas de temperatura entre el aire interior y la calle pueden ser de hasta 7 °C en olas de calor (12). Los aleros además de preservar la fachada, contribuyen a mejorar el confort térmico interior y exterior, pueden reducir significativamente el consumo de energía para refrigeración, lo que evidencia su importancia como una estrategia eficaz de adaptación climática.

**Patologías, problemas a corto y largo plazo**

La exposición directa a la lluvia, puede causar la infiltración de agua en las fachadas. Esta infiltración puede llevar a la aparición de manchas y eflorescencias, resultantes de la disolución y posterior cristalización de sales solubles en la superficie de los materiales (13). Las manchas en las fachadas no solo afectan la estética del edificio, sino que también pueden indicar la presencia de humedad en el interior de los muros, lo que podría deteriorar los materiales de construcción. A largo plazo, esta exposición continua a la lluvia puede causar daños más severos y estructurales, como señalan Krüguer y Givoni, (2008) “la absorción de agua por parte de los materiales de construcción puede conducir a ciclos de expansión y contracción debido a los cambios de temperatura, lo que puede generar fisuras y desprendimientos de revestimientos”. Además, la presencia de agua en los poros de los materiales facilita la formación de moho y algas, lo que no solo afecta la apariencia del edificio, sino que también puede comprometer la salud de los ocupantes.

## 3. METODOLOGÍA

En el presente artículo se realizó una investigación empírica observacional comparativa, dividida en dos fases, en la primera fase se midió el alcance vertical y la dispersión del salpique de lluvia en caída libre a diferentes alturas en fachada; en la segunda fase se analizó la influencia de diferentes materiales de suelo, con distintas propiedades, en la salpicadura a la fachada. Se utilizaron datos cuantitativos y cualitativos basados en la experimentación analítica observacional. La experimentación se llevó a cabo mediante múltiples pruebas, lo que permitió la observación de patrones y la comparación de resultados en diferentes condiciones experimentales.

**Procedimiento**

**Primera fase**

En la primera fase del experimento, se observó y registró la cantidad de agua que puede salpicar debido al escurrimiento de un alero con diferentes medidas y alturas. Para ello, se utilizó una pipeta que libera gotas de un diámetro fijo de 6 mm, desde tres alturas distintas (2m, 5m y 10m). Se dejaron caer 50 gotas de agua desde cada altura sobre una superficie horizontal impermeable de 200 x 200cm, dividida en una retícula de 5 x 5cm. El agua salpicada se registró en una superficie vertical de 100 x 70cm, también dividida en una retícula de 5 x 5cm, situada a diversas distancias desde el punto de impacto de la gota en el suelo (30cm, 60cm, 90cm y 120cm). El montaje experimental se muestra en la Figura 3.

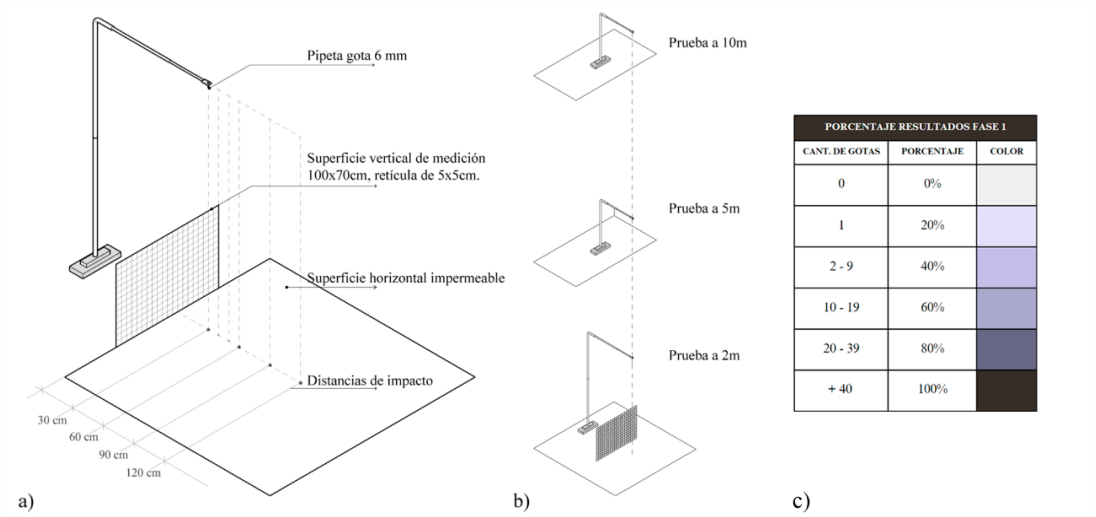



Figura 3. a) Montaje Ecuación 1experimental fase 1, b) Alturas de aplicación, c) Variables de cantidad de salpique.

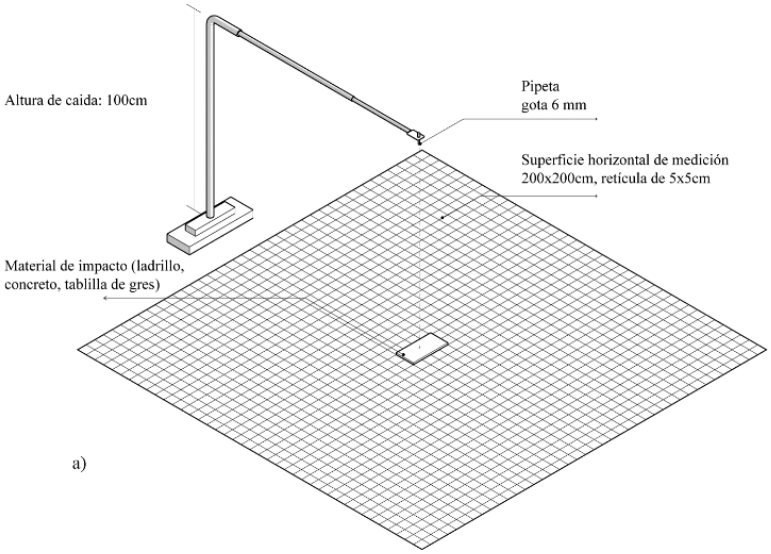
**Segunda fase**

La materialidad se evaluó como un factor clave en la variación de la salpicadura. Para ello, se experimentó con materiales comúnmente usados en pisos, como ladrillo, concreto y tablilla de gres, empleados como superficies de impacto y se analizó el comportamiento de cada material tanto en estado seco como húmedo. Inicialmente, se llevaron a cabo pruebas en estado seco, y posteriormente, los materiales fueron sumergidos en agua durante 60 minutos hasta alcanzar su punto de absorción máxima. Las especificaciones de los materiales utilizados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de materiales de suelo.

| ESPECIFICACIÓNES MATERIALES DE PISO | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **MATERIAL** | **VOLUMEN** | **DENSIDAD** | **PESO SECO** | **PESO HUMEDO** |
| Ladrillo | 1.870 $cm^3$ | 1,9 $g/cm^3$ | 3.330 g | 4.050 g |
| Concreto | 1.082 $cm^3$ | 2,4 $g/cm^3$ | 1.930 g | 2.080 g |
| Tablilla gres | 135 $cm^3$ | 2,2 $g/cm^3$ | 200 g | 250 g |

Las pruebas realizadas se llevaron a cabo con gotas de un diámetro de 6mm, se dejaron caer 5 gotas desde una altura de 1 m sobre el material ubicado en una superficie horizontal de 200 x 200cm con una retícula de 5 x 5cm. El montaje experimental se muestra en la Figura 4.




| PORCENTAJE RESULTADOS FASE 2 | | |
|---|---|---|
| CANT. DE GOTAS | PORCENTAJE | COLOR |
| 0 | 0% | |
| 1 | 20% | |
| 2 | 40% | |
| 3 | 60% | |
| 4 | 80% | |
| + 4 | 100% | |

b)

Figura 4. a) Montaje de experimentación fase 2, b) Variables de cantidad de salpique.

**Equipos e instrumentos de medición.**

Con el fin de controlar las pruebas experimentales y llevar a cabo un registro preciso de los datos obtenidos se usaron los siguientes materiales:

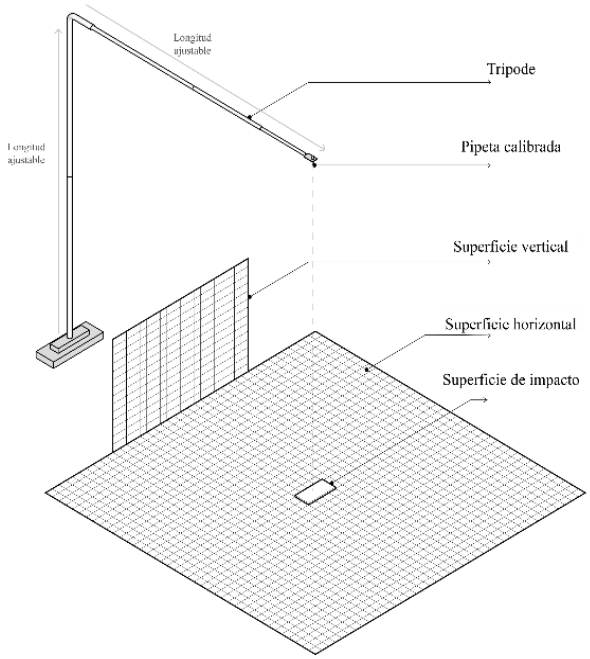



Figura 5. Equipos e instrumentos de medición.

**Trípode ajustable:** Su función es sostener la pipeta a la vez que permite variar la altura a la que caen las gotas de 0 a 2m, se apoya sobre un brazo extensible que permite precisión y ajuste variables de la distancia horizontal de caída del agua.

**Pipeta calibrada:** Para controlar la medición en la investigación, se utilizaron gotas de agua con tres diámetros diferentes (2mm, 4mm y 6mm) para evaluar las implicaciones de los distintos volúmenes de agua. Se emplearon pipetas plásticas y se midieron los diámetros de las gotas generadas utilizando un escáner y el software Autocad. Según un estudio de La.b Arquitectura, el diámetro de una gota de lluvia

varía entre 1 mm y 7mm, con gotas de 1 mm que se evaporan y gotas mayores a 7mm que se dividen al caer desde un metro o más (15).

En la figura 5 se muestra el diámetro de la mancha de salpique de una gota de agua a diferentes alturas, en la gota de 6mm a las alturas de 1m y 2m se especifica el diámetro de la mancha principal y su respectiva división (Ver Figura 6). De acuerdo a este análisis previo se definió una gota de 6 mm para continuar con la experimentación.

| MEDICIÓN DE GOTA Y MANCHA DE SALPIQUE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| DIAMETRO GOTA | VOLUMEN DE AGUA | ALTURA DE CAIDA DE LA GOTA | | |
| | | 50 cm | 1 m | 2 m |
| 2 mm | 514 mm³ |  |  |  |
| | | Diámetro: 1.9 cm | Diámetro: 1.96 cm | Diámetro: 2 cm |
| 4 mm | 800 mm³ |  |  |  |
| | | Diámetro: 2.1 cm | Diámetro: 2.5 cm | Diámetro: 2.3 cm |
| 6 mm | 987 mm³ |  |  |  |
| | | Diámetro: 2.2 cm | Diámetro: 2.7 cm; 0.76 cm | Diámetro: 2.9 cm; 0.78 cm |

Figura 6. Medición de gotas.

**Superficie vertical:** Para medir el alcance y distribución del salpique, se registró la cantidad de gotas salpicadas sobre una superficie vertical de 100 x 70cm con una retícula de 5 x 5cm.

**Superficie horizontal impermeable:** Se utilizó una superficie horizontal lisa impermeable de 200 x 200cm con una retícula de 5 x 5cm, lo que permitió ver la dispersión del salpique en acumulación de agua.

**Materiales de suelo (Ladrillo, concreto, tablilla de gres):** Se utilizaron diferentes materiales como superficies de impacto para analizar las variaciones en la salpicadura bajo diversas condiciones.

## 4. RESULTADOS

Los resultados sobre el alcance vertical y la dispersión de la salpicadura en la retícula correspondiente a la fase 1 se presentan en la Figura 7, Figura 8 y Figura 9. Estas ilustran la dispersión de la salpicadura medida en la superficie vertical de 100 x 70cm con una retícula de 5 x 5cm.

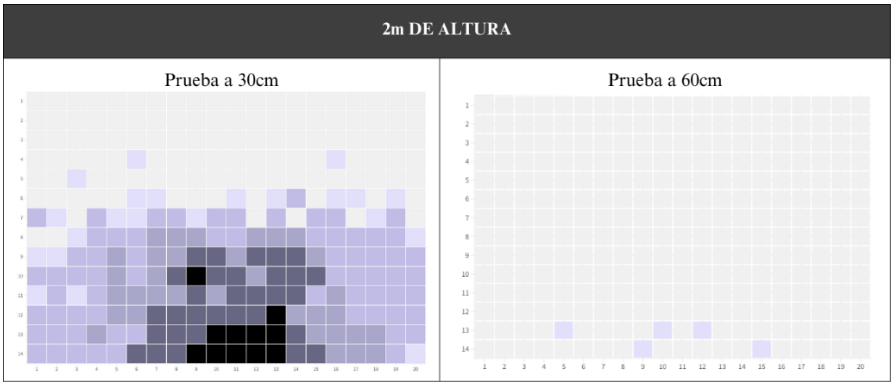



Figura 7. Prueba de salpicadura a 2m de altura, con 4 distancias desde el punto de impacto (90cm y 120cm no registraron salpique).

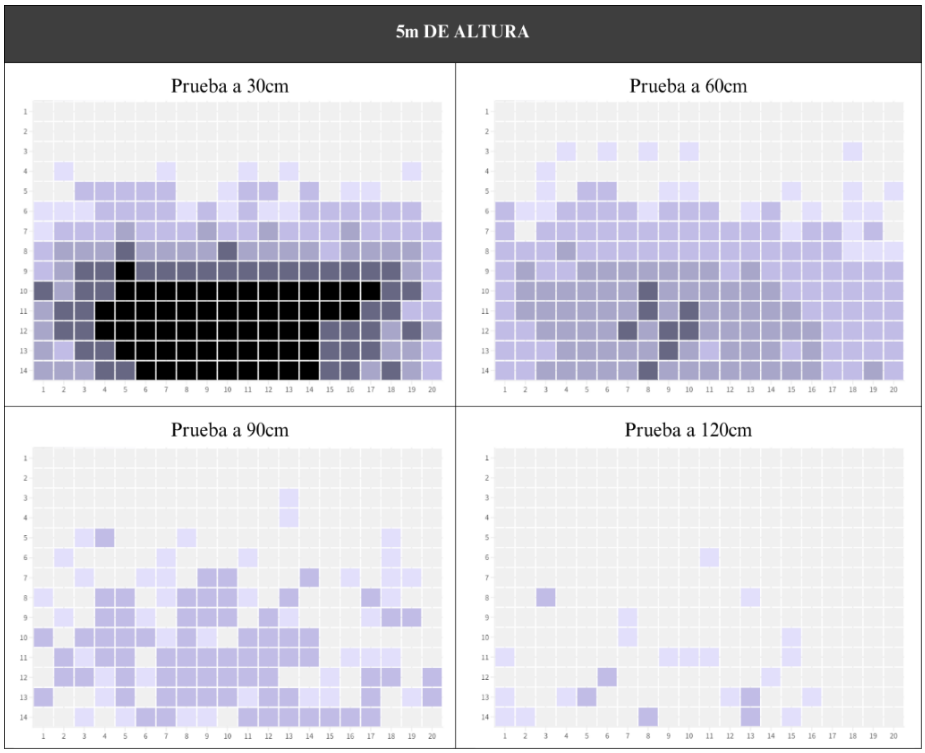



Figura 8. Prueba de salpicadura a 5m de altura, con 4 distancias desde el punto de impacto.

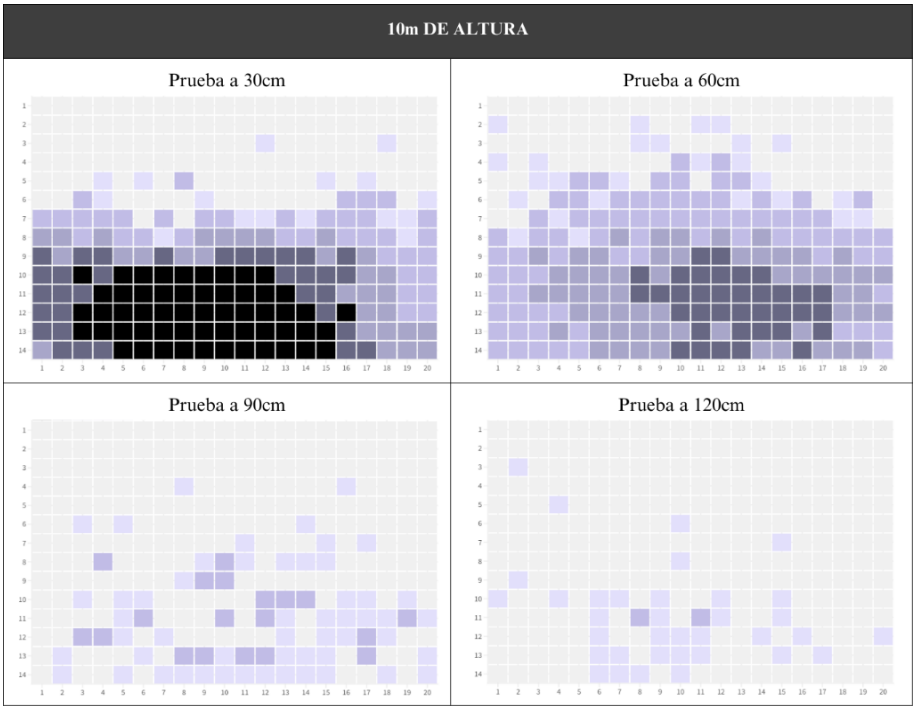



Figura 9. Prueba de salpicadura a 10m de altura, con 4 distancias desde el punto de impacto.

Los resultados del alcance y la saturación de salpicadura en materiales comunes de suelo en estado seco y húmedo, correspondientes a la fase 2 de la investigación, se presentan en la Figura 10. Esta muestra la distribución de la salpicadura medida en la superficie horizontal de 200 x 200cm con una retícula de 5 x 5cm.

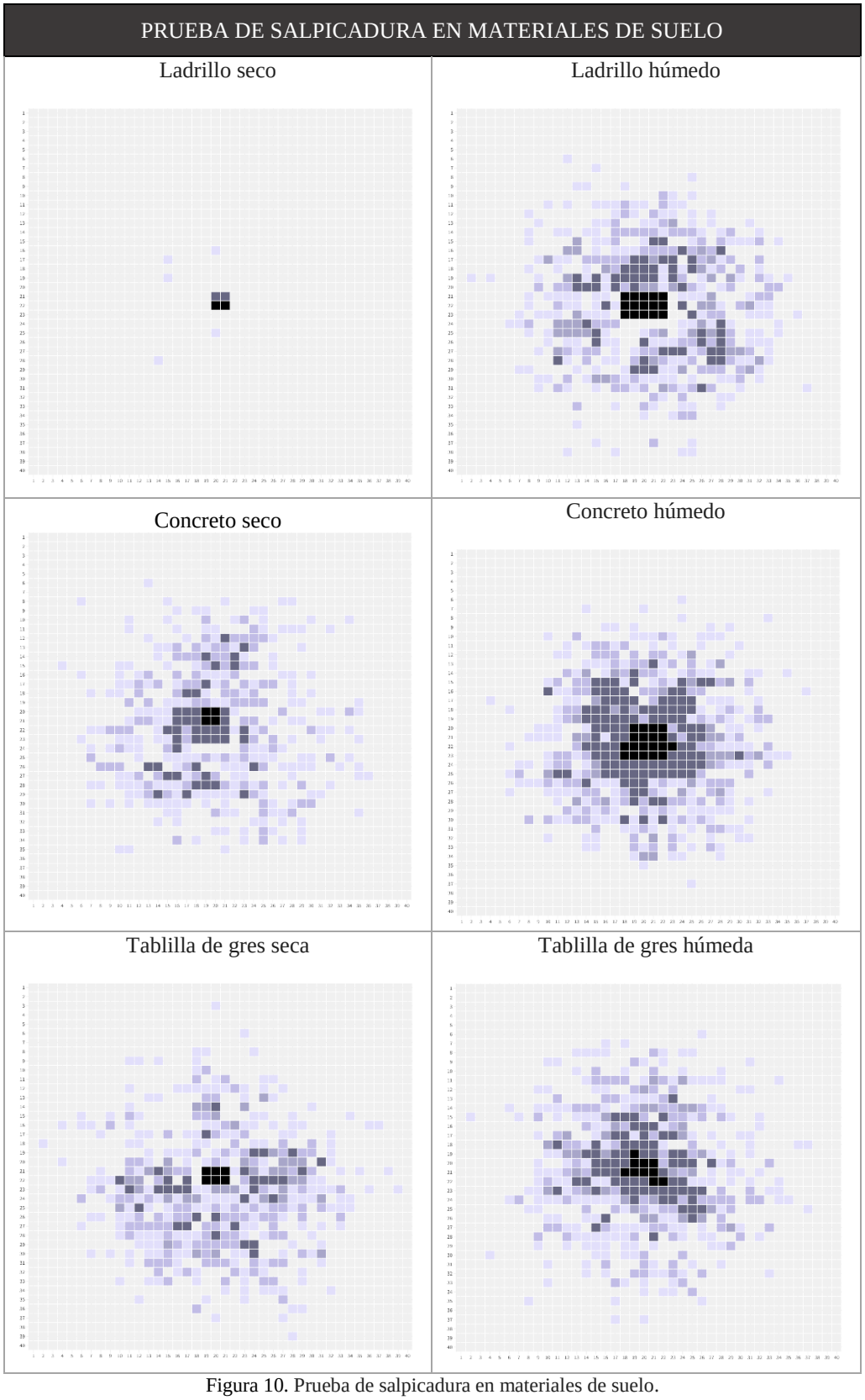



Figura 10. Prueba de salpicadura en materiales de suelo.

## 5. DISCUSIÓN.

El uso de aleros es esencial para optimizar la protección de las fachadas contra la salpicadura de agua. La relación entre la cantidad de agua salpicada dependiendo de la distancia de alero observada en cada prueba se muestra en la Figura 11, a una altura de 2 m, un alero de 60cm se mostró altamente eficaz, reduciendo la cantidad de agua salpicada en un 99.7% en comparación con un alero de 30cm. Sin embargo, a alturas mayores de 5 y 10m, el mismo alero de 60cm permite todavía una cantidad considerable de agua salpicada, aproximadamente un 30.7% en relación con el alero de 30cm. En estos casos, aleros más largos, de 90cm y 120 cm, demostraron ser más efectivos, disminuyendo la dispersión del salpique en un 97% y 99.5%, respectivamente. A pesar de las variaciones en la cantidad de agua salpicada observadas en las pruebas, el alcance máximo de la salpicadura sobre la fachada fue similar, oscilando entre 55 y 65 cm en las tres alturas estudiadas, estos rangos indican la altura necesaria de impermeabilización en la fachada para protegerla adecuadamente.

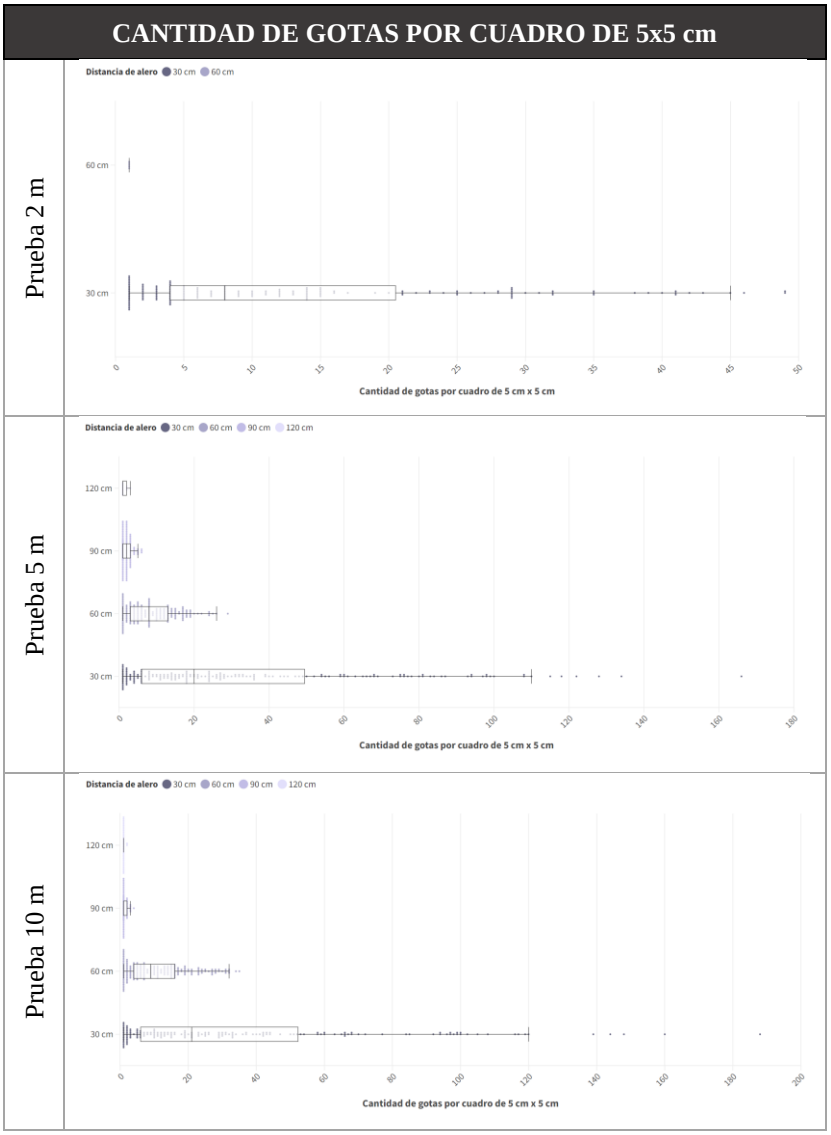



Figura 11. Diagrama de cajas y bigotes, cantidad de gotas por cuadro de 5 x 5cm según la distancia de alero.

Además, la materialidad de las superficies juega un papel crucial en la variación del salpique. Se observó que los materiales generan una mayor cantidad de salpicaduras cuando están saturados de agua. De esto se infiere que una cubierta y/o un suelo fabricados con materiales porosos tardan más en producir salpicaduras durante un evento de lluvia, ya que el material debe absorber una cantidad significativa de agua antes de que comience a generarse el salpique. En condiciones secas, el ladrillo produce solo un 2.8% de las

salpicaduras que genera cuando está húmedo, mientras que el concreto en estado seco alcanza un 60% de la salpicadura en relación con su estado húmedo. Finalmente, la tablilla de gres genera un 86.5% de salpicaduras en estado seco en comparación con su estado húmedo.

El estudio realizado permitió identificar la salpicadura de agua lluvia como un sistema complejo en el que influyen diversos factores interdependientes. El alcance y la dispersión del salpique dependen de la materialidad de las superficies de impacto, tanto en la cubierta como en el suelo, así como de la ubicación y dimensión del alero y del zócalo. Este sistema debe ser considerado en su totalidad al seleccionar materiales y dimensiones, teniendo en cuenta las características climáticas específicas de cada lugar.

A partir de la clasificación de Colombia según el promedio anual de precipitación, se determinaron características de diseño arquitectónico para optimizar la gestión del salpique de agua lluvia en cada región.

**Zonas con alta pluviosidad:** Se recomiendan aleros de 90 a 120cm, zócalos de 55 a 65cm, y el uso de materiales densos como concreto y tablilla de gres. En regiones con alta nubosidad, se desaconseja el uso de materiales porosos debido a su alta capacidad de absorción, lo que evita un secado eficiente y aumenta la salpicadura en estado húmedo (Ver Figura 12).

**Zonas con pluviosidad moderada:** Aleros de 60 a 90cm y zócalos de 55 a 65cm son apropiados. Materiales porosos como ladrillo y teja de barro son efectivos en estas regiones, ya que disminuyen el salpique y retardan su inicio, siendo útiles durante periodos cortos de lluvia (Ver Figura 12).

**Zonas con baja pluviosidad:** Aleros de 60cm y zócalos de 30 a 40cm se ajustan bien a las áreas con menor dispersión de agua. Dado que la recolección de agua lluvia es común en estas zonas, se recomienda el uso de materiales impermeables tanto en suelos como en cubiertas para facilitar el encharcamiento y la recolección eficiente del agua (Ver Figura 12).

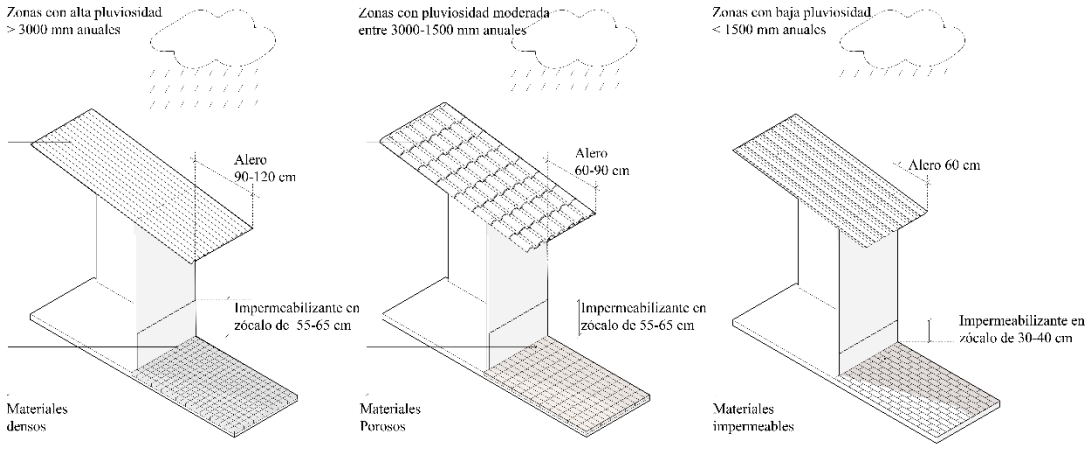



Figura 12. Esquema arquitectónico representativo.

## 6. CONCLUSIONES.

Colombia es un país con diferentes condiciones climáticas que inciden en las necesidades y actividades efectuadas en una edificación y a su vez afectan la conservación de la misma, no se encuentran suficientes estudios que proporcionen información sobre el manejo del agua lluvia en la edificación según las necesidades de cada región. Como tampoco se encuentran estudios que evalúen la influencia de la lluvia en el diseño y dimensionamiento de aleros, a pesar de que los estudios previos (11, 12)muestran que los aleros son estrategias eficientes para la preservación de la fachada y para mejorar el confort interior.

La investigación reveló que la salpicadura en una edificación opera como un sistema en el que interactúan múltiples variables arquitectónicas: dimensiones y ubicación del alero, altura de los zócalos impermeables, y la selección de materiales para el suelo y la cubierta, entre otras características que determinan la cantidad y dispersión de salpicadura de agua lluvia sobre la fachada.

Los diseños arquitectónicos que optimizan la gestión de la salpicadura de agua lluvia deben estar fundamentados en las condiciones específicas del entorno, teniendo en cuenta tanto las características climáticas como las necesidades particulares de los usuarios de acuerdo con los tipos de edificación. Estas variables son esenciales para la toma de decisiones apropiadas que no solo minimicen los efectos adversos del salpique de agua lluvia, sino que también potencien su aprovechamiento.

## REFERENCIAS

1. COUNTRYREPORTS. Geografía de Colombia. *https://www.countryreports.org/country/Colombia/geography.htm*. 2024.

2. IDEAM. EL IDEAM PRESENTA LOS NUEVOS ATLAS DE CLIMA, RADIACIÓN Y VIENTO DE COLOMBIA. *https://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/el-ideam-presenta-los-nuevos-atlas-de-clima-radiacion-y-viento-de-colombia*. 14 June 2018.

3. HENRY, Edición, SEPÚLVEDA, Rodríguez, OYUELA RODRÍGUEZ, Sharon, MARTÍNEZ, Milena, DISEÑO, Sáenz, DIAGRAMACIÓN, Y and DELGADO, Vilma Sánchez. *Informe de gestión 2017 - 2018* Online. 2018. Available from: www.camacol.co

4. WANG, Yi, RUAN, Jingru, LI, Yongkang, KONG, Yaping, CAO, Longxi and HE, Wei. Soil Macropore and Hydraulic Conductivity Dynamics of Different Land Uses in the Dry–Hot Valley Region of China. *Water (Switzerland)*. 1 September 2023. Vol. 15, no. 17. DOI 10.3390/w15173036.

5. FUENTES V, Rodríguez M. *Ventilación natural: cálculos básicos para arquitectura.* Online. 2024. [Accessed 21 August 2024]. Available from: https://core.ac.uk/download/pdf/48392421.pdf

6. ABUKU, Masaru, JANSSEN, Hans, POESEN, Jean and ROELS, Staf. Impact, absorption and evaporation of raindrops on building facades. *Building and Environment*. January 2009. Vol. 44, no. 1, p. 113–124. DOI 10.1016/j.buildenv.2008.02.001.

7. ATHAUDA, Ransi Salika, ASMONE, Ashan Senel and CONEJOS, Sheila. Climate Change Impacts on Facade Building Materials: A Qualitative Study. *Sustainability (Switzerland)*. 1 May 2023. Vol. 15, no. 10. DOI 10.3390/su15107893.

8. DUKHAN, Tarek and SUSHAMA, Laxmi. Understanding and modelling future wind-driven rain loads on building envelopes for Canada. *Building and Environment*. 1 June 2021. Vol. 196. DOI 10.1016/j.buildenv.2021.107800.

9. MOHADDES FOROUSHANI, Seyed Sepehr, GE, Hua and NAYLOR, David. Effects of roof overhangs on wind-driven rain wetting of a low-rise cubic building: A numerical study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014. Vol. 125, p. 38–51. DOI 10.1016/j.jweia.2013.10.007.

10. SOULIOS, Vasilis, JAN DE PLACE HANSEN, Ernst and JANSSEN, Hans. Hygric properties of hydrophobized building materials. Online. DOI 10.1051/matecconf/201928.

11. PERÉN, J. I., VAN HOOFF, T., LEITE, B. C.C. and BLOCKEN, B. Impact of eaves on cross-ventilation of a generic isolated leeward sawtooth roof building: Windward eaves, leeward eaves and eaves inclination. *Building and Environment*. 1 October 2015. Vol. 92, p. 578–590. DOI 10.1016/j.buildenv.2015.05.011.

12. YAN, Shuting, HE, Jing, PENG, Shuangjiang, FANG, Zehua and ZHOU, Xilin. Assessing the thermal risks for residents and visitors in traditional Street-facing Dwellings with Eaves Gallery during an extreme heatwave event. *Building and Environment*. 1 March 2024. Vol. 251. DOI 10.1016/j.buildenv.2024.111233.

13. RAFI, Muhammad Masood, NADJAI, Ali, ALI, Faris and TALAMONA, Didier. Aspects of behaviour of CFRP reinforced concrete beams in bending. *Construction and Building Materials*. March 2008. Vol. 22, no. 3, p. 277–285. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2006.08.014.

14. KRÜGER, Eduardo and GIVONI, Baruch. Thermal monitoring and indoor temperature predictions in a passive solar building in an arid environment. *Building and Environment*. November 2008. Vol. 43, no. 11, p. 1792–1804. DOI 10.1016/j.buildenv.2007.10.019.

15. LA.B ARQUITECTURA. *REVISIÓN Y COMPLEMENTO DE LA ASESORÍA BIOCLIMÁTICA Biblioteca España ASESORÍA BIOCLIMÁTICA SEMANA 12-14*. 2022.

# VALORACIONES SOBRE EL USO DEL BAMBÚ EN RELACIÓN CON LA SOSTENIBILIDAD DE LA ARQUITECTURA CUBANA

**SÉPTIMO CONGRESO INTERNACIONAL MEDIO AMBIENTE CONSTRUIDO Y DESARROLLO SUSTENTABLE MACDES 2024**
Área temática: Arquitectura sustentable

**Mabel R. Matamoros Tuma[1] Alfonso Alfonso González[2]**

[1] Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría, CUJAE, La Habana, Cuba.
[2] Colegio San Gerónimo de La Habana, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
mabelmt@gmail.com

**RESUMEN**

La construcción es una de las actividades de mayor impacto sobre el medio ambiente, lo que ha promovido la búsqueda de materiales, técnicas y prácticas ecológicas como solución a este problema. Entre ellas, destacan las relacionadas con el bambú, que reporta múltiples ventajas como cultivo, y también como un material que, a lo largo de la historia, ha contado con notables resultados en la arquitectura de numerosos países. Este trabajo tuvo el objetivo de hacer una valoración crítica sobre el uso del bambú como material de construcción en relación con la arquitectura cubana desde la perspectiva de la sostenibilidad. En el trabajo, desarrollado en diferentes etapas, se aplicaron métodos teóricos y procedimientos de la investigación cualitativa con énfasis en el diseño, para obtener valoraciones teóricas, que fundamenten posibles vías de solución. Se tuvieron en cuenta las experiencias de décadas pasadas que impulsaron en Cuba el cultivo del bambú, y demostraron sus ventajas en distintas esferas, entre ellas, la construcción; la situación actual del cultivo del bambú y sus aplicaciones; y la valoración de la arquitectura cubana en relación con la sostenibilidad, entre otros aspectos. Se concluye que el bambú, a pesar de no contar con antecedentes culturales en el país, podría contribuir a la renovación de la arquitectura nacional, en variados usos y escalas, en un contexto marcado por severas y reiteradas crisis energéticas, aprovechando las ventajas ecológicas de su cultivo y la experiencia acumulada, para satisfacer necesidades constructivas no satisfechas, con beneficios sociales y económicos bajo un enfoque de sostenibilidad.

**PALABRAS CLAVE:**

Materiales de construcción ecológicos, arquitectura cubana, sostenibilidad, medio ambiente construido, bambú.

# ASSESSMENTS ON THE USE OF BAMBOO IN RELATION TO THE SUSTAINABILITY OF CUBAN ARCHITECTURE

Issue: Sustainable architecture

**ABSTRACT**

As building activities cause considerable impact on the environment, it has promoted the search of materials, technics and practices with ecological properties, in order to solve this problem. Among them, bamboo is relevant, because of multiple advantages it has, like easy cultivation, and also as a material that, along the history, it has had notable results concerning with architecture in a lot of countries. This work had the objective of making a critical valuation on the use of the bamboo like construction material in connection with the Cuban architecture from the perspective of the sustainability. In the work, developed in different stages, theoretical methods and procedures of the qualitative investigation were applied with emphasis in the design, to obtain theoretical valuations that base possible solution roads. They were kept in mind the experiences of last decades that impelled in Cuba the cultivation of the bamboo, and they demonstrated their advantages in different spheres, among them, the construction; the

current situation of the cultivation of the bamboo and their applications; and the valuation of the Cuban architecture in connection with the sustainability, among other aspects. You concludes that the bamboo, in spite of not having cultural antecedents in the country, it could contribute to the renovation of the national architecture, in varied uses and scales, in a context marked by severe and reiterated energy crisis, taking advantage of the ecological advantages of their cultivation and the accumulated experience, to satisfy human building needs, with social and economic benefits focused on sustainability.

KEYWORDS:

Ecological construction materials, Cuban architecture, sustainability, built environment, bamboo

Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable
Built Environment and Sustainable Development
MACDES.2024
Séptimo Congreso Internacional

del 25 al 29 de noviembre del 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SIMULATION-BASED ENERGY PERFORMANCE EVALUATION OF A LARGE-SCALE INDUSTRIAL GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEM

**Julio Efrain Vaillant Rebollar[1, 2], Tom Prinzie[1], and Arnold Janssens[2]**

[1]Van Marcke NV, Kortrijk, [2]Faculty of Engineering and Architecture, Ghent University, Belgium
[1]e-mail:jvaillant@vanmarcke.be

## ABSTRACT

This paper examines the performance of a Borehole Thermal Energy Storage (BTES) coupled with Ground Source Heat Pump. To that aims a simulation model of the energy system installed in a facility with 77000 m² of area have been developed. BTES are sustainable solutions which exploits the high volumetric heat capacity of the geological environment and allows to store or deliver large quantities of energy on a seasonal basis. The heating demand is covered by five heat pumps (850 kW) which utilize a BTES (512 boreholes of 63 m deep) with 770 kW of capacity. A suboptimal BTES pumping operation due to an unnecessary recirculation flow was detected. First, the study focuses on the system model calibration, validation, and analysis using operational data from the facility monitoring system and on-site measurements of subsurface gradient temperatures. Then, the model is used to explore the impact of different operational strategies. The effect, on the annual energy balance of the BTES, of different period to activate the passive cooling is investigated. Additionally, different scenarios of BTES circulation pumps regulation concept considering or not continuous recirculation flow, as well as, working with constant head or proportional head are studied. Moreover, based on the simulation results, optimum operational parameters considering short-term and long-term impact are determined. An adequate circulation pump controlling system to optimize system operation is provided. The investigation aims to evaluate the current and future impacts of the existing operational strategy and whether it could be improved given the real-life system conditions.

**KEY WORDS:** Borehole Thermal Energy Storage; Geothermal Modelling and Simulation; BTES Operation

## RESUMEN

La ponencia explora el desempeño de un Almacenamiento de Energía Térmica *Borehole* (BTES) acoplado con una Bomba de Fuente de Calor en Tierra. Con ese objetivo, se desarrolló un modelo de simulación del sistema de energía instalado en un servicio con 77000 m² de área. Los BTES son soluciones sustentables que explotan la alta capacidad de calor volumétrica del ambiente geológico y permiten almacenar o distribuir grandes cantidades de energía sobre bases estacionales. La demanda de calefacción se cubre mediante cinco bombas (850 kW) que utilizan un BTES (512 *boreholes* de 63 m de profundidad) con 770 kW de capacidad. Primero, el estudio se enfoca en la calibración del modelo de sistema y mediciones in situ del gradiente de temperatura de superficie. Entonces, el modelo se usa para explorar el impacto de diferentes estrategias operacionales. Se investiga la relación entre el balance anual de energía del BETS y el período para activar el enfriamiento pasivo. Adicionalmente, se estudian diferentes escenarios de los conceptos de regulación de la circulación en las bombas BETS de flujo de recirculación intermitente, así como trabajando con presión constante o proporcional. Además, sobre la base de los resultados de la simulación se determinan parámetros operacionales óptimos considerando el impacto a corto y largo plazo. Se ofrece un adecuado sistema de control de la circulación de la bomba para optimizar la operación del sistema. La investigación intenta evaluar los impactos actuales y futuros de la estrategia operacional existente, y si este pudiera mejorarse dadas las reales condiciones de vida del sistema.

**PALABRAS CLAVE:** Almacenamiento de Energía Térmica *Borehole* (BTES); Modelación y Simulación Geotérmica: Operación de BTES.

Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable
Built Environment and Sustainable Development
MACDES.2024
Séptimo Congreso Internacional

del 25 al 29 de noviembre del 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ASSESSING BOREHOLE THERMAL ENERGY STORAGE RESPONSE UNDER THE OPERATIONAL CONDITION OF VARIABLE HEATING POWER

**Julio Efrain Vaillant Rebollar[1, 2], Tom Prinzie[1], and Arnold Janssens[2]**

[1]Van Marcke NV, Kortrijk, [2]Faculty of Engineering and Architecture, Ghent University, Belgium
[1]e-mail:jvaillant@vanmarcke.be

## ABSTRACT

This study presents a semi-analytical model for Borehole Thermal Energy Storage (BTES) characterization during operational condition. The performance of Ground Source Heat Pump (GSHP) coupled with BTES depends significantly on ground thermal properties, the fluid temperature entering and exiting the BTES and the ground temperature. During design stage of BTES the determination of the ground thermal properties can be done by installing in situ a borehole heat exchanger and performing the so-called thermal response test. However, the controlled conditions of such kind of test are not presents during operational stage. In this study the g-function of the bore field is assessing with a piecewise approach which allow to consider the temporal variation of the BTES thermal load. Using multiple linear regression analysis, a modified decoupling heating load infinity line source model is proposed. The new method was verified with field monitored data from an existing BTES array consisting of *512* boreholes of *63 m* deep. The results showed that the linear functions were able to express the tendency of fluid temperature entering and exiting the BTES with coefficient of determination $R^2$ ranges between *0.75* and *0.97*. A ground thermal response approach considering variable heating power is proposed. Moreover, an accurate estimation of the ground temperature profile during BTES operational stage is obtained. Therefore, the investigation becomes a suitable approach for the heat losses determination and performance characterization of BTES system during operational stage. Hence, the study becomes an useful contribution for future investigation of post-implementation large-scale BTES system operation.

**KEY WORDS:** Borehole Thermal Energy Storage; Geothermal Modelling and Simulation; BTES Operation

## RESUMEN

El estudio presenta un modelo semi-analítico para la caracterización de los Almacenamientos de Energía Técnica *Boreholes* (BTES) durante condiciones operacionales. El desempeño de la Bomba de Calor de la Fuente de Tierra (GSHP) acoplada con los BTES depende significativamente de las propiedades térmicas del suelo, la temperatura del fluido entrando y saliendo del BETS y la temperatura del suelo. Durante la etapa de diseño del BTES, la determinación de las propiedades térmicas del suelo puede hacerse desarrollando in situ el llamado test de respuesta térmica, Sin embargo, las condiciones controladas de tal tipo de test no están presentes en el estado operacional. Por tanto, en este estudio, con un enfoque que permite considerar la variación temporal de la carga térmica del BTES constituido, se evalúa la función "g" del campo. Usando el análisis de regresión linear se propone un modelo de fuente linear para la carga de calentamiento modificada desacoplada. Utilizando datos monitoreados arreglo de BTES existente conformado por *512* boreholes de *63 m* de profundidad se verificó el método. Los resultados muestran que la función linear fue capaz de expresar la tendencia de la temperatura del fluido entrando y saliendo del BTES con coeficiente de determinación $R_2$ en un rango entre 0.75 y 0,97. Se propone un enfoque de la respuesta térmica del suelo considerando calentamiento variable. Por tanto, la investigación se convierte en un enfoque propicio para la determinación de las pérdidas de calor y la caracterización del desempeño de los BTES durante el estado operacional. Así, el estudio constituye una contribución paraa la futura investigación de la post-implementación de la operación de sistemas BTES.

**PALABRAS CLAVE:** Almacenamiento de Energía Térmica Borehole: Modelación y Simulación Geotérmica; Operación de BTES

# SOBRE CÓMO ORIENTAR LAS DISCIPLINAS Y PRÁCTICAS EDIFICATORIAS HACIA UNA ÉTICA AMBIENTAL.

**Daniel Andrés Bronfman Rubli** [1]

[1]Profesor de tiempo completo (tenure), Facultad de Arquitectura, UNAM, México.

1e-mail: dbronfman@fa.unam.mx

**RESUMEN**

El entorno construido es resultado de la decisión de unos pocos pero su influencia en el medio ambiente afecta a muchos para mal y, en menos ocasiones, también para bien. Intervenir por medio de construcciones —quiérase o no— se trata siempre de un hecho público, por más privada que sea su gestación y nunca será un acto inocente. El dilema Shakesperiano de las prácticas involucradas en la construcción no debe ser "to build or not to build", sino hacerlo conscientemente en beneficio del medio ambiente, o sea, también de todo ser humano.

En un contexto donde frecuentemente se recurre al término de "lo sostenible" para publicidad orientada al lucro económico o conseguir una buena imagen comercial, significando un doble daño, es decir, al ambiente mismo y a la idea de su cuidado, la vía no es buscar el planteamiento más radical tal vez, sino dar con la inmediata incorporación de una consciencia de no cooperación o no complicidad en la generación de tensiones crónicas (sociales, de seguridad, ambientales, de movilidad, de marginalidad) para construir una ética de la arquitectura y las otras disciplinas del universo de la construcción que pueda obtener consensos o causas comunes con el emprendedurismo que hoy en vez de ser un aliado natural, se ha convertido en un grupo aislado de lo natural-ambiental.

Toca romper con el concepto de la *Banalidad del mal* trabajado por Hannah Arendt, donde hacemos lo que se nos pide que hagamos y no lo que sería ético hacer. Romper con esa tendencia a proyectar edificaciones de un falso "off the grid" cuando claramente sabemos que repercutimos en el entramado físico, social y ambiental. Puesto en otros términos, es fundamental atacar al autismo de nuestras disciplinas constructoras.

**PALABRAS CLAVE:** Sostenible, Tensiones crónicas, Ética, Entorno construido.

# ON HOW TO ORIENT BUILDING DISCIPLINES AND PRACTICES TOWARDS AN ENVIRONMENTAL ETHIC.

**ABSTRACT**

The built environment results from the decisions of a few, yet its impact on the environment affects many, often negatively and, less frequently, positively. Intervening through construction—whether one likes it or not—is always a public act, no matter how private its inception, and it is never an innocent one. The Shakespearean dilemma of building practices should not be "to build or not to build," but rather to build consciously for the benefit of the environment, which also means benefiting every human being.

In a context where the term "sustainable" is often used for economic gain or to achieve a positive commercial image—resulting in double harm, both to the environment and to the concept of its care—the approach should not necessarily be the most radical. Instead, it should involve immediately incorporating an awareness of non-cooperation or non-complicity in creating chronic tensions (social, security, environmental, mobility, marginalization) to build an ethics of architecture and other construction disciplines that can find common ground or shared causes with entrepreneurship. Today, rather than being a natural ally, entrepreneurship has become an isolated group disconnected from the natural-environmental sphere.

We need to break away from the concept of the "Banality of Evil," as discussed by Hannah Arendt, where we do what we are asked to do rather than what is ethical. We must move away from projecting buildings

with a false sense of being "off the grid" when we clearly impact the physical, social, and environmental fabric. In other words, it is crucial to address the insularity of our construction disciplines.

**KEY WORDS:** Sustainable, Chronic tensions, Ethics, Built environment.

## INTRODUCCIÓN

### Comenzando por el final.

Somos claramente la solución, pero mientras sigamos enseñando lo mismo, acudiendo a los mismos modelos, ignorando los mismos temas fundamentales, careciendo de ética sobre nuestro quehacer, somos, innegablemente, el problema.

Lejos de buscar alarmar o de alcanzar un tono apocalíptico, el enfoque que a través de este ensayo (ponencia) se presenta viene sesgado por una postura principalmente académica y, quizás, un tanto positivista. El interés se orienta en apostar por una conformación de principios, contenidos y estrategias formativas que impacten en actores del medio de la construcción para que abanderen cambios importantes en su manera de actuar en pro de la responsabilidad ambiental. Lo primero será reconocer el problema. Y a eso se aboca este texto.

### Un poco de contexto.

Ya sea por mala gestión, ausencia de planificación, corta visión, aplicación de modelos que han probado su fracaso, excesiva ambición de corte neoliberal o por simple ignorancia, los asentamientos humanos de tipo urbano en las ciudades latinoamericanas (no exclusivamente, pero sí claramente) son generadores de variadas tensiones crónicas. Hacinamiento, asentamientos en zonas de riesgo, alteraciones a los sistemas ambientales básicos del suelo en el que se desplantan, segregación, desigualdad e inequidad social frente al derecho a la ciudad, violencia, afectación a la salud, contaminación del aire, del agua y del ambiente sonoro, sobreexplotación del acuífero y estrés hídrico, conflictos territoriales, exceso de tráfico automotriz, inundaciones severas, inseguridad y vulneración de otras especies vivas, estas, son tan sólo algunas de las condiciones en las que operan nuestras urbes. Quizás no se desarrollen todas estas, pero no existe en nuestra región una sola ciudad que no se anote en, al menos, tres de esta lista de tensiones crónicas sino es que en todas ellas con distintas graduaciones.

Nuestras disciplinas participan en la construcción de ese mundo tan fascinante como artificial (no en sentido peyorativo) que, si se mantiene la tendencia de ocupación actual, para el año 2050 alojará al 80% de la población global en un 2% del territorio del orbe (ONU-HABITAT), pero impactando en un 100% a la atmósfera por la huella de carbono. Es el efecto mariposa, donde el aleteo de este bello insecto en algún lugar del Congo, alcanza a tener influencia tanto en Siberia y en la Amazonia, como en el resto del mundo. Tan sólo en nuestro continente con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS o WHO en inglés) se registraron en el 2014, al menos, 60,000 decesos asociados a enfermedades directamente relacionadas con la contaminación ambiental. Siendo que nuestra región de América Latina y el Caribe sólo aporta el 12% de las emisiones globales de CO2. En ese mismo año en el mundo se contaron 3.7 millones de defunciones por causas directamente relacionadas con la degradación ambiental, concentrándose éstas llamativamente en el sureste de Asia y en el Pacífico occidental. Se sabe que la tendencia es exponencial hacia el alza, tanto de los niveles de contaminación como de defunciones asociadas con este fenómeno.

La industria de la construcción aporta el 23% de esa contaminación atmosférica. Pero también es la responsable de contaminar el 40% del agua potable y generar el 50% del total de residuos sólidos que consideramos basura en la tierra. Hay “vela en el entierro” de nuestras disciplinas en esta Era que algunas instituciones y personalidades suficientemente bien fundamentadas atinan en llamar “Antropoceno”.
Para el ambientalista y divulgador de la ciencia inglés David Attenborough, es llamativa la velocidad con la que esta Era está avanzando hacia la extinción masiva de la diversidad de la vida y las especies en la tierra. En su documental “Planeta Tierra” da cuenta de cómo en un siglo se han cambiado las condiciones atmosféricas por la presencia de CO2 en el ambiente por causa de la producción humana, cuando en otras Eras de este mismo mundo tomó varios miles de años el proceso de intoxicación o de toxicidad del ambiente.

A ciencia cierta no es posible determinar qué tanto o qué tan rápido podamos regenerar la vida (o, al menos, detener su afectación) si paramos la "maquina de destrucción masiva" en la que nos hemos constituido la humanidad. Pero ese no es un pretexto para detener los esfuerzos y operar la maquinaria de manera distinta. Por algún lugar podremos comenzar y en nuestras prácticas edificatorias está, como veíamos antes, una cuarta parte de la posible influencia para frenar la inercia del desastre ambiental en la que estamos inmersos.

Si bien las sociedades suelen ser depredadoras por su estilo de vida y un sistema económico orientado a consumir y explotar de manera no sostenible a la naturaleza, además de contaminarla y aniquilar su biodiversidad, también en ellas es posible ubicar que la mayor responsabilidad en el desastre lo llevan los gobiernos y los poderes económicos privados, a veces por separado (con la anuencia o bajo soborno de la autoridad gubernamental) y, en otras ocasiones, como socios. Sea como sea, en todos los casos siempre son los arquitectos e ingenieros quienes dan forma, técnica, planeación, conceptualización, gestación, viabilidad y acompañamiento a todos los proyectos que al construirse impactan negativamente. Puede ser que la decisión torcida contra la sustentabilidad de un proyecto se tome muchas veces antes de que entren en participación estas dos disciplinas, y eso complica mucho este planteamiento. ¿Qué tanto pueden impactar favorablemente los profesionales de la ingeniería y la arquitectura en el destino de un proyecto que ya viene definido con afectaciones al medio ambiente desde un inicio?
También es cierto que detrás de todo proyecto concebido para el rescate ambiental por medio de infraestructuras construidas, los acompañan ingenieros y arquitectos. Incluso, muchas veces, ellos liderean dichos procesos.

Pero una formación sólida en Ética que inyecte principios de responsabilidad ambiental puede favorecer que los proyectos encuentren un valor agregado en la defensa del medio ambiente.

Prestar atención en los contenidos y procesos de formación académica (independientemente de la investigación) puede ser una vía que ofrezca resultados positivos. Ya que ahí es donde en la gran mayoría de los casos se tuerce el árbol (tomando como modelo el refrán popular del "árbol torcido"). Es decir, las academias en su afán profesionalizante, desde hace mucho tiempo le hacen el juego al mercado al seguir las reglas de este. En los planes de estudio prácticamente no se encuentran contenidos sobre ética (ni se diga profesional) o de responsabilidad ambiental y, cuando los hay, son temas optativos y trabajados con muy poca profundidad. Así es como de las academias surgen cantidades anuales de depredadores ambientales potenciales. Sólo es cuestión de que se integren al mundo laboral para que se active la labor que sumará a la degradación ambiental.

¿Por qué formar hoy a profesionales del medio de la construcción es tanto más distinto que en el pasado más cercano?
Hasta hace muy poco, la idea de la sostenibilidad no estaba presente en los planes de estudio a pesar de que la comisión del informe Brundtland de la ONU legó ese concepto con claridad en 1987.
Se define «el desarrollo sostenible como la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, el desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

Los programas académicos en arquitectura y construcción a menudo carecen de una sólida formación en sostenibilidad y ética ambiental. Los contenidos relacionados con estos temas suelen ser optativos y superficiales, lo que resulta en una preparación inadecuada para enfrentar los desafíos ambientales actuales.

La fetichización del objeto arquitectónico y de la imagen de este, constantemente nos hace contradecirnos. Es decir ¿la nuestra es una práctica que se fundamenta y está al servicio de la conformación de objetos-instrumento para habitar? ¿O está al servicio de la obtención de objetos cuya expresividad es lo que los fundamenta, aún si eso va en contra de sus condiciones de habitabilidad?
Y no que necesariamente estén peleadas. La presencia humana bien podría ser una categoría estética en la imagen de lo arquitectónico, tanto como la belleza adjudicada al objeto podría ser un elemento a tomar en cuenta sin que eso se considere un lujo o un sacrificio para el habitar.

Se puede cambiar el foco del objeto al sujeto que percibe. A entenderlo y saber cómo se las gasta la cultura presente en él, para así hablar de cómo este percibe lo arquitectónico. Vemos con los ojos y con la cultura.

Reconocer y no tanto denunciar, que lo que prevalece es una visión unidisciplinar (quizás hasta endogámica) contenida en el acercamiento de nuestras academias hacia el término "arquitectura".

**Notas sobre la Ética en arquitectura basadas en el texto *No puedo respirar* de L.M. Oliveira.**

Para abordar el tema de la Ética, recurro a este texto de reciente publicación que me permite entender y explicar claramente el tema para poner en perspectiva nuestras disciplinas.

Así, el autor nos plantea que La Ética se pregunta sobre cómo debemos vivir, en qué tipo de persona debemos convertirnos. Pero ¿Quién puede creerse tan importante como para decirle a otra persona cómo debe vivir? Los arquitectos, cruzamos esa línea constantemente.

La idea de plan de vida es parte central de la manera en la que entendemos a las personas: somos individuos, entre otras cosas, porque tenemos un plan de vida propio.

El problema moral (para la Ética) es cuando un agente tiene que elegir entre varias acciones posibles donde al menos una de las acciones propuestas tiene como consecuencia modificar el plan de vida de otro individuo o grupo de individuos. En este problema moral el agente no cuenta con el consentimiento de las personas cuyo plan de vida será modificado.

Obviamente lo más fácil sería preguntarles a las personas afectadas: "Oye, si hago esto o lo otro afecto tus intereses fundamentales» Pero hacerlo no sólo resultaría poco práctico, sino, seguramente, imposible. Lo cierto es que el hecho de que no conozcamos el plan de vida específico de los demás no nos exime de tomarlo en cuenta.

En Ética no queda espacio para la arbitrariedad porque es un ejercicio intersubjetivo en donde siempre importa el otro; la pregunta fundamental es sobre nuestro deber con los demás. Somos libres de escoger nuestros planes de vida razonables (que no dañan a otros injustamente). Nadie debería imponernos planes a futuro porque "es lo mejor para nosotros"; sería un atentado contra nuestra autonomía.

Pensemos en un ejemplo, las normas machistas: se imponen y se siguen comúnmente y son parte de la tradición de muchos pueblos, pero que una norma sea tradición no la hace correcta. Si las normas no están bien fundamentadas -el machismo es un claro ejemplo-, es momento de meterlas al cajón de lo obsoleto. Lo mismo acontece con modas arquitectónicas y constructivas, incluso con presencia en las normatividades locales.

**Una alberca en el desierto**

Lo normal sería que cuando una persona escoge actuar de cierta manera después de sopesarlo sea capaz de explicarnos las razones en las que basó su decisión. Sin ellas su elección sería absolutamente arbitraria. Y la arbitrariedad no cabe, por definición, donde pedimos razones. Recordemos que la arbitrariedad es una forma de actuar o tomar decisiones basándonos en nuestro capricho y no en la razón.

Para el filósofo catalán radicado en México Luis Villoro (1922-2014), daño es padecer un sufrimiento causado por un agente, ya sea un individuo, un grupo de ellos o la sociedad en su conjunto, y también es la exclusión forzada de bienes específicos que funcionan como satisfactores de ciertas necesidades.

Toca atender demandas válidas, es decir, peticiones de aquello que cubre una necesidad y que han sido validadas mediante una ley. Por ejemplo, las personas necesitamos agua para no morir deshidratadas, la hemos reclamado y esta reivindicación ya fue validada en la ley. Así, el derecho al acceso al agua para consumo personal se ha convertido en un derecho humano universal. También va por ese carril el derecho a la ciudad.

**Los Crescents de Hulme, Inglaterra**

Un caso interesante que ejemplifica la verticalidad de arriba hacia abajo sin tomar en cuenta los planes y trayectorias de vida de los habitantes que pensaban en salvar, se dio en la década de los 70´s en un poblado conocido como Hulme, en Inglaterra, a donde llegaron arquitectos e ingenieros de la mano del gobierno, a desarrollar vivienda para obreros con la intención de mejorar sus medios habitables a través de principios

asépticos como el de higienizar su maltrecha forma de vida. Ante el fracaso y posterior abandono de esos conjuntos habitacionales y en ausencia de toda autoridad visible, esos proto-okupas que encontraron viviendas disponibles, comenzaron a inventarse una sociedad propia. Se trataba de jóvenes, holgazanes, irresponsables y libres, sin familia, empleo ni posesiones. Las leyes de la propiedad quedaron suspendidas en Hulme: nada pertenecía a nadie y todo pertenecía a todos. Todo se robaba, intercambiaba, paseaba y destrozaba. (Hollis, E**.** 2009) Ahí, en esos departamentos que prometían ser lo mejor del talento arquitectónico, urbanístico y de la gran ingeniería al servicio de la vivienda social se potenció, si es que no surgió, el movimiento Punk Rock, con conciertos, radiodifusoras piratas y disqueras clandestinas donde sonarían los Sex pistols, Joy Division, los Happy Mondays y otros grupos no menos importantes que aprovecharon la invasión y destrucción hormiga de esas grandes máquinas para "habitar" (en clara alusión a la máxima lecorbuseriana) que finalmente serían inaceptables para un gobierno que optó por invertir en su demolición. También sin tomar en cuenta los planes de vida de nadie.

**Cuatro dilemas o cuestiones éticas en Ingeniería y Arquitectura**.

1era. ¿podemos elegir hacer o no hacer el proyecto y su consecuente materialización?

2da. ¿podemos elegir tomar tal cual una solicitud o ante la inconformidad plantear alternativas pasadas bajo la lupa Ética?

3era. ¿somos o no somos responsables de lo que sucede con el producto de nuestra autoría?

4ta ¿podemos o no verificar —y corregir si es el caso— cuando lo que producimos afecta e impide el plan de vida de otra persona?

Si bien nosotros no inventamos la piscina en el desierto, ni la propiedad privada, ni el aire acondicionado pero todos recurrimos a ello y explotamos sus beneficios en el ánimo de complacer con nuestro servicio al solicitante, en el mayor número de los casos, ignorando todo lo que rodea tal solicitud, no hay acto inocente en nuestras prácticas. Prácticas que, como decíamos, participan en una de las actividades humanas que más residuos sólidos pesados genera y con la que contamina al mundo en un 50 % de toda la basura que se genera, es decir: la industria de la construcción.

**La enseñanza y pensar en el habitar.**

Especialmente hoy, a la academia de arquitectura y de ingeniería hay que verlas como un laboratorio idóneo para la experimentación de ideas, de ensayo de prácticas y no sólo o casi exclusivamente para la transmisión de conocimiento. Es el último momento antes de que el sujeto salga al mundo profesional y productor de la arquitectura. Un mundo que está cambiando aunque nosotros en las escuelas no lo hagamos o no nos formemos para operar en esos cambios o para empujar esos cambios a un mejor destino. Es ahí donde se puede formar bien y concentrar buena parte del trabajo en la generación de conceptos y valores fundamentales. Como opinión personal y que en este ensayo postulo, sostengo que apostar por el habitar siempre será la finalidad y el vehículo. Esto, porque claramente nuestras prácticas, materias de estudio y de enseñanza se circunscriben a ese fenómeno humano que tiene que ver con la proyección, imaginación y producción de los medios habitables a través de objetos-instrumento para habitar en el mundo.

La ciudad, las normas, la industria, las convenciones, la cultura y un largo "etcétera" juegan un papel fundamental en nuestras formas de habitar. Asumo que es posible coincidir en mayor o menor medida en la relevancia trascendental que tiene el habitar dentro de la disciplina arquitectónica y los productos que de ella emanan.

Pero en nuestros ámbitos estamos acostumbrados a generar y consumir imágenes de objetos asépticos sin presencia humana en ellas. Imágenes con las que nos formamos y con las que formamos. Esas imágenes, quizás por casualidad del destino, son producto de la influencia del mundo y la cultura de la publicidad (entiéndase el trabajo de Julius Schulman), que tiende a querer conectar con el consumidor de una manera sesgada, buscando efectos muy precisos de comercialización, pero no de entendimiento sobre el objeto y lo que está detrás de éste o en el foco de este. La finalidad que comúnmente se persigue no tiene que ver con el hecho de lo habitable. Y hay que reconocer que en eso hay tradición, pues con los tratadistas, por ejemplo, no contamos con mención gráfica de lo humano, pero tampoco en la academia de bellas artes ni en el momento de su ruptura con la irrupción de la corrientes Arts and Crafts, la Deutsche Werkbund e incluso la Bauhaus. Con sus honrosas excepciones.

La historiografía sigue destacando a estos modelos de lo arquitectónico o de la idea de arquitectura sin tomar en cuenta que su sola existencia es complicada y sin observar como, más bien, se promueven valores de un autismo llamativo.

Y como en la naturaleza del modelo está implícita la búsqueda de replicarse. Cuando un objeto se convierte en modelo arquitectónico a este se lo replica con todos sus errores y ausencias que también acompañan sus bondades expresivas.

**A modo de conclusiones.**

Pensando en positivo: desde nuestras disciplinas se puede y quizás son la mejor herramienta para combatir la crisis climática, la destrucción del ambiente y la falta de derecho a la ciudad, pero hacen falta principios metodológicos, de saberes y conceptuales, enmarcados en la ética. Para eso está la academia justamente.

Somos claramente la solución, pero mientras sigamos enseñando lo mismo, acudiendo a los mismos modelos, ignorando los mismos temas fundamentales, careciendo de ética sobre nuestro quehacer, somos, innegablemente, el problema.¿O usted qué opina arquitecto Frank Ghery sobre la ética y la habitabilidad en sus obras arquitectónicas?

**¿Debemos construir con basura en vez de construir basura?**

Fomentar el uso de materiales reciclados y prácticas constructivas que reduzcan el impacto ambiental es crucial. La implementación de sistemas constructivos que utilicen residuos sólidos y otros materiales sostenibles puede ser una solución viable.

Las academias deben urgirse en adoptar nuevos modelos y adecuarlos a los principios éticos para los quehaceres de la construcción concentrados en las disciplinas de la ingeniería y la arquitectura como aquí se planteó.

Para el reciente y multicitado gurú de los últimos tiempos, el historiador israelí Yuval N. Harari, la cooperación flexible y en masas es la característica fundamental que ha hecho que el humano sea diferente del resto de las especies animadas. Debido a esta capacidad de imaginar y acordar colectivamente sobre lo que se imagina, a diferencia de lo que sucede con el resto de las especies vivas, la nuestra puede reconfigurar el orden una y otra vez en respuesta a las circunstancias más adversas.

**BIBLIOGRAFÍA**

1- **Arendt, H.** (1999). *Eichmann en Jerusalén: Un estudio acerca de la banalidad del mal*. Barcelona: Lumen.

2- **Hollis, E.** (2009). *La vida secreta de los edificios: Del Partenón a Las Vegas en trece historias*. Editorial Turner.

3- **Harari, Y. N.** (2017). *Homo Deus: A brief history of tomorrow*. New York: Harper.

4- **Oliveira, L. M.** (2024). *No puedo respirar*. Ciudad de México: Random House.

5- **Ramonet, I.** (2020, April 25). La pandemia y el sistema-mundo. *Diario La Jornada*.

6- **Serraino, P.** (2013). *Modernism rediscovered*. United Kingdom: Taschen.

7- **Earthed.** (2017). *Post-growth and education* (pp. 199). Consultado en http://earthed.info/wp-content/uploads/2017/06/SOW17_chap16_post-growth-ed.pdf (15 agosto 2024)

8- **United Nations.** (n.d.). *Sustainable development*. Consultado en https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml (15 agosto 2024

# PROGRAMA GENERAL

# XII Congreso Internacional de Telemática y Telecomunicaciones

# (CITTEL 2024)

**Cursos pre-congreso / *Pre-congress courses***

**XII Congreso Internacional de Telecomunicaciones y Telemática (CITTEL 2024) /**

***XII International Congress of Telematics and Telecommunications***

# Curso / *Course*: Desarrollo de sistemas empotrados sobre hardware reconfigurable / Embedded systems development on reconfigurable hardware

**Instructor / *Instructor*: Dr. Ángel Barriga Barros, Universidad de Sevilla**

**Lugar / *Place*: Aula de Postgrado del Dpto. de Automática y Computación, CUJAE / *Postgraduate Classroom of the Dept. of Automation and Computer Science, CUJAE***

**Fecha / *Date*: 18 - 21 de noviembre de 2024 / November 18-21, 2024**

**Generalidades:** El curso abarca los aspectos de diseño de sistema digitales híbridos hardware-software sobre dispositivos programables FPGA y SoC-FPGA, estableciendo una metodología que permite la implementación tanto de la plataforma hardware del sistema de procesamiento y de periféricos de usuario como del software de la aplicación, finalizando con una introducción a las herramientas de desarrollo open-source.

***Overview:*** *The course covers the design aspects of hybrid hardware-software digital system design on FPGA and SoC-FPGA programmable devices, establishing a methodology that allows the implementation of both the hardware platform of the processing system and user peripherals as well as the application software, ending with an introduction to open-source development tools.*

**Cursos pre-congreso / *Pre-congress courses***

**XII Congreso Internacional de Telecomunicaciones y Telemática (CITTEL 2024) /**

***XII International Congress of Telematics and Telecommunications***

# Curso / *Course*: Desarrollo de sistemas empotrados sobre hardware reconfigurable / Embedded systems development on reconfigurable hardware

**Instructor / *Instructor*: Dr. Ángel Barriga Barros, Universidad de Sevilla**

**Lugar / *Place*: Aula de Postgrado del Dpto. de Automática y Computación, CUJAE / *Postgraduate Classroom of the Dept. of Automation and Computer Science, CUJAE***

**Fecha / *Date*: 18 - 21 de noviembre de 2024 / November 18-21, 2024**

**Generalidades:** El curso abarca los aspectos de diseño de sistema digitales híbridos hardware-software sobre dispositivos programables FPGA y SoC-FPGA, estableciendo una metodología que permite la implementación tanto de la plataforma hardware del sistema de procesamiento y de periféricos de usuario como del software de la aplicación, finalizando con una introducción a las herramientas de desarrollo open-source.

***Overview:*** *The course covers the design aspects of hybrid hardware-software digital system design on FPGA and SoC-FPGA programmable devices, establishing a methodology that allows the implementation of both the hardware platform of the processing system and user peripherals as well as the application software, ending with an introduction to open-source development tools.*

**Curso / *Course*: Supervisión en Cableado Estructurado / *Structured Cabling Supervision***

**Instructor / *Instructor*: Daniel Arturo Morera, Toronto, ON, Canada**

**Lugar / *Place*: Centro de Estudios en Telecomunicaciones e Informática, CUJAE / *Center for Telecommunications and Informatics Studies, CUJAE***

**Fecha / *Date*: 22 y 23 de noviembre de 2024 / November 22 and 23, 2024**

**Generalidades:** Capacitación basada en las últimas tendencias para el desarrollo de un cableado estructurado en cobre y fibra óptica, apoyándonos en los estándares y mejores prácticas, buscando la optimización de presupuesto y la extensión de la vida útil tecnológica.

***Overview:*** *Training based on the latest trends for the development of structured cabling in copper and fiber optics, based on standards and best practices, seeking budget optimization and the extension of technological life.*

# Programa General / *General Program*
# XII Congreso Internacional de Telecomunicaciones y Telemática (CITTEL 2024) / *XII International Congress of Telematics and Telecommunications*
# Lugar / *Place*: Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room*

| **Horario / Schedule** | **Día / Day** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **25 / 11 / 2024** | **26 / 11 / 2024** | **27 / 11 / 2024** | **28 / 11 / 2024** | **29 / 11 / 2024** |
| **9:00** | | **Inauguración de XII CITTEL / *Inauguration of XII CITTEL*** | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"Comunicaciones acústicas subacuáticas: desafíos y oportunidades de investigación" / "*Underwater acoustic communications: research challenges and opportunities*"<br>Dra. María del Carmen Clemente Medina, Universidad de Málaga, España | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"Aceleración en GPU con Nvidia: Evolución y perspectivas" / "*GPU Acceleration through Nvidia: Evolution and perspectives*"<br>Dr. Manuel Ujaldón Martínez, Universidad de Málaga, España | **Panel "Radar I" / "*Radar I*"** |
| **9:30** | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"La seguridad digital en estudio de evaluación de madurez digital basado en tecnología TETR4DIG" / "*Digital sequirity on the study of TETR4DIG-based digital maturity*"<br>MSc. Liban de Armas Granado, ETECSA | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"Desarrollo de Antenas con Materiales no Tradicionales" / "*Antenna development by using no traditional materials*"<br>Dr. Benigno Rodríguez Díaz, Universidad de la República, Uruguay | | | |
| **9:45** | | | **Panel "Procesamiento Digital de Señales I" / "*Digital Signal Processing I*"** | **Panel "Sistemas de Telecomunicaciones I" / "*Telecommunications Systems I*"** | |
| **10:00** | | | | | **Panel "Radar II" / "*Radar II*"** |
| **10:15** | **Presentación Sello Editorial ETECSA**<br>MSc. Grisel Ojeda Amador, ETECSA, Directora de la Revista Tono<br>Lic. Alena Bastos Baños. Editora Ejecutiva. Revista Tono. | **Panel "Sistemas de Radiocomunicaciones I" / "*Radiocommunication Systems I*"** | | | |
| **10:30** | | | | | |
| **10:45** | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"eNUB - Suit de soluciones de Servicios e Infraestructura en la nube" / "*eNUB - Suit for Cloud Services and Infrastructure solutions*"<br>Ing. José Orlando Morales Rodríguez, ETI | | **Panel "Procesamiento Digital de Señales II" / "*Digital Signal Processing II*"** | | |
| **11:15** | | | | | **Clausura del XII CITTEL / *Closing of the XII CITTEL*** |
| **11:30** | | | | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"Sinergia público-privada: Innovación en telecomunicaciones" / "*Public-private synergy: Innovation in telecommunications*"<br>Dr. Alain A. Garófalo Hernández. Director General de la PYME tecnológica Avangenio, Cuba | |
| **12:00** | **Inauguración de la 21 CCIA / *Inauguration of the 21th CCIA*** | | | | **Clausura de 21 CCIA / *Closing of 21 CCIA*** |
| **12:15** | | **Conferencia Temática / *Keynote Speech***<br>"El nacimiento de la edad de la fotónica" / "*Birth of the Photonic Age*"<br>Dr. José de Oliva Rubio, Universidad de Málaga, España | | **Panel "Sistemas de Telecomunicaciones II" / "*Telecommunications Systems II*"** | |
| **13:00** | | **Panel "Sistemas de Radiocomunicaciones II" / "*Radiocommunication Systems II*"** | | | |
| **14:00** | | **Almuerzo / *Lunch*** | **Almuerzo / *Lunch*** | **Almuerzo / *Lunch*** | **Almuerzo / *Lunch*** |

**Programa Científico / *Scientific Program***
**CITTEL 2024**
**Lugar/*Place*: Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room***

| | | |
|---|---|---|
| **Día / *Day*:** | 25 / 11 / 2024 | **Lugar / *Place*:** Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room* |
| **Presidente Sesión / *Chairman Session*:** | MSc. Omar A. Hernández Duany, Cujae | |
| **Actividad / *Activity*:** | **Sesión Científica / *Scientific Session*** | |

| **Horario /Schedule** | **Actividad / Activity** |
|---|---|
| 9:30-10:10 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "La seguridad digital en estudio de evaluación de madurez digital basado en tecnología TETR4DIG" / "*Digital sequirity on the study of TETR4DIG-based digital maturity*"<br>MSc. Liban de Armas Granado, ETECSA |
| 10:15-10:40 | **Presentación Sello Editorial ETECSA**<br>MSc. Grisel Ojeda Amador, ETECSA, Directora de la Revista Tono<br>Lic. Alena Bastos Baños. Editora Ejecutiva. Revista Tono. |
| 10:45-11:25 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "eNUB - Suit de soluciones de Servicios e Infraestructura en la nube" / "*eNUB - Suit for Cloud Services and Infrastructure solutions*"<br>Ing. José Orlando Morales Rodríguez, ETI |

| | | |
|---|---|---|
| **Día / *Day*:** | 26 / 11 / 2024 | **Lugar / *Place*:** Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room* |
| **Presidente Sesión / *Chairman Session*:** | Dr. C. Jesús de la C. Bacallao Vidal, Cujae | |
| **Actividad / *Activity*:** | **Sesión Científica / *Scientific Session*** | |

| **Horario /Schedule** | **Actividad / Activity** | |
|---|---|---|
| 9:30-10:10 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "Desarrollo de Antenas con Materiales no Tradicionales" / *"Anthenna development by using no traditional materials"*<br>Dr. Benigno Rodríguez Díaz, Universidad de la República, Uruguay | |
| **Panel: Sistemas de Radiocomunicaciones I / *Radiocommunication Systems I***<br>**Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Noslen Rojas Ramírez, CID MECATRONICS<br>**Secretario / *Secretary*:** Dr. C. Alexis Manuel Cristobo Brooks, Cujae | | |
| 10:15-12:10 | CIT-03 (Cuba) | ESTUDIO PRELIMINAR DE LA REFRACTIVIDAD TROPOSFÉRICA EN EL MAR AL NORTE DE CUBA / *PRELIMINARY STATISTICS OF TROPOSPHERIC REFRACTIVITY IN THE SEA AT NORTH OF CUBA*<br>*Autores: José Rafael Sandianes Galvez, Lányer Pérez Garlobo. Universidad Tecnológica de La Habana, Instituto Técnico Militar "José Martí", La Habana.* |
| | CIT-05 (Cuba) | NUEVO MÉTODO DE DISEÑO DE AMPLIFICADOR DE CLASE FV CONTINUO DE BANDA ANCHA / *NEW METHOD OF WIDEBAND CONTINOUS FV CLASS AMPLIFIER DESIGN.*<br>*Autores: Pedro Luis Hernández Portilla, Yosvany González Mandado. Centro de Investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire", La Habana.* |
| | CIT-08 (Cuba) | DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENA CON TECNOLOGÍA GROOVE GAP WAVEGUIDE PARA OPERAR EN LA BANDA W / *DESIGN OF A GROOVE GAP WAVEGUIDE ANTENNA ARRAY FOR W-BAND OPERATION.*<br>*Autores: Jorge Luis Blanco Orta, María del Carmen Guerra Martínez, Miguel Eduardo Borrego Corona, Kenneth Marichal Leyha. Emisora* |

| | | |
|---|---|---|
| | | *Municipal de Radio Mariel, Artemisa; Universidad Tecnológica de La Habana; Centro de Investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire", La Habana.* |
| | CIT-11 (Cuba) | SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA DE ENTRADA PARA AMPLIFICADOR DE POTENCIA DE RF / *INPUT POWER CONTROL SYSTEM FOR RF POWER AMPLIFIER.*<br>*Autores: Enrique Romero Mustelier, Reinier Quiala Llorens, Yosvany González Mandado. CIDP "Grito de Báire", La Habana.* |
| | CIT-15 (Cuba) | DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS USANDO LA TECNOLOGÍA RIDGE GAP WAVEGUIDE EN LA BANDA DE 28 GHz / *DESIGN OF ANTENNA ARRAY USING RIDGE GAP WAVEGUIDE TECHNOLOGY IN THE 28 GHz BAND*<br>*Autores: Julián Valdés Santiuste, María del Carmen Guerra Martínez. Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana.* |
| | CIT-39 (Cuba) | DISEÑO DE UN SISTEMA DE ORIENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA ANTENA PARABÓLICA DESTINADA A LA RECEPCIÓN SATELITAL / *DESIGN OF AN AUTOMATIC ORIENTATION SYSTEM FOR A PARABOLIC ANTENNA INTENDED FOR SATELLITE RECEPTION*<br>*Autores: Patricia Marín González, Roger Ernesto García Frómeta. Universidad Tecnológica de La Habana* |
| | CIT-19 (Cuba) | DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUMENTACIÓN SATELITAL BASADO EN TIERRA PARA EL AEROPUERTO DE SANTIAGO DE CUBA / *DESIGN OF A SATELLITE AUGMENTATION SYSTEM FOR SANTIAGO CUBA AIRPORT GROUND-BASED AUGMENTATION SYSTEM FOR SANTIAGO DE CUBA AIRPORT*<br>*Autores: Yolexis Mazorra Pita, José Armando Rodríguez Rojas, Liban Casas Téllez. Empresa Cubana de Navegación Aérea, Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-20 (Cuba) | DISEÑO DE UN ENLACE SATELITAL CON EL EMPLEO DEL SISTEMA DE AUMENTACION WAAS / *DESIGN OF A SATELLITE LINK USING THE WAAS AUGMENTATION SYSTEM*<br>*Autores: Elder Antonio Rivero Andux, José Armando Rodríguez Rojas. Empresa Cubana de Navegación Aérea.* |
| | CIT-21 (Cuba) | PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE BANDAS SATELITALES ALQUILADAS PARA SERVICIOS OCASIONALES Y DE CONTINGENCIA / *PROPOSAL FOR OPTIMIZATION OF SATELLITE BANDS RENTED BY OCCASIONAL AND CONTINGENCY SERVICES*<br>*Autores: Elio David Sánchez Pérez, Pablo Jesús Echenique Véliz. Empresa de Telecomunicaciones de Cuba* |
| | CIT-47 (Cuba) | MÉTODO OPTIMIZADO DE ESTIMACIÓN DE DOA EN 2D CON SUPERRESOLUCIÓN / *SUPER-RESOLUTION 2D DOA ESTIMATION OPTIMIZED METHOD*<br>*AUTORES: YUNIOR IBARRA GUERA, ALEXANDER R. RAMÍREZ ZALDÍVAR, JOSÉ E. VARGAS FERNÁNDEZ, NOSLEN ROJAS RAMÍREZ. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ELECTRÓNICA Y MECÁNICA, CID MECATRONICS.* |
| | Debate | |
| 12:15-12:55 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "El nacimiento de la edad de la fotónica" / *"Birth of the Photonic Age"*<br>Dr. José de Oliva Rubio, Universidad de Málaga, España | |
| **Panel: Sistemas de Radiocomunicaciones II / *Radiocommunication Systems II***<br>**Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Dr. C. Miguel Eduardo Borrego, Cujae<br>**Secretario / *Secretary*:** MSc. María del Carmen Guerra Martínez, Cujae | | |
| | CIT-48 (Cuba) | IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ANTENAS INTELIGENTES CON HAZ CONMUTADO / *IMPLEMENTATION OF A SWITCHED BEAM ANTENNA SYSTEM* |

| | | |
|---|---|---|
| | | *Autores: Alexander R. Ramírez Zaldívar, Yunior Ibarra Guerra, Noslen Rojas Ramírez. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS".* |
| | CIT-50 (Cuba) | SISTEMA DE ANTENAS OMNIDIRECCIONAL CON POLARIZACIÓN CIRCULAR EN BANDA L / *OMNIDIRECTIONAL ANTENNA SYSTEM WITH CIRCULAR POLARIZATION IN L-BAND*. *Autores: Noslen Rojas Ramírez, Pilar Prado Guillot, Alejandro Guzmán Portelles. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS".* |
| | CIT-51 (Cuba) | DISEÑO DE ANTENA PORTÁTIL PARA RECEPCIÓN SATELITAL CON POLARIZACIÓN CIRCULAR / *DESIGN OF A PORTABLE ANTENNA FOR SATELLITE RECEPTION WITH RIGHT CIRCULAR POLARIZATION*. *Autores: Pilar Prado Guillot, Noslen Rojas Ramírez, Cinthya Pérez Salmerón. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS".* |
| | CIT-52 (Cuba) | SISTEMA TRANSPONDEDOR PARA MONITOREO MARÍTIMO EN LOGÍSTICA DE COMBUSTIBLES / *TRANSPONDER SYSTEM FOR MARITIME MONITORING IN NATIONAL WATERS* *Autores: Jorge H. Vázquez Leiva, Randy Mustelier Rivero, Michel Buzón Tur, Armando Estévez Alonso. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS"; Empresa de Informática, Automática y Comunicaciones TECNOMÁTICA.* |
| | CIT-53 (Cuba) | INVESTIGACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA DE CUADRO VOLUMÉTRICA / *RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF THE VOLUMETRIC LOOP ANTENNA* *Autores: Alexis Manuel Cristobo Brooks, Claudia Arrieta Castellanos. Universidad Tecnológica de la Habana.* |
| | Debate | |

| | | |
|---|---|---|
| **Día / *Day*:** | 27 / 11 / 2024 | **Lugar / *Place*:** Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room* |
| **Presidente Sesión / *Chairman Session*:** | Dr. C. Fidel Ernesto Hernández Montero, Cujae. | |
| **Actividad / *Activity*:** | **Sesión Científica / *Scientific Session*** | |

| **Horario /Schedule** | **Actividad / Activity** | |
|---|---|---|
| 9:00-9:40 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "Comunicaciones acústicas subacuáticas: desafíos y oportunidades de investigación" / *"Underwater acoustic communications: research challenges and opportunities"* Dra. María del Carmen Clemente Medina, Universidad de Málaga, España | |
| **Panel: Procesamiento Digital de Señales I / *Digital Signal Processing I*** **Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Agnes S. Nagy, Cujae **Secretario / *Secretary*:** Ing. Elías Osmani García Alvaredo, Cujae | | |
| 9:45-10:40 | CIT-31 (Cuba) | *WEARABLE DEVICE* BASADO EN SENSOR INERCIAL, CON CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD / *INERTIAL SENSOR-BASED WEARABLE DEVICE WITH SD MEMORY.* *Autores: Samuel Casanova Calzadilla, Osniel Alejandro García Orihuela, Elías Osmany García Alvaredo, Mario Bernal Pérez, Gianna Arencibia Castellanos, Fidel Ernesto Hernández Montero. Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-55 (Colombia) | DISEÑO DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EMPLEANDO SENSORES INERCIALES DE UN TELÉFONO INTELIGENTE / *DESIGN OF A POSITIONING SYSTEM USING THE INERTIAL SENSORS OF A SMARTPHONE.* |

| | | |
|---|---|---|
| | | *Autores: Víctor Fabián Miramá Pérez, Diego Andrés Martínez Galindo, Sergio Alejandro Leyton Penagos. Universidad del Cauca, Colombia.* |
| | CIT-05 (Ecuador-España) | PROTOTIPO DE VEHÍCULO ROBÓTICO TELEOPERADO CON TRANSMISIÓN DE VIDEO EN TIEMPO REAL / *PROTOTYPE OF A TELEOPERATED ROBOTIC CART WITH REAL-TIME VIDEO TRANSMISSION*<br>*Autores: Flavio Morales, Santiago Yazan, Miguel-Angel Luque-Nieto, María del Carmen Clemente Medina. Universidad Tecnológica Israel, Ecuador; Universidad de Málaga, España.* |
| | Debate | |
| **Panel: Procesamiento Digital de Señales II / *Digital Signal Processing II***<br>**Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Alicia Polanco Risquet, Cujae<br>**Secretario / *Secretary*:** Ing. Mario Bernal Pérez, Cujae | | |
| 10:45-11:55 | CIT-22 (Cuba) | IMPLEMENTACIÓN UN SISTEMA DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE EMPLEANDO GNU RADIO SOPORTADO SOBRE RASPBERRY PI 4 Y LOS DISPOSITIVOS SDR ADALM-PLUTO Y RTL-SDR R820T2 / *IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEM USING GNU RADIO SUPPORTED ON RASPBERRY PI 4 AND SDR DEVICES ADALM-PLUTO AND RTL-SDR R820T2.*<br>*Autores: María Camila Reyes Díaz, Elizabeth Duarte Pérez. Universidad de Pinar del Río.* |
| | CIT-02 (Cuba) | IMPLEMENTACIÓN DE PLATAFORMA DE LABORATORIO CON ACCESO REMOTO SOBRE RASPBERRY PI 4 COMPATIBLE CON LOS DISPOSITIVOS EXCELLWAY RTL-SDR Y ADALM-PLUTO SDR / *IMPLEMENTATION OF A LABORATORY PLATFORM WITH REMOTE ACCESS ON RASPBERRY PI 4 COMPATIBLE WITH EXCELLWAY RTL-SDR AND ADALM-PLUTO SDR DEVICES.*<br>*Autores: Luis Rolando Roba Iviricu, José Manuel Díaz Hernández, Elizabeth Duarte Pérez. Universidad de Pinar del Río.* |
| | CIT-25 (Cuba) | SIMULACIÓN DE SUPERFICIE REFLECTANTE INTELIGENTE PARA AMBIENTES VEHICULARES EN MATLAB / *SIMULATION OF INTELLIGENT REFLECTING SURFACE FOR VEHICULAR ENVIRONMENT IN MATLAB.*<br>*Autores: Ana Paula Suárez Regalado, Fernando Hernández Vives, Camilo Guillén Soriano. Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-10 (Cuba) | APLICACIÓN Y RESULTADOS DE NUEVOS ENFOQUES PEDAGOGICOS EN REDES DE SENSORES / *Application and results of new pedagogic approaches on sensor network lectures.*<br>*Autores: Agnes S. Nagy, Alicia Polanco Risquet. Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | Debate | |

| | | |
|---|---|---|
| **Día / *Day*:** | 28 / 11 / 2024 | **Lugar / *Place*:** Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room* |
| **Presidente Sesión / *Chairman Session*:** | Dr. C. René Yáñez de la Rivera, Cujae. | |
| **Actividad / *Activity*:** | **Sesión Científica / *Scientific Session*** | |

| **Horario /Schedule** | **Actividad / Activity** |
|---|---|
| 9:00-9:40 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "Aceleración en GPU con Nvidia: Evolución y perspectivas" / *"GPU Acceleration through Nvidia: Evolution and perspectives"* |

| | | |
|---|---|---|
| | Dr. Manuel Ujaldón Martínez, Universidad de Málaga, España | |
| **Panel: Sistemas de Telecomunicaciones I / *Telecommunications Systems I***<br>**Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. René Yáñez de la Rivera, Cujae<br>**Secretario / *Secretary*:** Ing. Annia Lisbeth Barbán Acea, Cujae | | |
| 9:45-11:25 | CIT-04<br>(Cuba) | AUTOMATIZACIÓN DE REDES CON NETMIKO / *NETWORK AUTOMATION WITH NETMIKO*<br>*Autor: Elio R. Avila Rodríguez. ETECSA, Las Tunas.* |
| | CIT-12<br>(Cuba) | CONFIGURACIÓN DE UNA RED DE ÁREA LOCAL CON ALTA DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA / *CONFIGURING A HIGH-AVAILABILITY LOCAL AREA NETWORK INFRASTRUCTURE.*<br>*Autores: Clayret Echenique Quintana, Ernesto Alejandro Gálvez Valdés. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.* |
| | CIT-13<br>(Cuba) | AMENAZAS AL SERVIDOR DHCP. ATAQUE DHCP SPOOFING EN UNA RED DE ÁREA LOCAL / *DHCP SERVER THREATS. DHCP SPOOFING ATTACK A LOCAL AREA NETWORK.*<br>*Autores: Ernesto Alejandro Gálvez Valdés, Clayret Echenique Quintana, Halexy Velázquez Delgado. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.* |
| | CIT-14<br>(Cuba) | ARQUITECTURA CONCEPTUAL DEL MODELO DE GESTIÓN DE RED BASADO EN LA INTENCIÓN / *CONCEPTUAL ARCHITECTURE OF THE INTENT BASED NETWORK MANAGEMENT MODEL*<br>*Autores: Ismanuel Basulto Díaz, Caridad Emma Anías Calderón. ETECSA Isla de la Juventud, Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-24<br>(Cuba) | REVISIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LA SDN Y LA NFV EN LA RED BÁSICA 5G: VENTAJAS, RETOS Y SOLUCIONES / *REVIEW OF SDN AND NFV INTEGRATION IN 5G CORE NETWORK: BENEFITS, CHALLENGES AND SOLUTIONS*<br>*Autores: Camila Ojito Martín, Abel Castillo Travieso, Alain Garófalo. DATYS, La Habana* |
| | CIT-28<br>(Cuba) | ANÁLISIS DE LAS VULNERABILIDADES DE CIBERSEGURIDAD DE INYECCIÓN SQL / *ANALYSIS OF SQL INJECTION CYBERSECURITY VULNERABILITIES*<br>*Autores: Mailenis Castillo Gil, Henry Raúl González Brito. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.* |
| | CIT-06<br>(Cuba) | COMPONENTE PARA DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR ESP32 E INTERFAZ INALÁMBRICA Y PROTOCOLO HTTP / *COMPONENT FOR REMOTE DATA AVAILABILITY BASED ON THE ESP32 MICROCONTROLLER, A WIRELESS INTERFACE AND THE HTTP PROTOCOL*<br>*Autores: David Alejandro Chentes Ramos, Thaily Blanco Baro, Fidel Ernesto Hernández Montero. Universidad de Pinar del Río, Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-29<br>(Ecuador) | DISEÑO DE RED TRADICIONAL Y SDN: CASO DE ESTUDIO GOBIERNO PROVINCIAL DE MANABÍ / *TRADITIONAL NETWORK DESIGN AND SDN: CASE STUDY PROVINCIAL GOVERNMENT OF MANABÍ*<br>*Autores: Marely del Rosario Cruz Felipe, Leonardo Benítez Chacón, Erivel Pérez Fernández. Universidad Técnica de Manabí* |
| | Debate | |
| 11:30-12:10 | **Conferencia Temática / *Keynote Speech*:** "Sinergia público-privada: Innovación en telecomunicaciones" / "*Public-private synergy: Innovation in telecommunications*"<br>Dr. C. Alain A. Garófalo Hernández. Director General PYME tecnológica Avangenio, Cuba | |
| **Panel: Sistemas de Telecomunicaciones II / *Telecommunications Systems II***<br>**Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Javier Vizcay Gómez, ETECSA<br>**Secretario / *Secretary*:** Ing. Ariel Baloira Reyes, Cujae | | |
| 12:15-13:55 | CIT-43 | EXTENSIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA DESPLEGADAS / *EXTENSION* |

| | | |
|---|---|---|
| | (Cuba) | *OF DEPLOYED FIBER OPTICAL NETWORKS.*<br>*Autores: Hyancith Caridad Aballi Oña, Caridad Anías Calderón, Orlando Alfonso Alba Pérez. Universidad Tecnológica de La Habana* |
| | CIT-01<br>(Cuba) | IMPACTO DEL MANEJO DE LA INTERFERENCIA EN SISTEMAS VLC PARA INTERIORES / *IMPACT OF INTERFERENCE MANAGEMENT ON INDOOR VLC SYSTEMS.*<br>*Autor: Eric Armando Rojo Martin. Universidad Central de Las Villas.* |
| | CIT-33<br>(Cuba-México) | ARQUITECTURAS COMPUTACIONALES DE ALTO RENDIMIENTO SOBRE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA ORGANIZACIONES DE TELECOMUNICACIONES / *HIGH PERFORMANCE COMPUTATIONAL ARCHITECTURES ON CLOUD COMPUTING FOR TELECOMMUNICATIONS ORGANIZATIONS.*<br>*Autores: Omar Antonio Hernández Duany, Caridad Anías Calderón, Roberto Sepúlveda Lima, Fernando de la Nuez García, Cornelio Yáñez-Márquez. Universidad Tecnológica de La Habana, Instituto Politécnico Nacional de México.* |
| | CIT-34<br>(Cuba) | PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SERVIVIO WIFI EN LA COMPAÑIA FERROVIARIA DE CUBA / *PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF WI-FI SERVICE ON CUBAN RAILWAYS UNION TRAINS.*<br>*Autores: Adrián Veliz Anido, Annia Lisbeth Barbán Acea, Camilo Dajer Duany. Soluciones Integrales de Telecomunicaciones S.A. La Habana; Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-36<br>(Cuba) | TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN AGENCIAS BANCARIAS / *DIGITAL TRANSFORMATIONS IN BANK BRANCHES.*<br>*Autor: Andrés Subert Semanat. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.* |
| | CIT-37<br>(Cuba-Rusia) | ENTORNO DE ENTRENAMIENTO DE MODELOS DE APRENDIZAJE POR REFUERZO PARA LA GESTIÓN DE LA CIBERSEGURIDAD / *TRAINING ENVIRONMENT FOR REINFORCEMENT LEARNING MODELS FOR CYBERSECURITY MANAGEMENT.*<br>*Autores: Ariel Baloira Reyes, Yan Varakin , Timur Gadzhiev, Alexey Tselykh. Universidad Tecnológica de La Habana; Southern Federal University, Rusia* |
| | CIT-42<br>(Cuba) | DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA UN SALÓN DE REUNIONES / *DESIGN OF A SUPERVISION AND CONTROL SYSTEM FOR A MEETING ROOM.*<br>*Autores: Enier González Ibarra, Karla Rueda Olivero, Arturo Alejandro Pérez Benítez, Niurka Monteavaro García, Pablo Montejo Valdés. Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | CIT-30<br>(Cuba) | PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE QOS EN VOIP SOBRE LA RED MÓVIL, NAUTA-HOGAR Y ZONA-PÚBLICA WI-FI EN LA RED DE ETECSA / *PROCEDURE FOR MEASURING AND EVALUATING QOS IN VOIP OVER THE MOBILE NETWORK, NAUTA-HOGAR, AND PUBLIC WI-FI ZONES IN ETECSA'S NETWORK.*<br>*Autores: Gabriela Milián Teijeiro, Diana Gil Quintero, Yoan Larry Cecilio Núñez, Liz Gámez Picó. ETECSA La Habana, Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | Debate | |

| | | |
|---|---|---|
| **Día / *Day*:** | 29 / 11 / 2024 | **Lugar / *Place*:** Sala de Protocolo del Hotel Palco / *Palco Hotel Protocol Room* |
| **Presidente Sesión / *Chairman Session*:** | Dr. C. Jesús de la C. Bacallao Vidal, Cujae. | |
| **Actividad / *Activity*:** | **Sesión Científica / *Scientific Session*** | |

| Horario /Schedule | Actividad / Activity | |
|---|---|---|
| **Panel: Radar I / *Radar I*** <br> **Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. Camilo Guillén Soriano, Cujae, <br> **Secretario / *Secretary*:** Ing. Fernando Hernández Vives, Cujae | | |
| 9:00-9:50 | CIT-18 (Cuba) | FUSIÓN DE MUESTRAS DE GRAN TAMAÑO DE LOS ECOS DE UN SISTEMA DE RADAR BIESTÁTICO / *FUSION OF LARGE ECHO SAMPLES FROM A BISTATIC RADAR SYSTEM TRANSMISSION* <br> *Autores: José A. Rodríguez Rojas, Nelson Chávez Ferry, Alejandra Aparicio Mariño. Universidad Tecnológica de la Habana, ETECSA La Habana.* |
| | CIT-23 (Cuba) | DETECCIÓN DE RADAR EN EL ESPACIO DE LOS MOMENTOS DE LA FRECUENCIA INSTANTÁNEA / *RADAR DETECTION IN THE MOMENTS SPACE OF THE INSTANTANEOUS FREQUENCY* <br> *Autores: Susana García García, Camilo Guillén Soriano. Universidad Tecnológica de la Habana.* |
| | CIT-44 (Cuba) | SÍNTESIS DEL PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL TERRENO CON RADAR DE APERTURA SINTÉTICA CON EXPLORACIÓN LATERAL EN LA BANDA X */ SYNTHESIS OF TERRAIN IMAGE PROCESSING WITH SYNTHETIC APERTURE RADAR WITH LATERAL SCAN IN THE X BAND.* <br> *Autores: Yaniel Manuel Díaz Domínguez, Juan Manuel Valdéz Díaz. Instituto Técnico Militar "José Martí"* |
| | CIT-54 (Cuba) | DETECCIÓN DE RADAR EN EL ESPACIO DE LOS MOMENTOS DE LA SUPERFICIE EFECTIVA DE DISPERSIÓN: APLICACIÓN A BLANCOS MARITIMOS DE BAJA OBSERVACIÓN / *DETECTION IN THE MOMENTS SPACE OF RADAR CROSS SECTION: APPLICATION TO LOW OBSERVABLE MARITIME TARGETS* <br> *Autores: Nelson Chávez Ferry, Camilo Guillén Soriano, Jesús de la C. Bacallao Vidal, Hugo R. Rodríguez Rodríguez, Susana García García. Universidad Tecnológica de La Habana.* |
| | Debate | |
| **Panel: Radar II / *Radar II*** <br> **Presidente Panel / *Chairman Panel*:** Dr. C. José Antonio Rodríguez Rojas <br> **Secretario / *Secretary*:** Ing. Ana Paula Suárez Regalado, Cujae | | |
| 9:55-10:40 | CIT-16 (Cuba) | ANÁLISIS DE LA DECORRELACIÓN DE LA EMISIÓN SECUNDARIA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO BIESTÁTICO Y LA DIFERENCIA DE TIEMPO DE ARRIBO DE LAS SEÑALES / *ANALYSIS OF SECONDARY EMISSION DECORRELATION AS A FUNCTION OF BISTATIC ANGLE AND SIGNAL ARRIVAL TIME DIFFERENCE* <br> *Autores: José A. Rodríguez Rojas, Nelson Chávez Ferry, Hugo Rodríguez Rodríguez. Universidad Tecnológica de La Habana; ITM "José Martí".* |
| | CIT-32 (Cuba) | DISEÑO DE LA ETAPA DE VIGILANCIA DE UN SISTEMA AVANZADO DE GUIADO Y CONTROL DE MOVIMIENTO DE SUPERFICIE CON EL EMPLEO DE UN FILTRO KALMAN / *DESIGN OF THE MONITORING STAGE OF AN ADVANCED SURFACE MOTION GUIDANCE AND CONTROL SYSTEM USING A KALMAN FILTER* <br> *AUTORES: JOSÉ A. RODRÍGUEZ ROJAS, IVEL URQUIA SANTANA, SHIRLEY ROBERT CASTILLO. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA, EMPRESA IVROTEC S.U.R.L. ZONA ESPECIAL MARIEL, EMPRESA CUBANA DE NAVEGACIÓN AÉREA.* |
| | CIT-46 (Cuba) | EMPLEO DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL CUBANA CON FINES DE RADIOLOCALIZACIÓN / *USE OF THE CUBAN DIGITAL TELEVISION SIGNAL FOR RADIOLOCATION PURPOSE* <br> *Autores: Ivanoy Rivera Martínez, Alexander Grandales Badell, George* |

| | | |
|---|---|---|
| | | *Ybert Durruthy, Javier Delgado Chávez. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", Instituto Técnico Militar "José Martí".* |
| | CIT-49<br>(Cuba) | DISEÑO SISTEMA ANTENA-TRANSCEPTOR PARA RADAR DOPPLER DE CONTROL DE VELOCIDAD / *ANTENNA-TRASNCEIVER SYSTEM DESIGN FOR A SPEED CONTROL DOPPLER RADAR*.<br>*Autores: Juan Carlos Lazo Lezcano, Ricardo J. Castillo Blanco, Orlando Ramos Morales, Noslen Rojas Ramírez. Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS".* |
| | Debate | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPACTO DEL MANEJO DE LA INTERFERENCIA EN SISTEMAS VLC PARA INTERIORES

**Autor**: **Msc. Eric Armando Rojo Martin**
Profesor del Dpto.Telecomunicaciones y Electrónica

e-mail: ermartin@uclv.cu

**RESUMEN**

Este estudio mide el impacto de la interferencia sobre el enlace de descarga de datos en un sistema de Comunicaciones de Luz Visible (*visible light communication*, VLC) para interiores con varias celdas y múltiples usuarios. Se elige el límite máximo de la razón de transmisión como métrica de desempeño y se estudia el impacto que tiene en dicha métrica tanto el ajuste del campo de visión del receptor (*field of view*, FoV) como la forma en que se distribuyen los usuarios entre las celdas. En el estudio se aplica simulación numérica para determinar la distribución optima que logra, mediante el control de los niveles de interferencia, el desempeño esperado. La elección se ajusta a uno de dos objetivos posibles; alcanzar el máximo caudal en el flujo de datos (Máxima Razón Suma, MRS) global, o garantizar que la razón de transmisión de usuario mínima sea la más alta posible (Asignación Justa, AJ). Los resultados de la simulación para rangos de FoV que van desde 40° hasta 65° permiten afirmar que tanto el ajuste del FoV como la forma en que se distribuyen los usuarios entre las diferentes celdas tienen un impacto importante en el control de la interferencia y, por extensión, en la razón de transmisión del sistema y de los usuarios individuales. La aplicación del principio AJ permite elevar la razón de transmisión de usuario mínima entre un 45% y un 228%.

**PALABRAS CLAVES: VLC, NOMA, FoV, SINR**

# IMPACT OF INTERFERENCE MANAGEMENT ON INDOOR VLC SYSTEMS

**ABSTRACT**

This study measures the impact of interference on the data offload link in a multi-cell, multi-user indoor visible light communication (VLC) system. The maximum limit of the transmission ratio is chosen as the performance metric and the impact of both the receiver field of view (FoV) adjustment and the way users are distributed among the cells is studied. The study applies numerical simulation to determine the optimal distribution that achieves, by controlling interference levels, the expected performance. The choice fits one of two possible objectives; to achieve the maximum throughput in the overall data flow (Maximum Sum Ratio, MRS), or to ensure that the minimum user transmission ratio is as high as possible (Fair Allocation, AJ). Simulation results for FoV ranges from 40° to 65° show that both the FoV setting and the way users are distributed among the different cells have a significant impact on interference control and, by extension, on the transmission ratio of the system and of the individual users. The application of the AJ principle allows the minimum user transmission ratio to be raised by 45% to 228%.

**KEY WORDS: VLC, NOMA, FoV, SINR**

**Introducción**

El amplio y no regulado espectro de luz visible ha atraído una gran atención de la industria y el mundo académico como técnica de comunicación óptica inalámbrica alternativa.
El uso dual de las luminarias tanto para la comunicación como para iluminación, la eficiencia energética y la compatibilidad con la infraestructura de iluminación existente también hacen de VLC una tecnología potencial de futuro [1]. Los sistemas VLC han sido explorados ampliamente en la literatura reciente como una solución prometedora al problema de la escasez de espectro en las tecnologías inalámbricas existentes. La VLC también presenta ventajas como la ausencia de interferencias con las tecnologías de comunicación existentes, la ausencia de riesgos para la salud y la seguridad de los datos.
Al igual que en las redes de radiofrecuencias, el rendimiento de las redes VLC se ve limitado por las interferencias. Por ello, el empleo de las técnicas de manejo de la misma tiene una especial importancia. Entre las múltiples opciones para mitigar el efecto de las interferencias, se tienen esquemas de acceso múltiple por división espacial (*space division multiple access*, SDMA), propuesto en [2], la cual utiliza transmisores de diversidad angular. En [3] se propone un algoritmo complejo, empleando la teoría de juegos para determinar los niveles óptimos de asignación de potencia en los enlaces descendentes. En [4] y en [5] se propone una técnica para la asignación de potencia a partir de la relación de ganancia (GRPA) en el acceso múltiple no ortogonal (*non-orthogonal multiple access*, NOMA VLC). Estos mecanismos, han mostrado su validez para mejorar la calidad de señal que reciben los usuarios ubicados en la célula. Otra técnica, propuesta en [6] consiste en la asignación de recursos sobre la base de un método de asignación mejorado (*enhanced power allocation*, EPA), que propone una relación de potencia óptima de forma cerrada para los usuarios multiplexados en cada subportadora OFDM, con un esquema conjunto OFDM-NOMA en VLC. Y en [9] una estrategia de asignación de potencia justa y simple, donde existe la cooperación entre diodo emisor de luz (*light emitting diodes*, LED) en un ambiente de alta relación señal interferencia ruido (*signal-interference-plus-noise ratio*, SINR) basada en el acceso múltiple no ortogonal.

**1 Principales características**

En la actualidad, el término VLC, se refiere a la tecnología de la comunicación que utiliza una fuente de luz visible –habitualmente dispositivos fotónicos de estado sólido como LEDs o láser– como transmisor, el aire como medio de transmisión, y un sensor de luz –normalmente un fotodiodo– como receptor. En un sistema VLC el transmisor modula la luz blanca producida por los LED, el receptor VLC basado en un fotodiodo (*photodiode*, PD), extrae el canal óptico inalámbrico modulado para conectar el transmisor y el receptor VLC separados físicamente [10], [11].

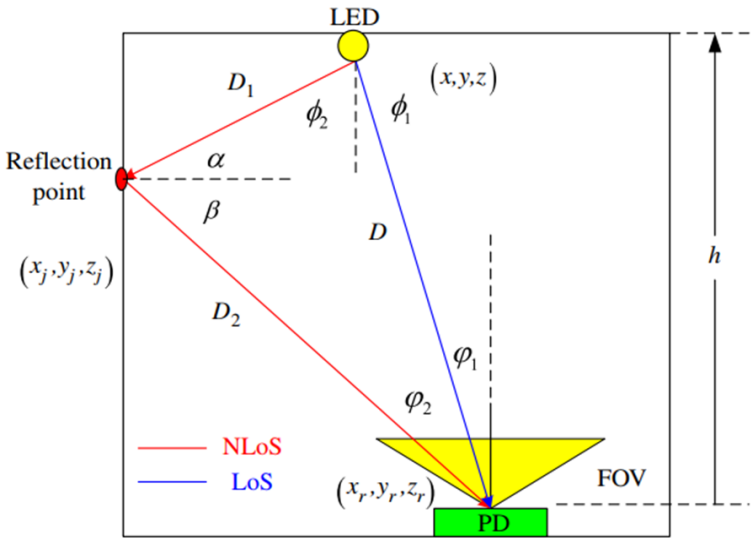



Figura 1: Geometría óptica del LED y el PD, en trayectos LOS y NLOS

**Transmisor VLC**

Los sistemas VLC también se basan en los principios de la radiación electromagnética para la trasmisión de información. La lámpara LED es el transmisor más adecuado para la iluminación y la comunicación en sistemas VLC. Cada una de estas lámparas suele estar formada por uno o varios LED accionados por un circuito que controla la intensidad del brillo, utilizando la corriente de entrada. La función del circuito conductor es transmitir los datos modificando la corriente de entrada, que a su vez modifica la intensidad de la luz. En los sistemas VLC los LED trasmisores, también funcionan como puntos de acceso (*access point*, AP), que iluminar escenarios interiores de pocos usuarios, por lo que se requiere de menos complejidad para realizar las estimaciones del canal inalámbrico.

**Canal LOS**

En este modelo de canal óptico, entre el LED AP y PD *'k'* el enlace se puede expresar de la siguiente forma:

$$h_k^{LOS} = \begin{cases} \dfrac{(m+1)R_{PD}Ap}{2\pi\, d_k^2} cos^m(\phi_k) g_f(\psi_k)\, g_c(\psi_k) \cos(\psi_k) ; & 0 \le \psi \le \text{FoV} \\ 0 & ; \ \psi \ge \text{FoV} \end{cases} \quad (1)$$

dónde: $h_k$ es la ganancia de canal con la componente de iluminación, en el trayecto directo LED - enlace LOS - usuario. Siendo '$A_p$' el área física del PD, '$R_{pd}$' seria el parámetro de Responsibidad, '$g_f(\psi_k)$' la ganancia del filtro óptico y '$g_c(\psi_k)$' la ganancia del concentrador óptico.

**Canal NLOS**

Los enlaces ópticos NLOS representan una señal que llega a un PD a través de múltiples reflexiones. Cuando un rayo colisiona con un obstáculo (una pared, el techo, etcétera), el punto donde se ha producido la colisión se convierte en una nueva fuente óptica desde la cual se genera nuevamente un rayo, con una orientación dada por el modelo del reflector. Estas reflexiones, en la práctica contienen componentes especulares y difusivos

[12]. En este modelo de propagación, las pérdidas del camino óptico son mucho más complejas de predecir, ya que dependen de varios factores, como:

_Dimensiones de la habitación

_Reflectividad de las paredes

_Orientación del transmisor y el receptor

Por tanto, esta variante de enlace no debería ser ignorada, la ganancia para este modelo, seria:

$$h_k^{NLOS} = \begin{cases} \frac{(m+1)R\rho A_p}{2\pi\, d_1^2\, d_2^2} cos^m(\phi_k) cos_1(\varphi_k) cos_2(\varphi_k) g_f(\psi_k)\, g_c(\psi_k) \cos(\psi_k); & 0 \le \psi \le \text{FoV} \\ 0 & ; \quad \psi \ge \text{FoV} \end{cases} \qquad (2)$$

dónde: $\rho$ coeficiente de reflexión del elemento refractivo (paredes)

$d_1$ distancia entre el LED y el elemento de reflexión

$d_2$ distancia entre el elemento de reflexión y el usuario

$\Phi_k$ y $\varphi_k$ ángulo de irradiación y el ángulo de incidencia entre el LED y el elemento reflectante, respectivamente

$\Phi_k$ y $\psi_k$ ángulo de irradiación y el ángulo de incidencia entre el elemento reflectante y el usuario, respectivamente

**Receptor VLC**

En el receptor, el PD, es un diodo sensible a la intensidad de la luz, que puede convertir la luz recibida en una corriente modulada por la intensidad de la luz recibida. Los PD disponibles en el mercado pueden tomar fácilmente muestras de la luz visible recibida a una velocidad de decenas de MHz. Y la potencia óptica en el receptor vendría dada por:

$$P_r = \sum_{i=0}^{N} \int_{\lambda_{rL}}^{\lambda_{rH}} S_r(\lambda)\, R_f(\lambda)\, d\lambda \qquad (3)$$

donde: $\lambda_{rL}$ y $\lambda_{rH}$ son la longitud de onda inferior y superior del filtro óptico en el receptor, a partir de los 380 nm a los 780 nm[13] $S_r(\lambda)$ y $R_f(\lambda)$ son la densidad de potencia radiante de la fuente y la recibida, respectivamente. Este filtro óptico, influye con una ganancia: $g_f(\psi_k)$, el photo-detector tendrá un área efectiva.

$$A_{efc} = \frac{q^2 * A_{PD}}{sin^2(\theta_{FOV})} \qquad (4)$$

**2 Técnicas de acceso al medio**

Los sistemas VLC pueden utilizar diferentes técnicas de multiplexación y de acceso al medio, tales como: Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (*orthogonal frequency-division multiplexing*, OFDM) que ha sido usado ampliamente por 4G donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total. En OMA se realizan la asignación de recursos (frecuencia, tiempo, código, potencia, etc..) de forma ortogonal. Mientras NOMA es una interesante técnica de acceso múltiple que permite soportar Múltiples usuarios compartiendo un mismo recurso.

**Descripción del escenario vlc**

Para realizar el análisis del impacto que puede tener la variación de los diferentes FoV en los niveles de potencia e interferencia, se realiza la simulación de un sistema VLC en un escenario relativamente sencillo con las

siguientes características: una habitación de dimensiones 5m x5mx3m iluminada por dos LED (AP trasmisores) y cuatro usuarios móviles (PD dispositivo receptor), donde cada usuario móvil esta físicamente en el área descrita. En la Tabla 1 se resumen los parámetros usados en las simulaciones.

Tabla 1: Parámetros de la simulación

| Nombre del parámetro | símbolo | valor |
|---|---|---|
| Dimensiones de la habitación | l x a x h | 5 x 5 x 3 $m^2$ |
| Separación vertical entre los LED y PD | d | 2.15 m |
| Semi-angulo de radiación | $\Phi_{1/2}$ | $70^0$ |
| Altura del plano de recepción [14] | *D* | 0.85 m |
| Potencia óptica de los LED[14] | Po | 10 W |
| Ancho de banda de la señal[14] | B | 20 MHz |
| Densidad espectral de potencia de ruido[14] | $N_0$ | $1*10^{-21}$ $A^2$ / Hz |
| Área física del PD | $Ap_D$ | 1 $cm^2$ |
| Angulo del FoV | $\Phi$ | $40^0$ _ $65^0$ |
| Índice de refracción[14] | N | 1.5 |
| Coeficiente de reflexión (paredes) | $\rho$ | 0.8 |
| Ganancia del filtro óptico | $g_f$ | 1 |
| Responsividad de los PD[14] | $R_{PD}$ | 0.53 A / W |
| Posiciones aleatorias de los usuarios | Unidades | 1000 |

**3 Niveles de cobertura y potencia, modelo LOS**

En un primer análisis, con un modelo LOS se analiza la configuración cuando el campo de visión del usuario móvil toma un valor de $40^0$. Según la Figura 2 se muestran las zonas de cobertura y de interferencia para un usuario con FoV de 40° y 55°. Por ejemplo, en este caso hay zonas sin cobertura, zonas con cobertura exclusiva de un AP y zonas cubiertas por dos AP (zonas con interferencia).

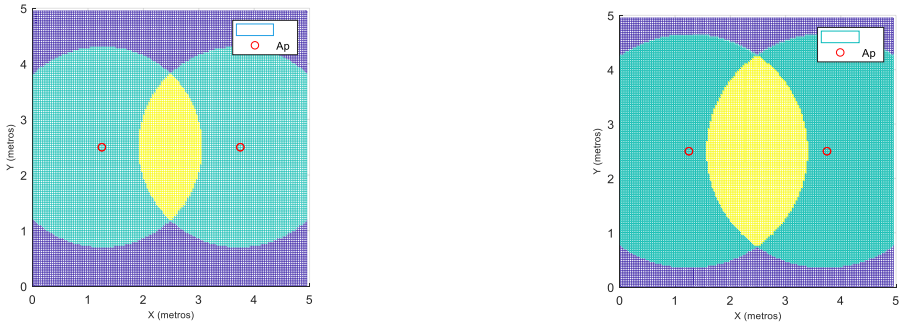
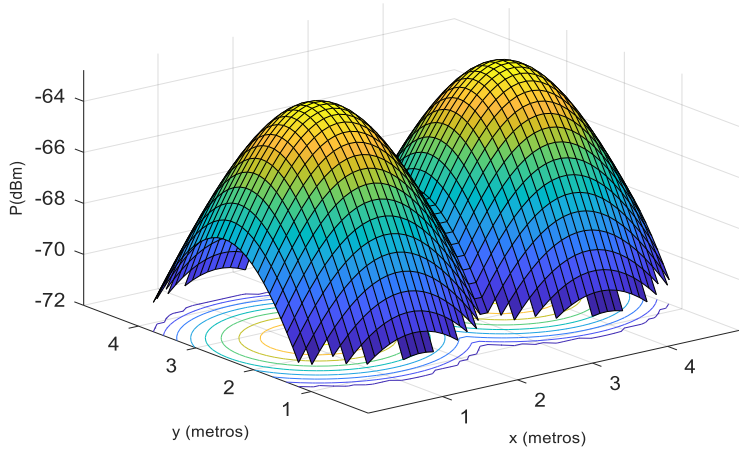



Figura 2: Áreas de cobertura por cada AP para un FoV = $40^0$ y $55^0$ en trayecto LOS

La Figura 3 muestran los valores de distribución de potencia utilizable en el plano de recepción con trayectos LOS, de acuerdo a la ganancia de canal, representada en la fórmula (1). Con un campo de visión de 40° los niveles de potencia utilizable que se experimentan en el plano de recepción, para el enlace de descarga, oscilan entre -71.2 < P(dBm) < -62.7




.

Figura 3: Vista tridimensional de los niveles de potencia utilizable para FoV = $40^0$, en trayecto LOS

**4 Modelo de canal NLOS, Distribución de niveles de potencia**

En el modelo con trayectos de líneas NLOS, la distribución de los niveles de potencia utilizable en el plano de recepción para un usuario móvil, se realizan a partir de la fórmula de ganancias de canal óptico con las primeras reflexiones, de acuerdo a la ecuación (2). Por ejemplo, para campos de visión iguales a 55°, el rango de potencias está entre -79 y -67 dBm, anteriormente debe notarse que el rango correspondiente para el modelo LOS está entre -82 y -67 dBm. Considerando el valor de 40° al aplicar el modelo NLOS, implica que la cobertura es total en el plano de recepción, al eliminarse las zonas "oscuras", y elevarse el nivel medio de interferencias según se muestra en la Figura: 4. Resultado similar se aprecia para FoV iguales a 55° en términos de aplanamiento del mapa de potencias en el plano de recepción (ver Figura 5).

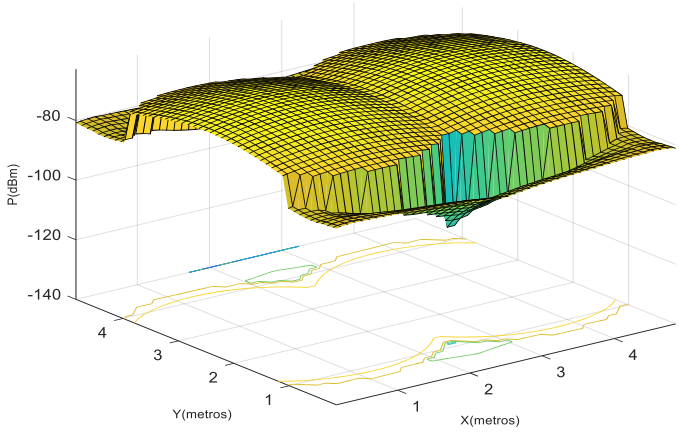



Figura 4: Vista tridimensional de la distribución de niveles de potencias para FoV = $40^0$, en NLOS.

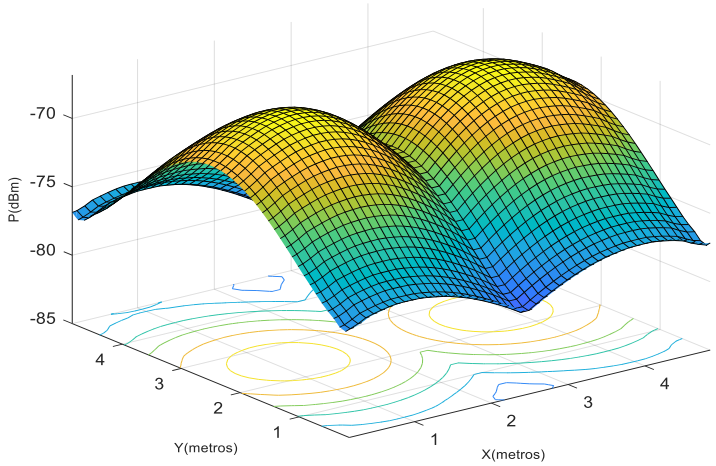



Figura 5: Distribución de potencias ópticas para FoV = 55° en NLOS.

Teniendo en cuenta, los análisis realizados, se aprecia el impacto directo que tiene el cambio del parámetro FoV en aspectos tales como, las áreas de cobertura y las ganancias de canal. Estos, a su vez, repercuten en otros aspectos como; los niveles de señal en el plano de recepción y los niveles de interferencia. Estos resultados parciales, estimulan el estudio del desempeño del sistema cuando se ajusta el campo de visión del receptor tanto para el modelo LOS como para el modelo NLOS. En varias investigaciones [5], [9] se ha considerado el modelo LOS, sin embargo, el modelo NLOS, permite resultados más realistas en aquellos escenarios donde existen elementos reflexivos con un factor de reflexión alto.

**5 Limites Alcanzables de Datos**

La ganancia del canal óptico para VLC se modela como un modelo Lambertiano en el que la ganancia es invariable en el tiempo, pero se ve afectada por parámetros geométricos como la ubicación del transmisor y el receptor óptico. Debido a las diferencias entre los sistemas RF y los sistemas VLC, la distribución de capacidad de ganancia no tiene por qué ser gaussiana. Como consecuencia, algunos autores cuestionan el hecho de que la ecuación de Shannon, comúnmente derivada y utilizada por los sistemas de RF, se apliquen a los sistemas VLC. Sin embargo, en la presente investigación, al igual que en [15] se utiliza la ecuación de Shannon, teniéndose en cuenta que son más relevante los resultados relativos que los valores absolutos de capacidad, reflejado lo anterior de la siguiente manera: B ancho de banda de la señal, con un valor de 20 MHz.

$$R = Blog_2(1 + SINR) \quad (5)$$

La velocidad de transmisión [9] y la razón de error de bits [4] han sido medidas usadas frecuentemente para evaluar el desempeño de los sistemas VLC en enlaces interiores con solo LOS. En la figura 6, que se muestra a continuación se presenta el uso de la función de distribución acumulativa (CDF) correspondiente a ambos enlaces de descarga de datos cuando se considera el modelo LOS y cuando se considera el modelo NLOS (para LOS línea azul, NLOS línea roja), para valores de FoV igual a 40°. Se toma como métrica a analizar la velocidad media de transmisión en los enlaces ópticos.

En cada ejecución del experimento, se genera una posición aleatoria para un único usuario. La CDF se obtiene a partir de 1000 ejecuciones empleando el método de Monte Carlo, primeramente, con un campo de visión óptico de $40^0$ después para $55^0$ y terminando en $65^0$. Para un FoV de 40° la velocidad media considerando el modelo LOS, es de 205.856 Mbps; para el modelo NLOS sería de alrededor de 166.26 Mbps. Debe notarse, que la curva representativa de la CDF normalizada se divide en tres segmentos: El primer segmento (velocidades de transmisión cercanas a cero) corresponde a la zona sin cobertura.
El segundo segmento representa la zona con cobertura de ambos AP (zona con interferencia), y el tercer segmento corresponde a la zona con cobertura exclusiva de un solo AP (zona sin interferencia).

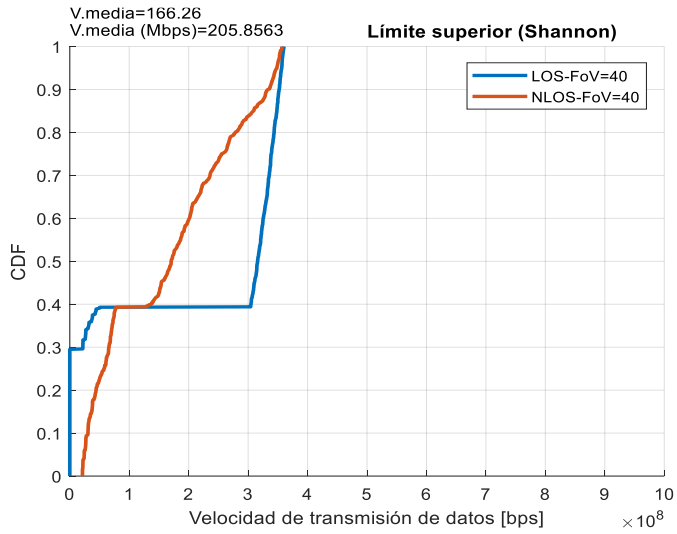



Figura 6: Representación de la CDF, gráfica del límite superior alcanzable con FoV = 40

El hecho de que la velocidad media de datos para el modelo LOS sea mayor a las que se logran en el modelo NLOS para 40° demuestra la poca área de cobertura de la celda óptica, y el bajo impacto de la interferencia intercelda,
A medida que aumenta el FoV, la cobertura en la habitación recibe una mejoría, experimentándose velocidades de datos que van en aumento junto con la cobertura, hasta el momento en que la interferencia empieza a influir más negativamente en el sistema. Una vez que esto ocurre, los valores de velocidad de transmisión comienzan a sufrir una disminución considerable, esta fluctuación de las velocidades medias de datos con las variaciones del FoV, queda recogida en el siguiente gráfico de. En la Figura 7 se aprecia como fluctúa la métrica en análisis con el ajuste progresivo de todo el FoV. Intuitivamente, el aumento del FoV mejora la cobertura, pero también trae aparejado un aumento del nivel de interferencia interceda en la habitación, lo que constituye una primera relación de compromiso.

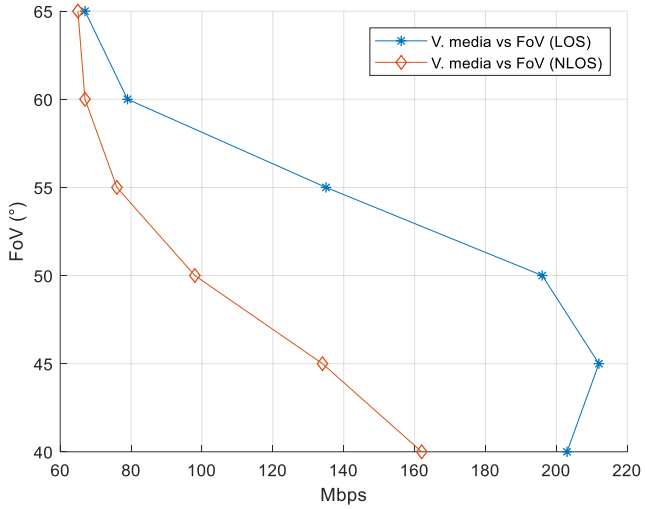



Figura 7: Fluctuación de la velocidad media en trayectos LOS y NLOS.

En cuanto al efecto de variar el FoV desde 40° a 45°, la velocidad de transmisión aumenta a 210 Mbps. De $45^0$ a 50° la velocidad de transmisión se reduce a 195 Mbps, como consecuencia del aumento de la zona de interferencia. Aunque la modificación del FoV tiene un impacto sobre la velocidad de transmisión, este impacto es mucho menor que el que se produce como consecuencia del incremento de la interferencia.

**6 Rendimiento de usuarios y Velocidades alcanzables**

En el enlace de descarga de los sistemas ópticos de VLC se tiene en cuenta, como métrica de desempeño la velocidad de datos alcanzables y esta, a su vez depende directamente de la SINR. Hay que tener en cuenta los ruidos que experimenta la señal óptica que llegan a los receptores móviles, los cuales son representados y modelados a través del ruido blanco aditivo gaussiano (*Noise White adityd Gaussian*, AWGN) [12] el cual presenta una varianza total $'\sigma^2_{ruido}'$ . Y una densidad espectral de potencia PSD '$N_0$ '; notado en la tabla de parámetros 1. La ecuación 7 representa la SINR que experimenta un usuario cualquiera en un escenario NOMA VLC con múltiples usuarios y múltiples celdas, sin cooperación entre los AP.

$$SINR, Uij = \frac{h_{ij}^2 P^2 \alpha_{ij}^2}{P^2 \sum_{\emptyset \neq i} h_{\emptyset j}^2 + h_{ij}^2 P^2 \sum_{k>j} \alpha_{ik}^2 + \sigma_n^2} \qquad (7)$$

Donde:
*P*= Potencia óptica de cada AP *( en este trabajo se asume igual potencia en cada AP), Uij* se refiere al usuario que ocupa la posición *j* en el orden de decodificación en la celda *i* y $\alpha_{ij}$ se refiere a la fracción de la potencia asignada al usuario *j* en el *AP i.* Los tres términos del denominador, de izquierda a derecha, representan la interferencia entre celdas, la interferencia intracelda y el ruido, respectivamente. La ecuación 8 permite calcular el límite de Shannon para la razón de transmisión del usuario en cuestión.

$$Rtx, Uij = Blog_2(1 + SINR, Uij) \qquad (8)$$

Es importante señalar, a partir de las ecuaciones 7 y 8, que la razón de transmisión es directamente proporcional a la SINR. Por su parte, la SINR está determinada en gran medida por el campo de visión del receptor (FoV) y por la

distribución de los usuarios entre las diferentes celdas. Ahora se estudia el efecto que tiene la distribución de usuarios entre las diferentes celdas que componen un sistema NOMA con múltiples usuarios y múltiples celdas. En el estudio del impacto del manejo de la interferencia en los sistemas VLC, desde un sistema con cuatro usuarios móviles que implementan NOMA en el dominio de la potencia, se analiza lo que sucede con la métrica de razón de trasmisión de datos en función de la interferencia. La distribución de la potencia entre los usuarios de una misma celda se realiza mediante GRPA. En las Figuras 8 y 9 se exponen los resultados obtenidos mediante las simulaciones, por un esquema de ordenamiento y selección, mediante la secuencia normalizada de la CDF, empleando el modelo de canal NLOS y campos de visión en los usuarios de 55°. En máxima razón suma (MRS) y asignación justa (AJ).

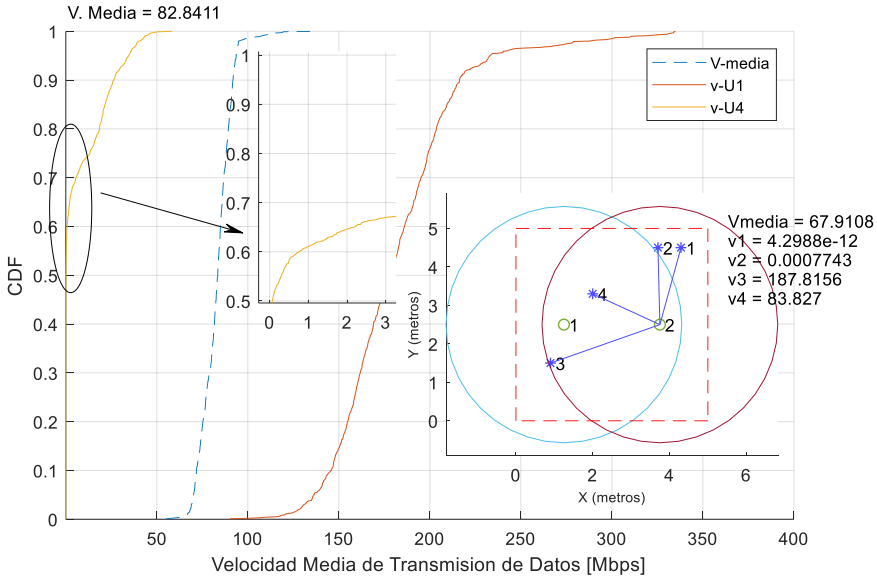



Figura 8: Resultados con MRS, FoV = $55^0$

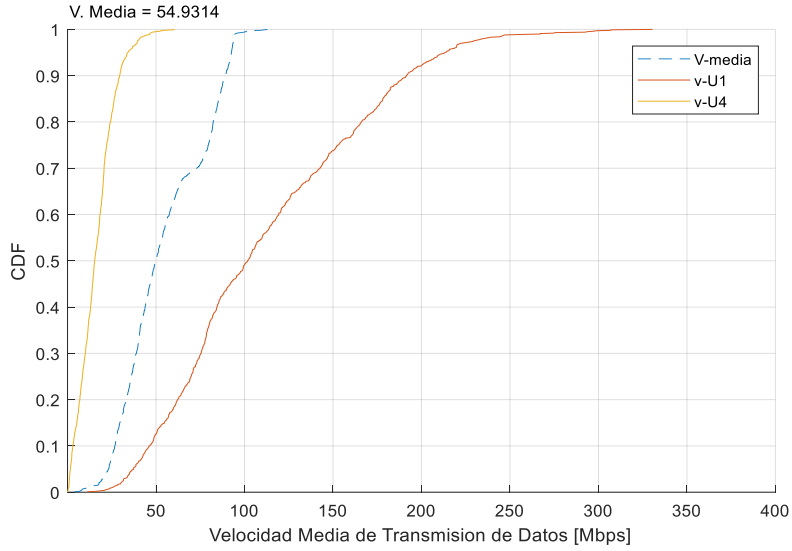



Figura 9: Resultados con AJ, FoV = $55^0$

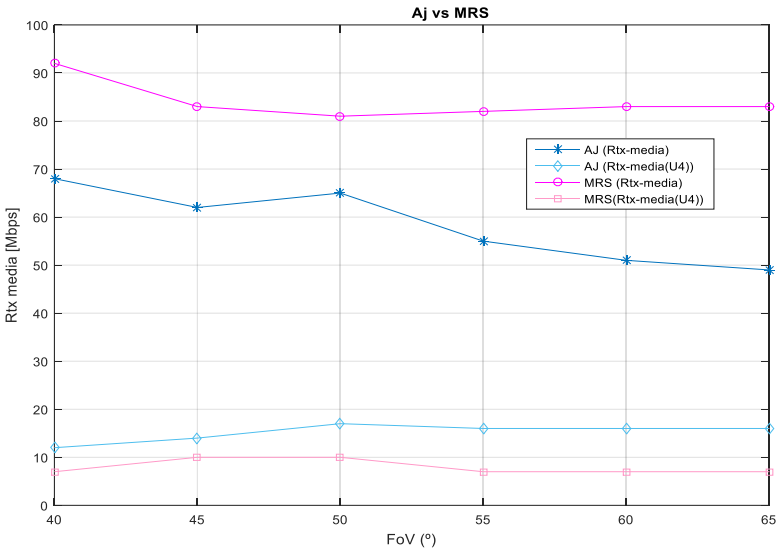



Figura 10: Razones medias de Transmisión

## 7 CONCLUSIONES

Se realizó una breve caracterización de los sistemas VLC, sus componentes, principales ventajas y desventajas, así como sus aplicaciones, entre las que destaca el acceso a Internet de alta velocidad en interiores para teléfonos inteligentes y ordenadores. Se describieron diferentes mecanismos de asignación de potencia que tienen un impacto en los niveles de interferencia, ente los cuales hay características realmente novedosas e interesantes, pero cuya implementación puede llegar a ser realmente costosa y complicada. Se ha podido comprobar de forma experimental, mediante simulación, que para un escenario de interiores como el propuesto con un coeficiente de reflexión de 0.8 en las paredes, resulta conveniente aplicar el modelo NLOS si se pretende que los resultados tengan un adecuado nivel de precisión. La distribución de usuarios y el ajuste del FoV modifican los niveles de interferencia en el sistema. Los resultados obtenidos mediante las simulaciones, análisis de gráficas de cobertura e interferencias, niveles de potencia utilizable y SINR; permiten comprobar que los ajustes del FoV y la distribución de usuarios entre las celdas, tienen un impacto significativo en el desempeño de sistemas VLC para interiores.

Elegir la combinación MRS permite obtener elevadas razones de transmisión suma con medias que superan entre 0.2 hasta 0.4 veces las que resultan de aplicar el criterio AJ. Por otra parte, AJ permite escoger las combinaciones que benefician en más de 2 veces la razón del usuario menos favorecido. La elección de uno u otro criterio depende de si se persigue alcanzar altos niveles de caudal en el sistema o adecuados índices de justicia.

## RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecer al Profesor Mrsc. Carlos Rodríguez y a todos los que ayudaron de una manera u otra a la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Shashikant, P. Garg, y P. K. Sharma, «Interference mitigation technique with coverage improvement in indoor VLC system», *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 30, n.º 2, Art. n.º 2, 2019, doi: 10.1002/ett.3511

2. Z. Chen, D. A. Basnayaka, y H. Haas, «Space Division Multiple Access for Optical Attocell Network Using Angle Diversity Transmitters», *J. Light. Technol.*, vol. 35, n.º 11, pp. 2118-2131, jun. 2017, doi: 10.1109/JLT.2017.2670367
3. E. Balevi y R. D. Gitlin, «Pareto optimization for uplink NOMA power control. In 2018 Wireless Telecommunications Symposium (WTS) (pp. 1-5). IEEE. (2018, April)», 6 de junio de 2022. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8363931
4.H. Marshoud, V. M. Kapinas, G. K. Karagiannidis, y S. Muhaidat, «Non-orthogonal multiple access for visible light communications. IEEE photonics technology letters, 28(1), 51-54. 2015», 17 de febrero de 2022. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7275086
5.S. Tao, H. Yu, Q. Li, y Y. Tang, «Performance analysis of gain ratio power allocation strategies for non-orthogonal multiple access in indoor visible light communication networks», *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2018, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1152-z
6. Y. Fu, Y. Hong, L.-K. Chen, y C. W. Sung, «Enhanced power allocation for sum rate maximization in OFDM-NOMA VLC systems. IEEE Photonics Technology Letters, 30(13), 1218-1221.», *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 30, n.º 13, Art. n.º 13, jul. 2018, doi: 10.1109/LPT.2018.2839094
7. «Yang, Z., Xu, W., & Li, Y. (2016). Fair non-orthogonal multiple access for visible light communication downlinks. IEEE wireless communications letters, 6(1), 66-69.», 15 de junio de 2022. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7752879
8. H. Shen, Y. Deng, W. Xu, y C. Zhao, «Rate maximization for downlink multiuser visible light communications. IEEE access, 4, 6567-6573. 2016», 17 de febrero de 2022. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7579603
9.C. A. R. López y V. A. Reguera, «Simple Fair Power Allocation for NOMA-Based Visible Light Communication Systems. preprint arXiv:2112.04410.», 8 de diciembre de 2021.
10.B. Llanos Flores, «Visible light communications (VLC)», Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2015. Accedido: 31 de marzo de 2023 https://upcommons.upc.edu/handle/2117/85653
11.M. Vaezi, Z. Ding, y H. V. Poor, Eds., Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond. Cham: Springer International Publishing, 2019. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-92090-0
12.M. Uysal, C. Capsoni, Z. Ghassemlooy, A. Boucouvalas, y E. Udvary, Optical Wireless Communications: An Emerging Technology. Springer, 2016
13.K. Sripimanwat, P. Sangwongnam, N.-H. Nguyen, T.-C. Bui, y V.-T. Nguyen, «Visible light communications: principle, potential, and challenges», EECON36, 2013
14.O. Mohanad, M. S. Anas, S. A. Mohamed, y A. Z. Salam, «On Optimizing VLC Networks for Downlink Multi-User Transmission: A Survey», 7 de marzo de 2021. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8669813
15.S. Rajbhandari et al., «A review of gallium nitride LEDs for multi-gigabit-per-second visible light data communications», Semicond. Sci. Technol., vol. 32, n.o 2, Art. n.o 2, 2017

**SÍNTESIS CURRICULAR DEL AUTOR**

Eric Armando Rojo Martin CI: 73092413640, 24 de septiembre de 1973, Santa Clara, Cuba. Graduado de Ing: Telecomunicaciones y Electrónica en la Central de Las Villas “Marta Abreu” UCLV el 16 julio 2004, Msc en Julio 2024 UCLV. Cursó Estudios en el Centro de Adiestramiento Aviación y el Laboratorio de Investigaciones de Tecnologías Aeronáuticas, LITA, Habana; Diplomado Administración de Redes 2017, Diplomado Redes de Comunicaciones 2020 UCLV, Xl Congreso Internacional de Telecomunicaciones y Telemática (CITTEL 2022). Publicaciones: Revista Cubana de Navegación Aérea ECNA y participación en Fórum de Ciencia y Técnica a nivel de Empresa. Trabaja en Empresa Cubana de Navegación Aérea. UEB Santa Clara. Se desempeña también como profesor en el departamento de Telecomunicaciones UCLV, especialidad Telecomunicaciones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Implementación de plataforma de laboratorio con acceso remoto sobre Raspberry PI 4 compatible con los dispositivos Excellway RTL-SDR y ADALM-PLUTO SDR.

**Luis Rolando Roba Iviricu[1], José Manuel Díaz Hernandez[2], Elizabeth Duarte Pérez[3]**

[1]Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz, Martí #270 final, [2]Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz, Martí #270 final, [3]Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz, Martí #270 final,
[1]e-mail:luis.roba@upr.edu.cu, [2]e-mail:jman@upr.edu.cu, [3]e-mail:elizabet@upr.edu.cu

**RESUMEN**

El siguiente trabajo aborda uno de los temas que mayor impacto tiene en la actualidad en el campo de las telecomunicaciones, nos referimos a las Tecnologías de Radio Definida por Software; la cual está llamada a revolucionar la forma en que nos comunicamos e interactuamos con el mundo que nos rodea. Es la versatilidad en su implementación en diferentes plataformas la que ha conducido al resultado del presente trabajo utilizando para ello la tecnología Raspberry PI. El objetivo del trabajo fue haciendo uso del sistema operativo optimizado PiSDR llegar a realizar la gestión, configuración y puesta a punto de un sistema receptor en esta ocasión validando la compatibilidad con dispositivos RTL-SDR y ADALM-PLUTO.EL resultado final es de gran importancia ya que culmina con la solución de un laboratorio experimental para la prueba y desarrollo de aplicaciones sobre este sistema además de constituir el primer acercamiento a un laboratorio remoto debido al uso de software de gestión remota de nuestro sistema.

**PALABRAS CLAVES:** Radio Definida por Software, PiSDR, plataforma remota de laboratorio.

**Implementation of a laboratory platform with remote access on Raspberry PI 4 compatible with Excellway RTL-SDR and ADALM-PLUTO SDR devices.**

**ABSTRACT**

The following work addresses one of the topics that currently has the greatest impact in the field of telecommunications, we refer to Software Defined Radio Technologies; which is called to revolutionize the way we communicate and interact with the world around us. It is the versatility in its implementation on different platforms that has led to the result of this work using Raspberry PI technology. The objective of the work was to use the optimized PiSDR operating system to manage, configure and fine-tune a receiving system, this time validating compatibility with RTL-SDR and ADALM-PLUTO devices. The final result is of great importance. since it culminates with the solution of an experimental laboratory for the testing and development of applications on this system in addition to constituting the first approach to a remote laboratory due to the use of remote management software for our system.

**KEY WORDS:** Software Defined Radio, PiSDR, remote laboratory platform.

## INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones sin lugar a duda experimentan un crecimiento y desarrollo constante a la par de la tecnología, provocando que el ser humano las aproveche de una manera más eficiente, confiable y sofisticada en el ámbito laboral, educación, salud, entretenimiento o cualquier otra situación que representa comunicación.

Dentro del amplio estudio de las telecomunicaciones encontramos diferentes equipos y sistemas de comunicación al servicio de la sociedad; actualmente una de las tecnologías que avanza a gran escala son las comunicaciones inalámbricas, acelerando la obsolescencia de los dispositivos de comunicaciones al poco tiempo de su producción.

La radio definida por software (SDR), es una tecnología en rápida evolución que ha atraído una atención significativa en los últimos años debido a su potencial para revolucionar la forma en que nos comunicamos e interactuamos con el mundo que nos rodea.

Al aprovechar el poder del software para reemplazar los componentes de hardware tradicionales, permiten crear sistemas de radio altamente adaptables y personalizables capaces de procesar una amplia gama de frecuencias y protocolos de comunicación.

Esta flexibilidad ha abierto un mundo de posibilidades en el ámbito profesional, lo que ha dado lugar a un aumento de las aplicaciones innovadoras y la investigación pionera de diferentes alternativas de servicios.

SDR es un sistema de radiocomunicación donde la mayor parte de los componentes necesarios se implementan en software en lugar de en hardware. [1]

Al utilizar esta tecnología, se implementa un receptor de cero frecuencia intermedia (Zero IF) o baja IF, configurable de tal manera que puede utilizarse para diseñar distintos componentes como mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores/demoduladores y detectores entre otros, e incluso sistemas completos tales como osciloscopios, analizadores de espectros o analizadores vectoriales de redes, siendo sus parámetros configurables dinámicamente y por consiguiente aportando una gran flexibilidad a la hora de realizar un sistema de radiocomunicación.

Debido a su versatilidad permiten gestionarse en diferentes plataformas tanto software como hardware incluyendo el mundo de los Raspberry PI.

Haciendo referencia a ellos, constituyen una familia de ordenadores monoplaca u ordenadores de placa simple (SBC por las siglas del anglicismo Single Board Computer) de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation. [2]

Hay una serie de distribuciones derivadas de versiones oficiales, como Raspberry Pi OS (Raspbian), sistema operativo oficial de estos dispositivos, aunque LibreELEC, Ubuntu Desktop, LineageOS y PiSDR, siendo este último el seleccionado debido a la gran colección de software pre-instalados además de ser compatible con una gran variedad de dispositivos SDR. [3]

El auge experimentado por la tecnología SDR en los años recientes puede ser constatado a partir del crecimiento de la documentación científico-técnica que reportan el desarrollo de múltiples aplicaciones de radio en las que el peso de las soluciones mediante software resulta cada vez mayor y, aunque todavía hay áreas que no se explotan a profundidad, se continúa trabajando en su desarrollo y aplicación. [3-6]

En este sentido se han venido dando pasos importantes principalmente en el número de investigaciones realizadas sobre la tecnología SDR en nuestro país, sin embargo, resulta ínfimo y más allá de ciertas publicaciones meramente teóricas, no se cuentan con resultados concretos que señalen sistematicidad en su desarrollo.

En la universidad de Pinar del Río se ha tenido la experiencia de realizar proyectos con los SDR de bajo costo de nominados dispositivos RTL-SDR como la recepción de señales APT de los satélites meteorológicos de órbita polar NOAA, un receptor de radio en FM utilizando el dispositivo ADALM-PLUTO; apoyándose todos estos proyectos tanto en Matlab como en sistemas operativos de los proyectos de Ubuntu y Debian.

Unido a ello conocemos que la introducción de herramientas tecnológicas en la educación ha generado entornos que simplifican la transmisión de conocimiento hacia nuestros estudiantes. Como es conocido en nuestra disciplina existen carencias por el acceso a los dispositivos necesarios para desarrollar actividades prácticas que realmente sean desarrolladoras por lo que la opción de laboratorios remotos gana terreno al ofrecer la oportunidad de experimentar con equipos especializados de manera remota y con mayor acceso en su interacción.

## DESARROLLO

### Primeros pasos hacia la implementación.

En la figura 1 se muestra de manera detallada cada uno de los componentes de nuestra propuesta y sus diferentes conexiones. En un principio utilizamos nuestra Raspberry PI para la instalación del sistema PiSDR y una vez hecho esto probamos por separado la gestión de ambos dispositivos RTL-SDR solo para recepción y en un segundo momento el ADALM-PLUTO SDR este con funcionalidades de Transmisión y recepción. La idea fundamental es el de poder gestionar mediante el software pre-instalado y optimizado SDR++ poder realizar la configuración de ambos para lograr una correcta recepción en un principio de señales de radiodifusión de emisoras en frecuencia modulada en la cabecera

provincial. Posteriormente validamos entonces el acceso vía remota a nuestro sistema mediante conexión de red LAN en computadora con VNC Viewer instalado y configurado. [8]
Tomando como referencia el diagrama esquemático se inicia con el módulo de escaneo de frecuencias del espectro radioeléctrico, se ha elegido ADALM-PLUTO SDR y el RTL-SDR como módulos electrónicos para esta tarea.

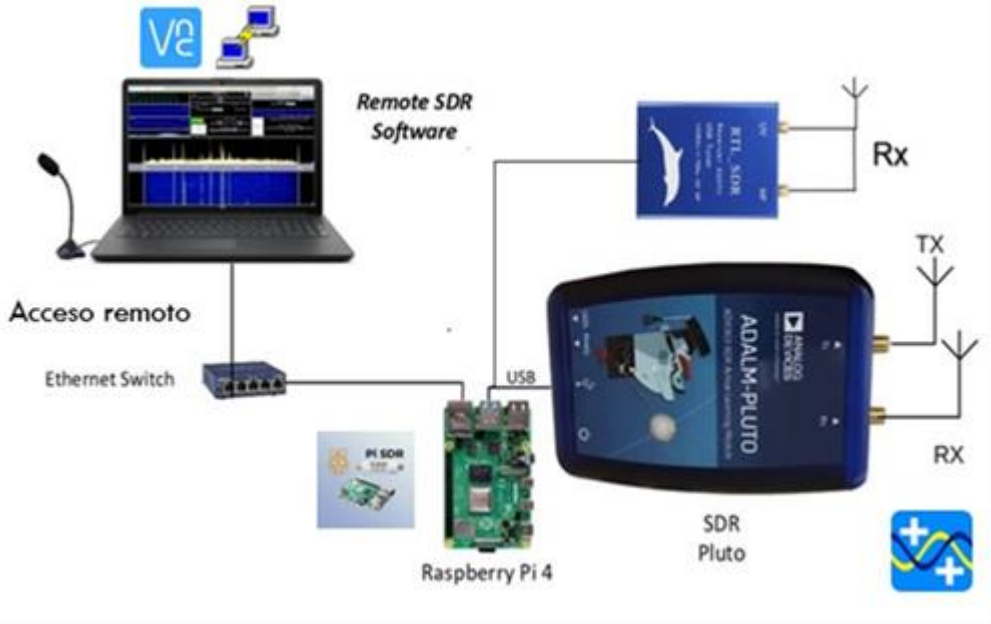



Figura 1: Esquema general de nuestro sistema Transmisor/Receptor con PiSDR y Raspberry PI 4.

**Módulo de escaneo de frecuencias**
Tomando como referencia el diagrama esquemático se inicia con el módulo de escaneo de frecuencias del espectro radioeléctrico, se ha elegido ADALM-PLUTO SDR y el RTL-SDR como módulos electrónicos para esta tarea, como podemos observar en la figura 2.

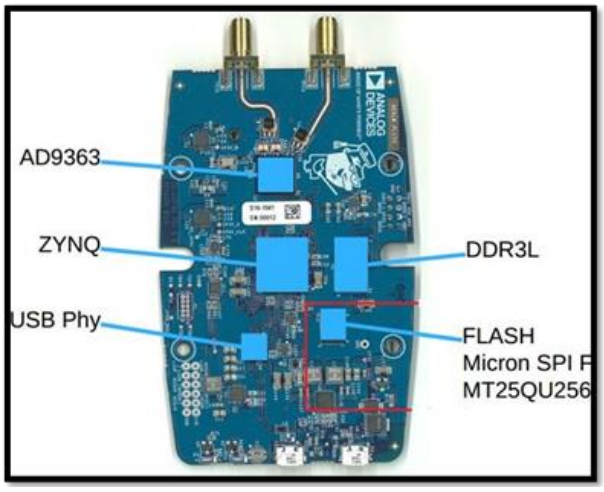



Figura 2: Esquema interior del dispositivo ADALM-PLUTO SDR.

La descripción de las ocho etapas que conforman el módulo de escaneo de frecuencias dentro de su funcionamiento se detalla a continuación:

1. Alimentación DC, empieza con un suministro de alimentación de corriente directa de 5 voltios nominales (4.5 – 5-5 V) para el normal funcionamiento.

2. Memoria Flash QSPI, es un dispositivo de memoria de entrada / salida múltiple de alto rendimiento en serie, permite duplicar o cuadriplicar el ancho de banda de transferencia para operaciones de lectura y programación.
3. Procesador Xilinx Zynq – 7000, es un procesador basado en arquitectura ARM, dentro de la categoría SoC, permite aceleración de hardware, posee dos núcleos permitiendo amplia gama de aplicaciones integradas con un eficiente rendimiento.
4. Memoria DDR3L, es una memoria de alta velocidad que permite lectura y escritura en una sola operación y ciclo de reloj orientado a ráfagas.
5. Transceptor AD936x, dispositivo integrado que posee un módulo de transmisión y recepción compartido, integrado con un conversor Análogo Digita / Digital Análogo de 12 bits, banda de transmisión desde los 47 MHz hasta los 6.0 GHz y banda de recepción desde los 70 MHz hasta los 6.0 GHz.
6. USB 2.0, es una interfaz Bus Serial Universal de alta velocidad (480 Mbps), diseñado para una integración fácil y rápida con cualquier sistema en un chip SoC, soporta capacidades avanzadas en implementaciones de alto rendimiento.
7. Antena de Recepción GSM.
8. Antena de Transmisión GSM. [8-15]

**Módulo central de procesamiento**

En la siguiente etapa, correspondiente al Módulo central de procesamiento como vemos en la figura 3, intervienen una placa electrónica Raspberry Pi 4 B, que aloja el sistema operativo, PiSDR que es el sistema operativo elegido y el software de procesamiento de señales GNU Radio Companion además de SDR ++. Se los detalla a continuación. La placa electrónica Raspberry Pi 4 B, es un dispositivo que integra varios módulos de procesamiento, comunicación, envío de datos y almacenamiento; en la siguiente imagen se muestra los módulos que lo integran.

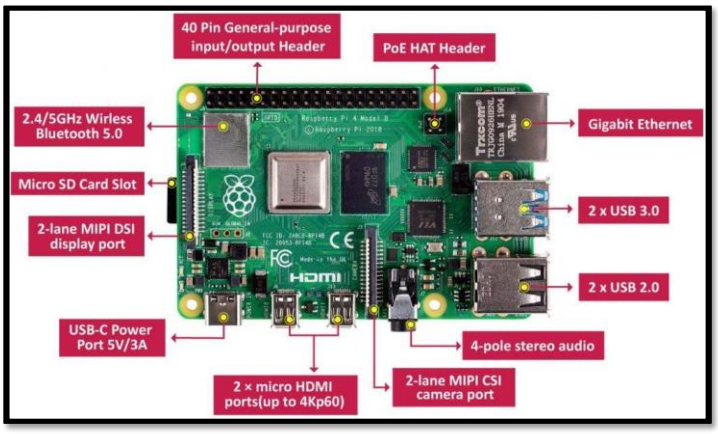



Figura 3: Microcomputador Raspberry Pi 4 B.

La descripción de los principales componentes como el procesador, la memoria RAM, conectividad inalámbrica y demás partes que conforman el microcomputador Raspberry Pi 4 se detalla a continuación:

1. Procesador, equipado con el microcontrolador Broadcom BCM2711, un ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos, 64 bits y 1.5 GHz de frecuencia, posee un rendimiento óptimo dentro de un diseño compacto y ligero. Soporta y es compatible con varios sistemas operativos de distribución libre y licenciados.
2. Memoria RAM, equipado con memoria Micron LPDDR4, SDRAM de bajo consumo con capacidad de 8 Gigabytes que permite una demanda de trabajo en aplicaciones relativamente alta.
3. Conectividad inalámbrica, soportado por el chip Cypress CYW43455 que proporciona conectividad con los estándares IEEE 802.11.b/g/n/ac de banda dual de 2.4 y 5 GHz y Bluetooth versión 5.0.

4. Alimentación de la placa, se alimenta con 5 voltios de corriente directa y el transformador puede proporcionarle hasta 3 amperios de corriente, la placa dispone de USB – C, además puede alimentarse con 5 V DC desde una fuente PoE.
5. Gigabit Ethernet, interfaz de red con capacidad de transmisión de datos de 1 Gigabit por segundo.
6. Puertos Entrada / Salida, posee 40 pines GPIO, 2 puertos HDMI, 2 puertos USB 2.0 y 2 puertos USB 3.0.

**PiSDR**

Es una distribución linux para usar con una Raspberry Pi y compatible con muchos receptores SDR. Fue creado para servir como arranque rápido y confiable para proyectos SDR. PiSDR es un sistema operativo basado en Raspbian para la Pi con múltiples programas SDR precargados. Se ha creado así para tener una zona de trabajo todo en uno. En la figura 4 podemos observar el ambiente de este sistema.



Figura 4: Ambiente gráfico general del sistema operativo PiSDR.

Lista de programas incluidos:

- UHD
- GQRX
- GNURadio
- LimeVNA
- Soapy Remote
- Soapy
- SDR Angel
- LimeSuite
- RTLSDR-Airband
- LimeSDR_toolbox
- osmo-fl2k
- hamlib
- VaporTrail
- Universal Radio Hacker
- FoxTelem
- Quisk
- 0xCoto/VIRGO
- 0xCoto/CygnusRFI
- F5OEO/rpitx
- merbanan/rtl_433
- TLeconte/acarsdec
- gpredict

- EliasOenal/multimon-ng
- pabr/leansdr
- QtDAB
- IIO Oscilloscope
- RTL-AIS
- Inspectrum
- WSJT-X
- nrsc5
- xwxapt
- GLRPT
- SDR++**Radios**

Actualmente funciona con estos dispositivos SDR:

- RTL-SDR
- LimeSDR USB
- LimeSDR Mini
- LimeNET Micro
- PlutoSDR
- Airspy R2
- Airspy Mini
- Airspy HF Discovery
- Airspy HF+
- HackRF One
- USRP
- SDRplay

**VNC viewer**

Virtual Network Computing o (Computación Virtual en Red, es un software de código libre de tipo cliente servidor que permite ver la pantalla del ordenador servidor y controlarlo en uno o varios ordenadores clientes sin importar que sistema operativo pueda ejecutar el cliente o el servidor, podemos ver la pantalla y controlar el equipo del que ejecuta el servidor desde el cliente.

Este software fue creado por Olivetti y Oracle basado en el protocolo RFB. Con el VNC se puede conectar prácticamente desde cualquier dispositivo a cualquier otro que ejecute la aplicación servidor, que está disponible para Windows, macOS, Linux, Raspberry Pi, Solaris, HP-UX y AIX, el software para la visualización de la máquina que ejecuta el servidor se llama visor de VNC y está disponible para iOS, Android y Chrome, además de los antes mencionados. [18]

El funcionamiento de VNC a través del protocolo RFB consiste en enviar pequeños rectángulos hacia el dispositivo cliente formando la pantalla que veremos en él. Dado esto se han construidos varios métodos para reducir el ancho de banda ya que esto podría ocupar bastante caudal de tu conexión a internet. El método más usado es enviar los datos de los píxeles en orden de izquierda a derecha y una vez formada la pantalla, solo enviar los datos de píxeles que se han modificado, este método reduce enormemente el tráfico de datos y ancho de banda.[18]

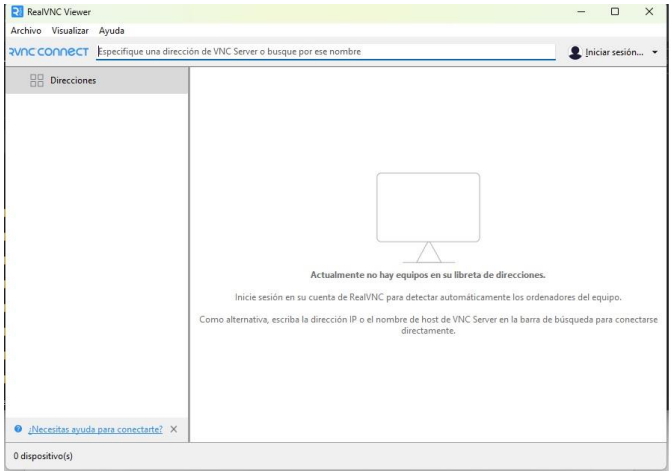



Figura 5: Ambiente de trabajo RealVNC viewer

**SDR++**

Es un programa de Radio Definido por Software (SDR) multiplataforma y de código abierto que lo hará trabajar con muchos receptores DEG diferentes. Su objetivo es ser libre y fácil de usar.

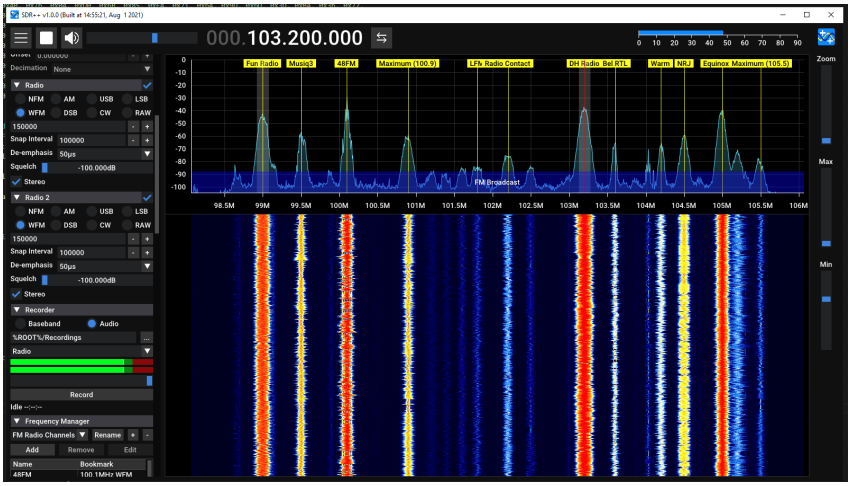



Figura 6: Ambiente de trabajo de SDR ++.

Características

- Soporte de hardware amplio.
- Plataforma cruzada (Windows, Linux, Mac, BSD - más Android en beta)
- Soporte de hardware amplio que incluye la versión para Raspberry Pi
- Cascada complete.
- Diseño modular con complementos comunitarios.
- VFOs múltiples así que se puede escuchar más de una frecuencia al mismo tiempo.
- Servidor incorporado para operar su receptor SDR de forma remota
- Reescritura completa del código de procesamiento de señal digital (DSP) para un audio más claro, mejor CPU y rendimiento de memoria y mayor selectividad.
- Escáner de rango: escanea un rango de frecuencia en busca de señales activas (experimentales).
- Opción Invertir coeficiente intelectual: cuando se opera SDR ++ como un adaptador en radios con salida IF conexiones que requieren esto.
- Decodificación del sistema de datos de radio (RDS) en señales FM transmitidas.
- Reducción de ruido IF para extraer señales FM débiles
- Mejoras en la capa de ruido

- Capacidad para ajustar parámetros de control de ganancia más automáticos
- El filtro de paso bajo FM ahora es seleccionable, en lugar de configurarlo como "encendido"

**Implementación de la plataforma de laboratorio de acceso remoto con Raspberry Pi 4 B, ADALM-PLUTO SDR y Excelway RTL-SDR.**

La investigación se desarrolló en el departamento de telecomunicaciones en el cual se hizo el montaje y las pruebas de la plataforma de laboratorio la cual permitirá que a pesar escasos recursos disponibles en nuestro centro educativo se realice prácticas de laboratorios con dispositivos SDR para una mayor comprensión por parte de los estudiantes de la carrera de telecomunicaciones aspectos importantes de nuestra Carrera. El estudio se centra en la puesta en práctica de una plataforma de laboratorio para dispositivos SDR existente en nuestro departamento la cual pueda hacer un barrido del espectro para la sintonización de emisoras radiales en FM.

Para la puesta a punto de este proyecto se dispone de los siguientes pasos:

**Montaje del Sistema PISDR en la micro SD**

Para hacer el montaje del Sistema operativo primero se procede a hacer el booteo de la micro SD en un ordenador con el programa Balena Etcher. Este programa se descarga en su sitio web **https://etcher.balena.io** todo de forma gratuita, seguido se instala el programa en la PC, después tomar la imagen descargada del PiSDR de la página **https://ti0rhu.org/2023/07/31/pisdr-sistema-operativo-enfocado-en-los-sdr/** y agregarla al programa (imágen). Tambien el Balena Etcher te da la posibilidad de cargar la imágen desde internet sin necesidad de descargarla. Con esto ya tenemos preparada nuestra SD para poner en el Raspberry. [19]

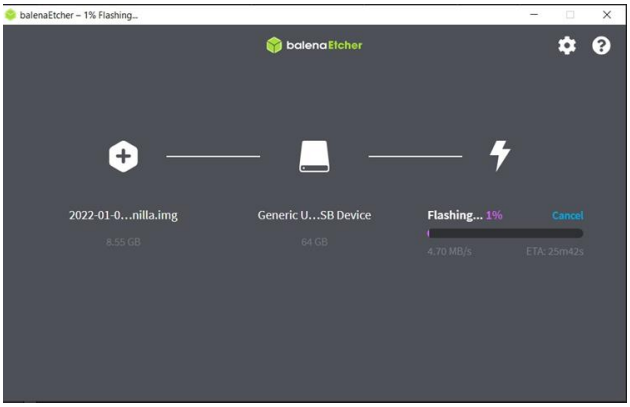



Figura 6: Software Balena Etcher.

**Módulo de escaneo de frecuencias**




Figura 7: ADALM-PLUTO y sus componentes

Los componentes enumerados en la imagen anterior son los siguientes: ADALM-PLUTO SDR

1. Conector SMA hembra
2. Interfaz USB hembra
3. Antena con conector SMA macho
4. Cable USB

Con el listado de componentes se procede a la conexión; para esto se inicia tomando el dispositivo ADALM-PLUTO SDR (1) y la Antena con conector SMA macho (4) y se procede a su conexión roscando la Antena con el Conector SMA hembra (2) integrado en el dispositivo SDR. Seguido, se toma el Cable USB (5) y se conecta con la Interfaz USB hembra (3) integrada en el dispositivo SDR. En la siguiente imagen se muestra el resultado de la conexión.




Figura 8: ADALM-PLUTO y sus componentes conectados.

Como se muestra en la imagen anterior, el dispositivo de escaneo del espectro se encuentra conectado y listo para su integración con la siguiente etapa.

**Módulo de escaneo RTL-SDR Receiver R820T2**




Figura 9: RTL-SDR R820T2 y sus componentes conectados.

Los componentes enumerados en la imagen anterior son los siguientes:

1- RTL-SDR Receiver R820T2
1- Cable micro USB
2- Antena telescópica de prueba

Con el listado de componentes se procede a la conexión ver figura 9; para esto se inicia tomando el dispositivo RTL- SDR (1) y la Antena con conector SMA macho (3) y se procede a su conexión roscando la Antena con el Conector SMA hembra integrado en el dispositivo SDR. Seguido, se toma el Cable USB (3) y se conecta con la Interfaz USB hembra integrada en el dispositivo SDR. En la siguiente imagen se muestra el resultado de la conexión.

**Módulo central de procesamiento**




Figura 10: Montaje de la tarjeta Raspberry Pi 4 B y componentes necesarios.

Los componentes enumerados en la imagen anterior son los siguientes:

1. Cable USB tipo C
2. Adaptador AC/DC 5v 2.1A
3. Adaptador mini HDMI – HDMI
4. Micro SD 64 Gigabytes
5. Raspberry Pi 4 modelo B

Con el listado de componentes se procede a la conexión; para esto se inicia tomando el dispositivo Raspberry Pi 4 modelo B (5) y la Micro SD (4) y se procede a introducirla en la ranura integrada en el minicomputador. Seguido, el Adaptador mini HDMI – HDMI (3) y se procede a conectarlos en el minicomputador en las interfaces correspondientes; finalmente, el Adaptador de corriente AC/DC (2) se lo conecta en la ranura de alimentación de la Raspberry Pi 4 modelo B, y se le procede a conectar el ble de red RJ45. En la siguiente imagen se muestra el resultado de la conexión.

**Configuración del Raspberry Pi 4B**

Al conectar todos los accesorios, se procede a conectarlo a un monitor y a hacer el primer arranque de nuestra Raspberry Pi 4B para realizar las primeras configuraciones.




Figura 11: Ventana de configuración de tarjeta Raspberry Pi 4 B.

Importante en el primer paso es ver la dirección IP que tiene el Raspberry ya que después se utilizará para el escritorio remoto. En la configuración se pone país(Cuba), lenguaje(Español), zona de horario(hora del Este EE.UU-Canadá), red wifi a conectarse, usuario y contraseña (si no se configura usuario y contraseña el Raspberry tiene por defecto un usuario (**pi**) y una contraseña (**raspberry**). En mi caso dejé el mismo usuario y contraseña ya que mi dispositivo no va a estar visible al mundo solo va a estar en una red local). Se recomienda en el proceso de configuración no hacer el update ni el upgrade hacerlo desde la consola para poder ver lo que se instala en nuestro Raspberry. Se recomienda que se mantenga el Raspberry para futuras acciones en el mismo puerto del swith ya que si cambia de puerto cambia la dirección IP y se tendrá que realizar una vez más todo el procedimiento futuro para utilizar a este mediante escritorio

remote. Si cambia de puerto solo hay que ir a la parte superior derecha de la pantalla en las flechas azules sin hacer clic. La Dirección IP aparecerá después de 2 segundos.

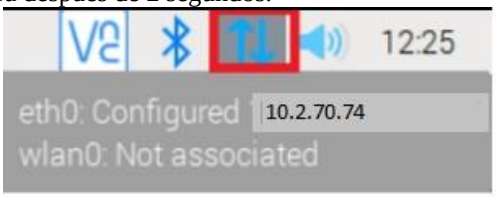



Figura 12: Ventana de muestra de dirección IP configurada.

Se recomienda que, si el dispositivo va a ser visto no en una red local sino fuera de esta, poner usuario y contraseña diferente al que está por defecto

Con esto listo ya podemos entrar al escritorio remoto de nuestra Raspberry. Con el escritorio remoto funcionando solo queda conectar a nuestra Raspberry el dispositivo SDR el cual puede ser tanto el ADALM-PLUTO SDR como Excellway RTL-SDR.



Figura 13: Resultados finales de conexión vía remota.

Una vez conectado nuestro dispositivo SDR se abre el programa SDR++ y se selecciona en el apartado “Source” el dispositivo SDR que hayamos conectado. Automáticamente cargará el dispositivo que se haya conectado y se podrá trabajar con este.

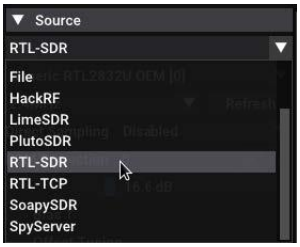



Figura 14: Selección del dispositivo.

Plataforma trabajando con el ADALM-PLUTO SDR viendo el espectro en la banda comercial de radio.

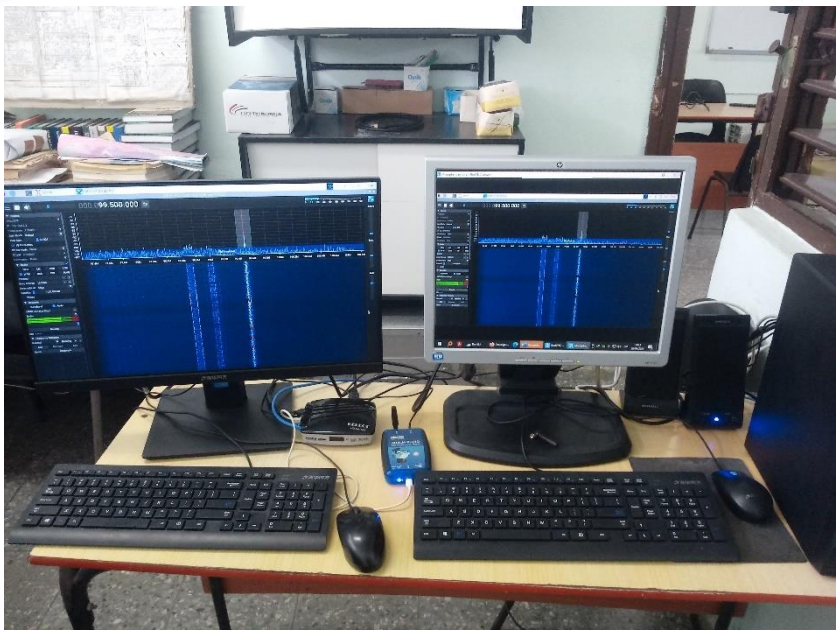


Figura 13: Resultados de la sintonización de emisora en FM.

**CONCLUSIONES**

El trabajo del cual se resumen sus principales resultados, constituye un aporte al trabajo con los dispositivos de Radio Definida por Software en su combinación en este caso con la tecnología Raspberry PI.

Como se ha referido en nuestra investigación, todos los procesos referidos en el trabajo quedan descritos en detalles para la realización de futuros laboratorios o trabajos investigativos, de ahí la importancia de su descripción.

En el presente trabajo se lograron cumplir los objetivos trazados a partir de considerar que se actualizaron mediante la búsqueda en fuentes actualizadas el estado del arte de la temática relacionada tanto con los softwares, el hardware y proyectos de interés relacionados con los SDR. Se identificaron las características principales del dispositivo Raspberry PI 4, y aquellos aspectos de la misma que posibilitan su uso para estas tecnologías incluyendo la selección del sistema operativo PiSDR. Se realizó la correcta configuración por etapas de nuestra plataforma Raspberry PI 4 y se comprobó además la compatibilidad de los dispositivos Excellway RTL-SDR y ADALM-PLUTO SDR con el sistema seleccionado. Validamos el acceso a la plataforma de laboratorio en la cual nuestra alternativa consistió en un acceso remoto al mismo y la comprobación de la gestión y uso de todas las funcionalidades de nuestro sistema y trabajos con los SDR conectados.

**REFERENCIAS**

1.I. Pinar y J. J. Murillo, «Laboratorio de Comunicaciones digitales Radio Definida por Software.,» Sevilla, 2011.
2. A. Alvárez, «GNU Radio Companion, una herramienta gráfica sobre Linux para el diseño de sistemas de radio con dispositivos RTL-SDR,» Pinar del Río, 2018.
3. D. Carralero, «Radio Definida por software en dispositivos de bajo coste.,» 2016.
4. B. Sklar, Digital Communications Fundamentals and Applications,, Prentice-Hall International, Inc.
5. Evgenii Krouk y S. Semenov, Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications 1st Edition, Wiley, 2011.
6. W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4ta Edición, PRENTICE-HALL INC, 2003.
7. W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4ta Edición, PRENTICE-HALL INC, 2003.
8. A. B. Carlson, P. B. Crilly y J. C. Rutledge, Communication Systems an introduction to signals and noise in electrical communication, 4th ed., Mac Graw Hill, 2002.
9. F. Rey Micolau y J. Villares Piera, Sistemas de Comunicaciones II, Canalunya, 2024.

10. D. Y. R. Godoy, Diseño de un Transceptor para comunicaciones marítimas digitales sobre una plataforma de radio definida por software., Gran Canaria, 2022.
11. D. García Sánchez, «VIabilidad de las Contra-Medidas Electromagnéticas (ECM) mediante Radio Definida por Software (SDR),» Zaragoza, 2019.
12. «Wimo,» [En línea]. Available: https://www.wimo.com/es/funcube-dongle-pro-plus. [Último acceso: 8 12 2023].
13. «eHam.net,» [En línea]. Available: https://www.eham.net/reviews/view-product?id=7308. [Último acceso: 9 12 2023].
14. «pccomponentes.com,» [En línea]. Available: https://www.pccomponentes.com/caracteristicas-raspberry-pi-4. [Último acceso: 05 enero 2024].
15. R. M. Prieto, «Manual de instalación y uso de GNURadio».
16. P. Chile, «Implementación de plataforma de laboratorio con acceso remoto sobre Raspberry PI 4 compatible con los dispositivos Excellway RTL-SDR y ADALM-PLUTO SDR,» Pinar del Río, 2023.
17. D. A. Nieva Suárez y J. R. Sanabria Lemos, «Sistema de comunicación SDR para modulación PSK y QAM.,» Santiago de Cali, 2018.
18. https://www.raspberrypi.com/
19. https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/ADALM-PLUTO.html

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO PRELIMINAR DE LA REFRACTIVIDAD TROPOSFÉRICA EN EL MAR AL NORTE DE CUBA

**José Rafael Sandianes Galvez[1], Lányer Pérez Garlobo[2]**

[1]Universidad Tecnológica de La Habana, [2]Instituto Técnico Militar "José Martí", La Habana
[1]e-mail: sandianes@tele.cujae.edu.cu, [2]e-mail: lanyer1978@gmail.com

**RESUMEN**

La troposfera es una capa de la atmósfera cuyo coíndice de refracción N es variable en el tiempo y con la geografía por las variaciones con la altura de: la temperatura **T**, la humedad del vapor de agua **e** y la presión atmosférica **p**. Para considerar la influencia de la refracción, en las bandas del espectro radioeléctrico, es tradicional emplear un radio ficticio de la Tierra $a_e$ y no su radio real ***a***. Con frecuencia se emplea: $\boldsymbol{a_e}$ = 8500 km (4/3 de *a*) - válido para países de clima templado-, al determinar las coberturas por campo: del servicio móvil terrestre (SMT), de las líneas de radio enlace (RE) y el alcance de radares. Un objetivo del trabajo consiste en, a partir de las mediciones existentes de T, e y p, estructurar algoritmos teóricos y de cómputo para determinar, estadísticamente, los valores: medios, medianos y la desviación estándar de $N_t$ y $a_e$ hasta una altura de 2 km. Los períodos que se consideran de interés: semanales, mensuales y anual, de inicio en los años 2016 hasta 2020. Los resultados se han comparado y validado con los de otras investigaciones anteriores, y aportan nuevos conocimientos. Las estadísticas semanales y mensuales se consideran aportes de este trabajo. Un aspecto importante debido a las interferencias externas – y poco estudiado- , no objeto de este artículo-, es cuantificar la ocurrencia de la superrefracción y de los conductos (ductos) elevados y superficiales sobre el mar.

**PALABRAS CLAVES:** troposfera, índice de refracción, radio ficticio, conductos, superrefracción.

***PRELIMINARY STATISTICS OF TROPOSPHERIC REFRACTIVITY IN THE SEA AT NORTH OF CUBA***

**ABSTRACT**

The troposphere is a layer of the atmosphere whose refractive index $n_t$ is variable in time and with geography due to variations with height of: temperature T, humidity of water vapor e and atmospheric pressure p. To consider the influence of refraction in the bands of the radio spectrum, it is traditional to use a fictitious radius $a_e$ of the Earth and not its real radius. Frequently is used: $a_e$ = 8500 km (4/3 of a) - valid for countries with a temperate climate -, for determining field coverage of: the land mobile service (SMT), the radio link lines (RE) and the range of radars. One objective of the work is, based on the existing measurements of T, e and p, to structure theoretical and computational algorithms to determine statistically, until a height of 2 km, the values: means, medians and the standard deviation of N and $a_e$. The periods that are considered of interest: weekly, monthly and annual, starting in 2016 until 2020. The results have been compared and validated with those of other previous investigations, and provide new knowledge. Weekly and monthly statistics are contributions of this work. An important aspect due to external interferences- but little studied and objet of another article- is to specify the occurrence of super refraction and elevated and superficial ducts above the sea.

**KEY WORDS:** troposphere, refraction index, fictitious radius, ducts, super refraction.

## 1. INTRODUCCIÓN

La determinación del campo de ondas de señales útiles, o de interferencias, en diferentes servicios de radio y los alcances de los radares, en un entorno electromagnético, que no siempre es el espacio libre (EL),

requiere conocer su comportamiento en presencia de diferentes fenómenos [1]. Entre ellos se destacan, por la atenuación que producen en la onda: la refracción, absorción en los gases de la troposfera y en los fenómenos hidrometeorológicos, la curvatura terrestre, etc. Las influencias de estos factores se agrupan en las pérdidas básicas de transmisión $\mathbf{L_b}$ (según la definición de Norton [2, 3-5]). El objeto de este trabajo es la afectación del campo debido a la esfericidad de la Tierra, a través de su radio ficticio $\mathbf{a_e}$ y a la refractividad de la troposfera. Ambas están influidas, significativamente, por sus parámetros meteorológicos en el lugar de emplazamiento, la hora y la estación del año. Estos son: la presión atmosférica p (hPa); la temperatura T, en °K y la humedad absoluta e, en g/$m^3$.

El presente trabajo se circunscribe con la refractividad de la troposfera sobre el mar y sus índices radioeléctricos como el índice de refracción $\mathbf{n_t}$ y su coíndice *N*, los cuales cambian con las condiciones locales y períodos temporales (diarios, semanales, estacionales o anuales). Para considerar adecuadamente esos cambios es necesario obtener las estadísticas del comportamiento de N**,** y de su gradiente con la altura **ΔN** (dN/dh**)**, en las condiciones consideradas y durante el mayor lapso de tiempo posible. Solo así se puede pronosticar con certeza el comportamiento del campo en condiciones medias de cada intervalo o, incluso, en tiempo real. El problema se complejiza porque esos índices experimentan variaciones regulares y aleatorias. Las regulares están determinadas por los cambios con: la altura, la estación del año y la región geográfica. Los aleatorios, no regulares, se deben a los movimientos turbulentos de las capas de aire.

En Cuba se han hecho trabajos experimentales sobre tierra por medio de sondeos en algunas localizaciones del país, pero se ha trabajado poco a través del mar [6]. No obstante, señales anómalas o de interferencias llegan a nuestras costas lo que depende de factores meteorológicos y refractivos (conductos troposféricos, superrefracción) por lo que es necesario conocer sobre el mar las estadísticas de N y ΔN. De acuerdo con la Recomendación 617 de la UIT-R [7], nuestro país se encuentra cerca de la frontera del clima tropical, típica de tierras bajas y se puede clasificar como marítimo **subtropical** el cual tiene valores medios anuales de: $N\ y\ a_e$, que no son típicos de otras regiones. Nada se dice de las variaciones mensuales.

No obstante, se cuenta con los datos meteorológicos de radiosondas de: T, e y p, publicados [8] u obtenidos por otros medios, durante muchos años. Por tanto se deduce que, el estudio de las características temporales y espaciales de *N*, y su gradiente ΔN**,** y en consecuencia del radio ficticio $\mathbf{a_e}$ y los conductos troposféricos, constituye la solución a un problema científico que requiere del procesamiento de múltiples mediciones y un análisis comparativo. La base de los cálculos son los gradientes (véase la expresión 3.16 de [2]) de: temperatura, presión y humedad, en períodos: anuales, mensuales u otros [6].

El objetivo principal del trabajo es dar a conocer los procedimientos estructurados para obtener las estadísticas requeridas, los cuales se han instrumentado en Matlab. Otro objetivo principal es dar a conocer los propios resultados, aunque de inicio solo sea para cinco años. Estos muestran algunas diferencias con los publicados por instituciones de renombre como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en sus reportes y recomendaciones. En un encuentro regional de la UIT se ha manifestado la necesidad de mejorar la data obtenida para la región y se tuvo en cuenta la presentada [9].

Como principales aportes logrados se tiene: la elaboración de los procedimientos para obtener los valores medios semanales, mensuales y anuales de N y ΔN, los semanales primeros considerados por primera vez, y resultados, que ratifican, complementan o difieren de los publicados para el área sobre el mar. Se concluye, además, como nueva proposición de otro trabajo, que la sobrerefracción no conductiva puede ser motivo de interferencias más allá del horizonte, papel este que se reservaba solo para los conductos.

Este trabajo ha formado parte del proyecto científico ya concluido en 2023 y denominado:"Sistema para la predicción alerta de interrupción a las comunicaciones por anomalías en las condiciones de propagación", incluido en un programa Sectorial del Ministerio de Comunicaciones y expuesto en el Seminario de la UIT Regional América de Mayo de 2023 [9].

## Fundamentos teóricos y conceptos básicos

En la Recomendación P-452-16 de la UIT [10], se describen los modos de propagación a largo plazo y los modos anómalos (a corto plazo). De los últimos la propagación por "conductos", y por refracción en capas elevadas, son los más importantes por que pueden causar interferencias sobre el agua y en zonas de tierra

costeras. Los niveles de señal pueden ser elevados, en el primer caso, hasta distancias superiores a 500 km sobre el mar, y 250 – 300 km, en el segundo. Para nuestro país estos fenómenos son de gran interés.

## 2. LA TROPOSFERA Y SUS PRINCIPALES PARÁMETROS ELÉCTRICOS

La troposfera es la capa inferior de la atmósfera hasta los primeros 10 km de altitud [1], en promedio. En ella se forman las nubes, ocurre la propagación troposférica -la que está 100% relacionada con el clima-; la temperatura disminuye con la altura al ritmo medio de -6,5°$C$ por kilómetro, hasta un valor de unos $-50°C$ como límite superior. En su interior las ondas normalmente se propagan siguiendo un trayecto afectado por la refracción, pero cualquier anomalía es capaz de producir su dispersión o la reflexión, en particular, en las señales de VHF, UHF y/o microondas, lo que afecta su cobertura normal. Para considerar la curvatura del rayo refractado es tradicional emplear un radio ficticio de la Tierra de 8500 km. Se ha demostrado que sobre tierra, en Cuba, ese valor no es el más adecuado, sino el de un radio ficticio medio cercano a los 10000 km [1,5-6], pero poco se ha visto sobre el mar.

### Índice y coíndice de refracción

La troposfera puede considerarse un dieléctrico de permitividad $\varepsilon_t$ formada por la mezcla del aire seco y del vapor de agua presentes en la misma, lo que da lugar a la estratificación de $n_t$ con h, y a la refracción de los rayos. En ($h = 0$), y en una atmósfera, definida como normalizada [2], con características específicas de: temperatura, 20°C; presión, 1013 hPa, y humedad relativa del 60 % ( $n_t = 1.000325$). Es más conveniente trabajar con el coíndice de refracción **N**, el cual es definido como [1,4-6]:

$$N = (n_t - 1) \cdot 10^6 \quad \text{Unidades N} \qquad (1)$$

el que se relaciona con los parámetros meteorológicos de la atmósfera por:

$$N = \frac{77.6}{T}\left(p + 4810\,\frac{e}{T}\right) \quad \text{Unidades N} \qquad (2)$$

donde, $p$ y $T$, ya están definidos y $e$: presión absoluta del vapor de agua (hPa, hectopascales).

Se emplea con frecuencia la relación entre la presión del vapor de agua $e$, y la humedad relativa $H$ por:

$$e = \frac{H\, e_s}{100} \quad \text{hPa} \qquad (3)$$

$$e_s = EF * a * exp^{\left[\frac{\left(b-\frac{t}{d}\right)*t}{t+c}\right]} \quad \text{hPa} \qquad (4)$$

$$EF_{agua} = 1 + 10^{-4}[7.2 + p(0.0320 + 5.9 \cdot 10^{-6} \cdot t^2)] \qquad (5)$$

donde $t$: temperatura en (°C)
$H$: humedad relativa (%)
$e_s$: presión del vapor de saturación (hPa) a la temperatura t (°C).

Para agua a, b, c y d son: a = 6,1121, b = 18,678, c = 257,14 y d = 234,5 (válidos entre –40° y +50°).

### Refractividad y gradiente en función de la altura

Referida a la altura $h$, el valor medio de $n_t$ puede ser expresado por [11]:

$$n_t(h) = 1 + N_0 \cdot 10^{-6} \cdot exp(-\frac{h}{ho}) \qquad (6)$$

Siendo: $N_0$ es el valor promedio del coíndice al nivel del mar ($h = 0$), y

$ho$: factor de escala de alturas (km).

$N_0$ y $ho$ pueden ser determinados estadísticamente para cada altura y en cada localización. Como valores de referencia, se toman sus valores medios dados por: $N_0 = 315$ y $ho = 7.35\ km$ [11]. Para Cuba, $N_0$ y $ho$, propuestos son otros [12]. A partir de (1) y (6) se deduce el perfil N(h) en unidades N y si en la superficie de la tierra (h = $h_s$), se identifica a $N$ como $N_s$, este a partir de $N_0$ se describe por una ley exponencial. En la atmósfera normalizada el valor de $N_s$ es de 325 unidades.

$$N_s = N_0 \cdot exp(-\frac{hs}{ho}) \qquad (7)$$

Para alturas hasta unos 2 km y $h_0 = 7.35\ km$, N se aproxima (7) mediante una ley lineal [4,5,11]

$$N(h) = N_s(1 - 0.136\ h) \quad \text{(U/N)} \qquad (8)$$

$N$ y $N_s$ experimentan variaciones *regulares* y *aleatorias.* Las estadísticas temporales y espaciales requieren múltiples mediciones de los parámetros meteorológicos y sus gradientes. Precisamente, la expresión (8) se destaca por su utilidad para las capas inferiores de la troposfera al hallar $\Delta N$. Así, en el primer kilómetro de la atmósfera [4,11] $\Delta N1$ se halla como:

$$\Delta N1 = (Ns - N1) \qquad \text{U/km} \qquad (9)$$

donde, N1 es coíndice a la altura de 1 km. En los primeros 100 m (con frecuencia se toman 65 m) $\Delta N_{100}$ por:

$$\Delta N_{100} = \frac{Ns - dN1}{100} \qquad \text{U/m.} \qquad (10)$$

**Radio de curvatura del rayo y radio ficticio de la Tierra $a_e$**

Como N varía principalmente con la altura **h**, sólo se considera su gradiente vertical, por tanto la curvatura ρ del rayo está contenida en ese plano. Si además, el trayecto es casi horizontal y la refracción es positiva, como $n_t \cong 1$ , se obtiene la expresión de ρ (11). N está en U/m y ρ depende solo del gradiente [1-5]:

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{\mathrm{dnt}}{\mathrm{dh}} = -\frac{\mathrm{dN}}{\mathrm{dh}} \cdot 10^{-6} = -\Delta\mathrm{N} \cdot 10^{-6} \qquad (11)$$

donde: $\frac{dnt}{dh}$ es el gradiente vertical del índice de refracción y, $\frac{\mathrm{dN}}{\mathrm{dh}} = \Delta\mathrm{N}$ de su coíndice,
$h$ : Altitud del punto por encima de la superficie terrestre en m.

Para corregir el efecto de la refracción en las expresiones del campo de interferencia, en vez del radio real $\boldsymbol{a}$, se considera que la Tierra tiene un radio ficticio $a_e$ [1 − 6]. El radio ficticio absorbe la curvatura del rayo sin alterar la curvatura relativa entre él y la Tierra [4, 5, 13]. Para una variación lineal de N y con (11)

$$a_e = k_e * a = \frac{a}{1-\frac{a}{\rho}} == \frac{a}{1+a\Delta N \cdot 10^{-6}} \qquad (12)$$

$k_e$, es el valor mediano ($k_{e50}$) del factor del radio ficticio [13]. Al expresar $\boldsymbol{a}$ en kilómetros (6370) y $\Delta N$ en (U/km); se simplifica la expresión (12) de $k_e$ a la (13), válida solo si $\Delta N$ se expresa en (U/km) [4, 6,13]:

$$k_e = \frac{157}{157+\Delta N} \qquad (13)$$

Por ejemplo, para la refracción estándar: $\Delta N = -40\frac{U}{km}$; $k_e = 1.34 \cong \frac{4}{3}$; $a_e = 8547 \cong 8500\ km$, valor que sólo es realmente válido para climas templados [1,6]. En (10), $dN1$ y $N_s$ son definidos en (U/m) al igual que $\Delta N1_{100}$ ,.para emplearlo en (13) en (U/km), hay que multiplicarlo por 1000.

Con frecuencia las características de la refractividad difieren del estado medio de la troposfera estándar, y se clasifican, en atención al valor: de $\Delta N$, $a_e$ y $k_e$. Si N crece con h se considera negativa ($\Delta N > 0$), el rayo

se curva hacia arriba y la comunicación se interrumpe (poco frecuente). Si $\Delta N < 0$, se considera positiva (N decrece con h), los rayos se curvan hacia la Tierra y crece el rango de visibilidad directa (DMVD) entre antenas. La refracción positiva puede ser a la vez ser subdividida en subrefracción, estándar, sobrerrefracción y conductiva.

Las condiciones meteorológicas del Caribe dan lugar a mayores gradientes de N (más negativos), particularmente en los primeros cientos de metros de altura. La consecuencia directa de ello es la ocurrencia de radios ficticios diferentes sobre el mar, el incremento de los efectos de la sobrerefracción y su alcance y un mayor número de "ductos" que posibilitan interferencias.

## Procedimiento de obtención de los parámetros meteorológicos y refractivos

Como se ha explicado se necesitan las mediciones de los parámetros primarios: T, p y e, hasta 2 km de h. Por su posición dentro del mar y por la estabilidad en la presentación diaria de los datos, se pueden utilizar los registros de p, t y $Hr$, publicados por la Universidad de Wyoming [8], en cada día, en dos horarios: las 07:00 horas y la 19:00 horas de Cuba. Generalmente, cada parámetro, en cada altura alcanza hasta varios kilómetros (ver Tabla 2). Se describen: la humedad relativa RELH, $Hr$ en % (cociente de la humedad del aire y la humedad de saturación); la temperatura $t$, grados Celsius (TEMP) y la presión $p$ en hPa (PRES).

Los datos tomados de p, t(°C) y $Hr$% se basan en los sondeos meteorológicos realizados en Cayo Hueso, y otras localizaciones en el entorno de nuestro país (Miami, Jamaica, Yucatán, etc.). Con la expresiones (3-5), tomadas de la UIT-R 453 [11], o el procedimiento tradicional de Haltiner [15], se hallan los valores de $e_s$ y la tensión del vapor de agua e. Además, con (14) se halla T en °K:

$$T = t^{\circ}C + 273, \quad ^{\circ}K \qquad (14)$$

Posteriormente, con los valores de: p. e y T, y las expresiones (2, 9,10), se hallan los valores de N y ΔN. Con las fórmulas (12-13), se estima el radio ficticio y $k_e$. Recuerde que sobre el mar Ns = $N(0)$.

**Tabla 2 Archivo HTML descargado del sitio web de la Universidad de Wyoming[8]**

**72201 EYW Key West Observations at 00Z 01 Oct 2020**

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1011.0 | 13 | 29.0 | 25.6 | 82 | 20.97 | 35 | 12 | 301.2 | 363.3 | 305.0 |
| 1000.0 | 110 | 27.8 | 25.5 | 87 | 21.08 | 35 | 20 | 300.9 | 363.3 | 304.7 |
| 978.3 | 305 | 26.0 | 24.8 | 93 | 20.69 | 40 | 21 | 301.0 | 362.2 | 304.7 |
| 974.0 | 344 | 25.6 | 24.7 | 95 | 20.61 | 41 | 20 | 301.0 | 362.0 | 304.7 |
| 953.0 | 537 | 24.6 | 22.9 | 90 | 18.85 | 44 | 15 | 301.9 | 357.8 | 305.3 |
| 945.1 | 610 | 24.0 | 22.8 | 93 | 18.85 | 45 | 13 | 302.0 | 357.9 | 305.4 |
| 930.0 | 752 | 22.8 | 22.5 | 98 | 18.85 | 45 | 13 | 302.1 | 358.1 | 305.6 |
| 925.0 | 799 | 22.4 | 22.1 | 98 | 18.49 | 45 | 13 | 302.2 | 357.1 | 305.5 |
| 912.9 | 914 | 21.7 | 21.5 | 99 | 18.02 | 35 | 13 | 302.6 | 356.2 | 305.9 |
| 892.0 | 1116 | 20.4 | 20.4 | 100 | 17.23 | 12 | 4 | 303.3 | 354.6 | 306.4 |
| 883.0 | 1204 | 20.6 | 20.6 | 100 | 17.64 | 2 | 1 | 304.4 | 357.2 | 307.6 |
| 881.4 | 1219 | 20.4 | 20.4 | 100 | 17.47 | 0 | 0 | 304.4 | 356.6 | 307.5 |
| 869.0 | 1342 | 19.0 | 19.0 | 100 | 16.19 | 63 | 1 | 304.1 | 352.5 | 307.1 |
| 854.0 | 1493 | 18.8 | 18.8 | 100 | 16.27 | 139 | 3 | 305.4 | 354.3 | 308.4 |
| 850.0 | 1533 | 18.4 | 18.4 | 100 | 15.93 | 160 | 3 | 305.4 | 353.3 | 308.3 |
| 821.1 | 1829 | 15.8 | 15.3 | 97 | 13.54 | 220 | 3 | 305.7 | 346.4 | 308.1 |
| 817.0 | 1872 | 15.4 | 14.9 | 97 | 13.21 | 219 | 3 | 305.7 | 345.5 | 308.1 |
| 804.0 | 2009 | 15.0 | 12.6 | 86 | 11.53 | 214 | 3 | 306.7 | 341.7 | 308.8 |
| 797.0 | 2083 | 14.6 | 13.2 | 91 | 12.11 | 212 | 3 | 307.0 | 343.8 | 309.2 |
| 792.2 | 2134 | 14.5 | 12.8 | 90 | 11.89 | 210 | 3 | 307.4 | 343.6 | 309.6 |
| 775.0 | 2320 | 14.0 | 11.5 | 85 | 11.12 | 182 | 4 | 308.8 | 342.9 | 310.9 |
| 764.2 | 2438 | 13.2 | 10.9 | 86 | 10.85 | 165 | 4 | 309.2 | 342.5 | 311.2 |

## 3. VALORES OBTENIDOS DE N, ΔN Y $a_e$ SOBRE EL MAR EN EL ENTORNO DE CUBA

En este apartado se pretende resumir los principales resultados obtenidos de los gradientes de N, y el radio ficticio dentro del mar. El estudio se inicia al guardar los ficheros de los datos brindados por la Universidad de Wyoming (en nuestro trabajo) para la estación de Cayo Hueso [8]. Se descarga la información mensual para cada día y mes durante los últimos 5 años (2016-2020). Las mediciones se muestran en los dos

horarios: 00 (7 am de Cuba) y 12 (7 pm de Cuba) y se promedian por día. Una vez organizados los archivos, por meses y años, en formato HTML, se procede a la lectura de los mismos desde Matlab. La información útil se reescribe en archivos de texto, se calculan N y ΔN y se guardan en una carpeta llamada "Mediciones. Las columnas y las alturas de más de 2000m son eliminadas. Todas las transformaciones o programas han sido procesados en Matlab para la refractividad, según los procedimientos a continuación:

1. Para la obtención de archivos HTML de los datos de radiosondeos
2. De lectura y transformación de los ficheros HTML a TXT con Matlab
3. **P**ara el cálculo de los parámetros eléctricos de la troposfera:
   a. Coíndice de refracción (N) y el modificado M.
   b. Para recoger datos de *N* sobre la superficie, Ns, pero promediando ambos horarios.
   c. Para obtener los promedios de *N* en períodos: semanales, mensuales y anuales.
   d. Para la determinación del gradiente ($\Delta N$) para el primer kilómetro y los 100 m de altura
   e. Determinación del radio ficticio $(a_e)$ y su factor $(k_e)$. para alturas inferiores a un kilómetro o 100 m.

A partir de los procedimientos 1 y 2 y con la organización secuencial de datos (procedimiento 3), se analizan los parámetros estadísticos (promedio, mediana y desviación estándar) en períodos semanales, mensuales y anuales. Se presentan más adelante los resultados organizados en tablas o gráficas.

**Valores medios y medianos de N: semanales, mensuales y anuales [9,14]**

Al analizar los resultados anuales de promedio y medianas del coíndice: Ns = No, sobre el mar se observa que los valores medianos son muy próximos a los promedios anuales (Fig. 1). No obstante, el proceso no se puede estimar Gaussiano y lo más frecuente, es tomar el valor medio. El valor medio de No de los cinco años es: ***No* = 371.12**, muy próximo al valor (**No = 370**) que brinda la UIT para el Caribe, lo que ratifica el valor y valida el procedimiento, lo que ratifica el valor y valida el procedimiento.

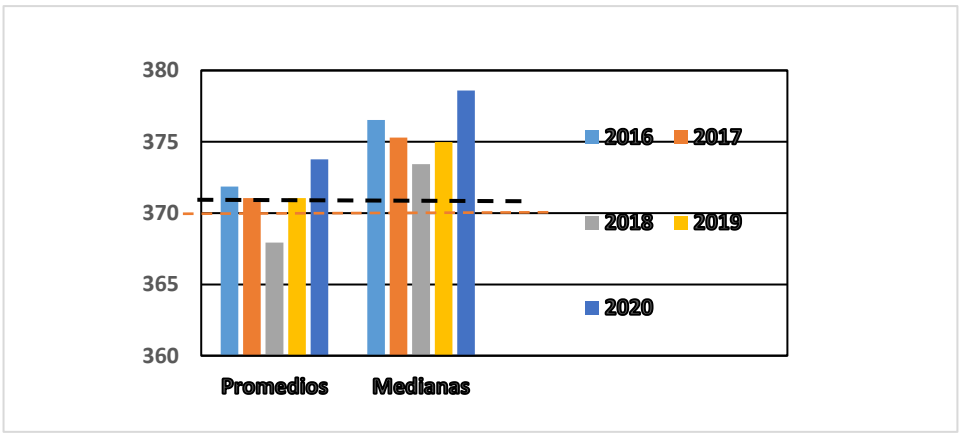



Figura 1: Comportamiento medio y mediano anual de Ns en el mar [9,14].

Los valores **mensuales** medios de No se grafican en la Fig.2 para el período 2016-2020. Entre los meses de noviembre a abril, No alcanza valores entre 350 y 370 (U/N), por debajo del valor medio; de mayo a octubre crecen, desde 370 - 390 (U/N), por encima del valor medio actual.

Los gráficos de promedios de *No* en *períodos semanales* son referenciados en [16,18]. La desviación estándar promedio de No sobre la superficie del mar se acerca a las 16 unidades, valor no bajo. No obstante, en los meses de enero, marzo, abril y mayo, las desviaciones son algo mayores; de junio a septiembre se reducen al rango de 5 a 8.5 unidades N

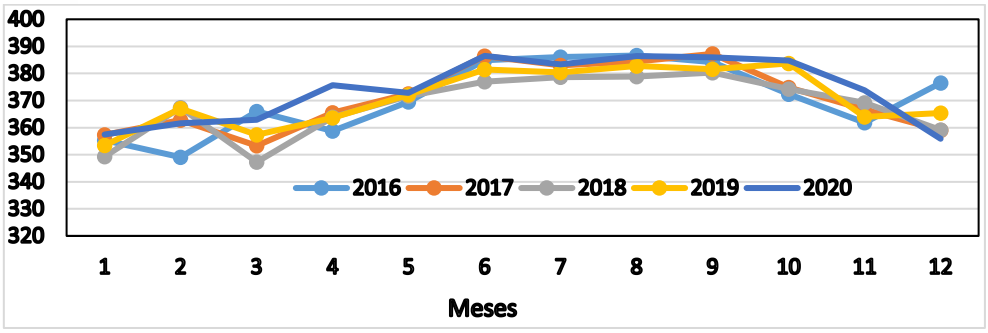



Figura 2 Valores mensuales medios de No en el período 2016-2020 [9,14].

**Valores medios semanales, mensuales y anuales para ΔN1 (1 km) [9,16]**

En la Fig 4 se dan los resultados anuales del promedio de ΔNl sobre la superficie del mar. Se obtiene un el valor medio durante el período de: $\overline{\Delta N1}$ = - 64.78 U/km ($k_e$ = 1.7, $a_e$ = 10844 km), el cual se propone como nuevo resultado sobre el mar (línea punteada), algo superior a los valores obtenidos sobre tierra en el país. Esto reafirma lo dicho, no definitivo, de alcances superiores sobre el mar.

Este valor promedio *anual* difiere del rango propuesto por la UIT [10] para nuestra región que es de: (-50 hasta -60 U/km). Más exactamente, la recomendación propone (por meses) para: febrero, de (-50 a -55 U/km); para mayo y agosto, -60 U/km y, para noviembre -50 U/km. Es decir, en ninguno de los años los valores medios actuales se encuentran dentro de estos rangos (Fig. 3). Por ser el origen de datos meteorológicos específicos de la región, es que se propone este como valor medio anual de gradiente ***ΔN1***

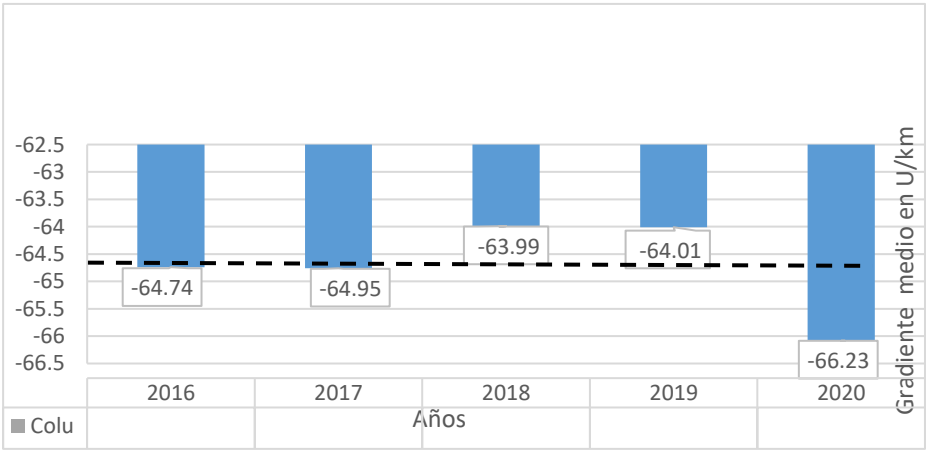
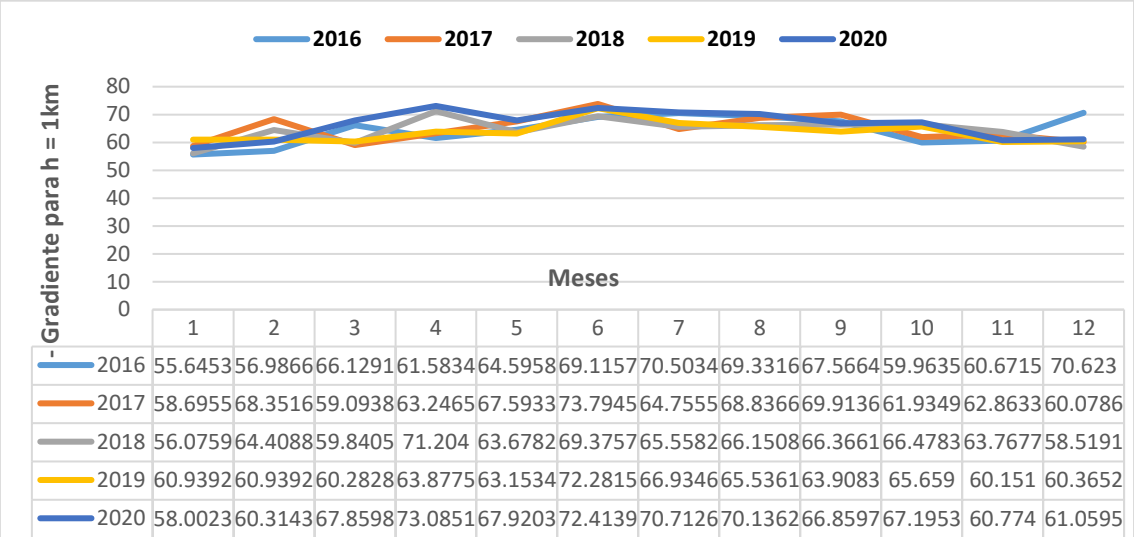



Figura 3: Comportamiento medio anual de ΔN1 en U/km [9,16].

La proposición es confirmada por la mayor cercanía al valor medio propuesto por Lányer en [12], para la costa norte de La Habana **(-60.83).** Como hipótesis consideramos que la costa norte debe tener características meteorológicas cercanas a las del mar y de ahí es una gran referencia de apoyo a nuestro trabajo. Nótese que este valor en módulo es algo inferior al actual, pero mucho más cercano al nuestro que el propuesto por la UIT, Se denota también que, es hallado, sobre tierra y es inferior (en módulo) al actual, lo que ratifica las diferencias entre tierra y mar.

Los valores *medios mensuales* actuales para ΔN1 **(**Fig 4) están en el rango de: (-74 hasta -55 U/km) [16], se alejan de los propuestos por la UIT y se acercan algo más a los hallados sobre tierra [12].

Los gráficos de promedio de **Δ*N1*** en *períodos semanales* se encuentran en el Anexo B de la referencia [16]. Un ejemplo, cuyo comportamiento es similar en los demás años, se muestra en la Fig. 5 para el año 2018. Las semanas en verano muestran tendencias a gradientes menores en todos los años.




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016 | 55.6453 | 56.9866 | 66.1291 | 61.5834 | 64.5958 | 69.1157 | 70.5034 | 69.3316 | 67.5664 | 59.9635 | 60.6715 | 70.623 |
| 2017 | 58.6955 | 68.3516 | 59.0938 | 63.2465 | 67.5933 | 73.7945 | 64.7555 | 68.8366 | 69.9136 | 61.9349 | 62.8633 | 60.0786 |
| 2018 | 56.0759 | 64.4088 | 59.8405 | 71.204 | 63.6782 | 69.3757 | 65.5582 | 66.1508 | 66.3661 | 66.4783 | 63.7677 | 58.5191 |
| 2019 | 60.9392 | 60.9392 | 60.2828 | 63.8775 | 63.1534 | 72.2815 | 66.9346 | 65.5361 | 63.9083 | 65.659 | 60.151 | 60.3652 |
| 2020 | 58.0023 | 60.3143 | 67.8598 | 73.0851 | 67.9203 | 72.4139 | 70.7126 | 70.1362 | 66.8597 | 67.1953 | 60.774 | 61.0595 |

Figura 4: Comportamiento medio mensual de ΔN1 en U/km [9,16]

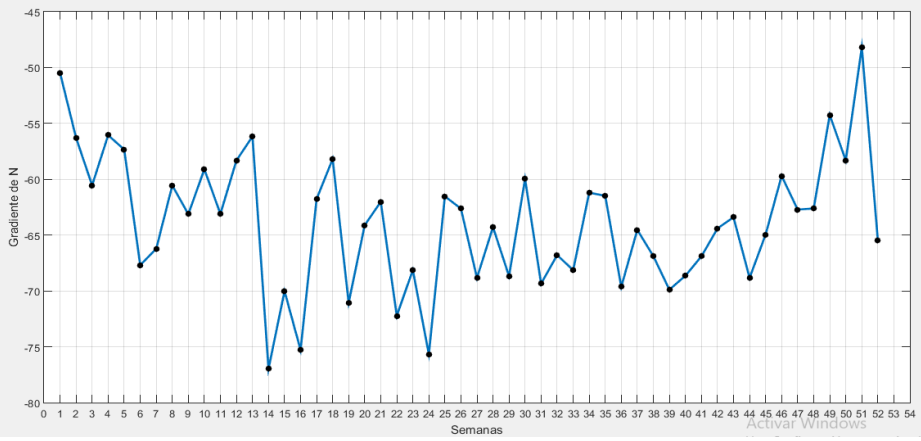



Figura 5: Promedios semanales de ΔN1 en U/km en el año 2018 [16].

**Valores medios semanales, mensuales y anuales para $a_e$ y $k_e$ (1 km)**

Los resultados medios anuales de $(k_e)$ y $(a_e)$, para 1 km de altura sobre mar [9,16], se muestran en la Tabla 3. El promedio de los cinco años es: $k_e$ = 1.7561 y $a_e$ = 11186.3 km, todos son superiores a los propuestos sobre tierra (cercanos a 10000km) [1,6, 12], y menores que el propuesto por Gray (ke = 2.4, 15350) para mar [17]. El mismo expone: "en el mar, $a_e$ debe ser muy superior sobre todo en los primeros 100 m" de h.

**Tabla 3 Valores medios anuales de $k_e$ y $a_e$ (km) para h =1 km [9,16]**

| Años | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| $k_e$ promedio | 1.7545 | 1.7534 | 1.7431 | 1.7341 | 1.7954 |
| $a_e$ promedio | 11176.190 | 11168.934 | 11103.584 | 11046.2912 | 11436.499 |

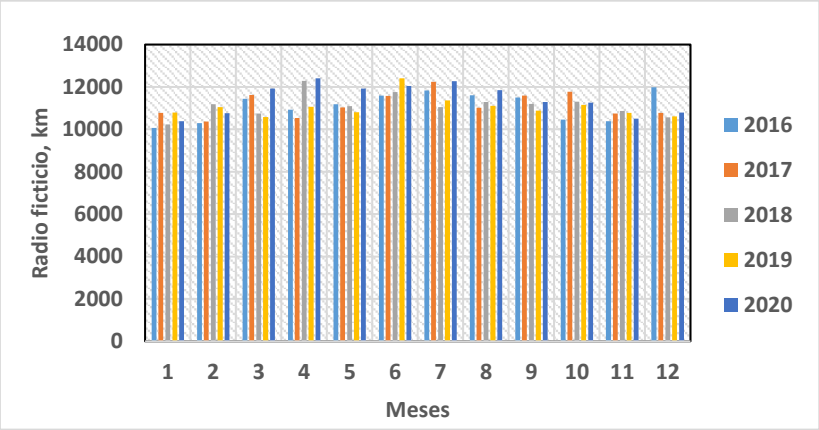



Figura 6: Promedios mensuales de $a_e$ en el periodo 2016-2020 [9, 16].

Los valores medios mensuales calculados para $k_e$ y $a_e$, para 1 km, están en los rangos: (1.57 < $k_e$ < 1.94), y (10061 < $a_e$< 12415) km. Esto se aprecia en la Fig.6, para $a_e$. Los resultados son siempre superiores al rango de (9300 a 10300) determinados sobre tierra pero muy inferiores al propuesto por Gray para el mar ya señalado ($k_e$ = 2.4; 15350 km) [17]. En los valores medios s*emanales*, en algunas semanas, cercanas al verano, $a_e$ puede alcanzar la cifra de 12000 km o más.

**Valores medios semanales, mensuales y anuales para $\Delta N_{100}$, $a_e$ y $k_e$ para 65 m [9,18]**

Un análisis similar **[**9,18] fue elaborado con los parámetros eléctricos para los primeros 100 metros de altura. Los estudios radiometeorológicos para las condiciones de Cuba en alturas hasta 200 m son escasos. Al igual que para 1 km, la UIT brinda, datos estacionales de $\Delta N_{100}$ en los primeros 65 metros. El valor medio *mensual*, en febrero y noviembre, es de (-55 a -50) U/km; para mayo y agosto es de -60 U/km [11].

Los resultados promedio anuales del gradiente $\Delta N_{100,}$ sobre la *superficie del mar*, se muestran en la Tabla 4. El valor $\Delta N_{100}$ promedio de estudio es: $-55.38\ \frac{U}{km}$ ($k_e$ = 1.545, ae = 9841 km). Este valor se encuentra en el rango dado por la UIT para nuestra región (**de -50 a -60)** U/km [11], dato significativo**.**

**Tabla 4. Valores anuales medios de $\Delta N_{100}$ en U/km a 65 metros de altura [18]**

| Año | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Promedio | -55.49 | -55.373 | -54.90 | -55.37 | -55.77 |

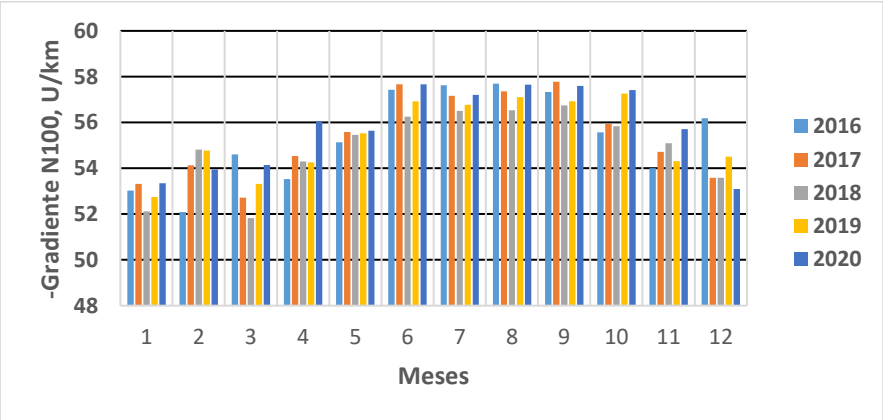



Figura 7: Media mensual de $\Delta N_{100}$ U/km a 65 m de altura [18].

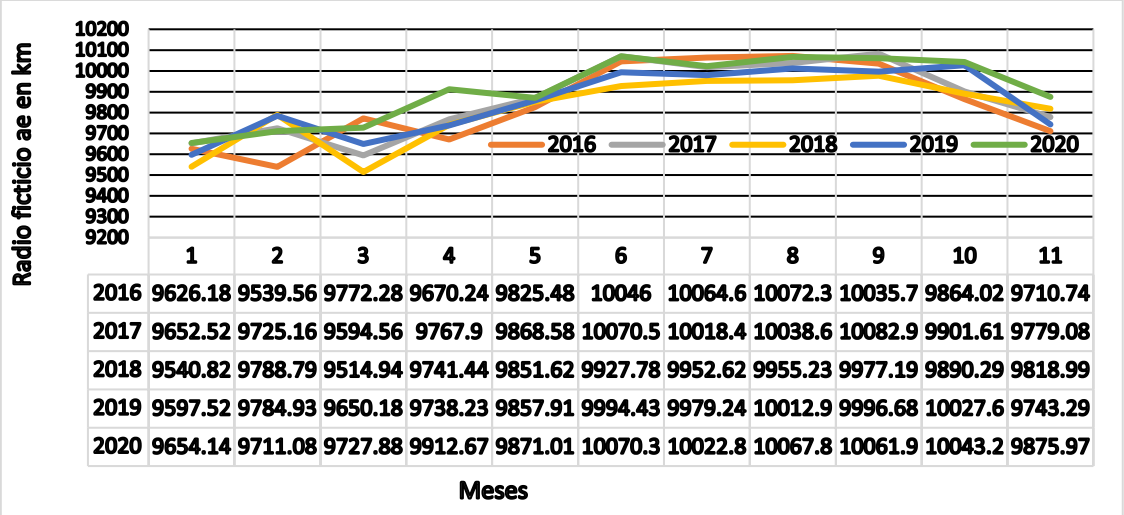
El primer estudio radioclimático, de solo 3 años (sobre tierra), del que se tiene conocimiento en el país fue realizado en el año 1984 por miembros del Instituto de Geofísica y Astronomía [19]. El valor medio *anual*, para $\Delta N_{100,}$ fue de **-59.1** U/km ($k_e$=1.6, $a_e$ = 10215). En general, son más próximos a los propuestos por la UIT en [11]. Lányer [12], para el periodo 1993-2001, ha determinado como $\Delta N_{100}$valor medio anual confiable de $a_e$, el obtenido para la localización "El Brinco" con un medio mensual de (7655-14543) km.

Los valores dio *mensuales* de $\Delta N_{100}$ , se muestran en la Fig. 8. En los meses de noviembre a abril, un rango de: **(-55 a -52**) U/km. De mayo a octubre, más negativos, rango de **(-57.5 a -55.5**) con mayor fortaleza de comportamiento). Sin embargo, Lányer presenta valores que oscilan entre: -173 a -71 U/km [12], para la costa norte de La Habana, lo cual se aleja de nuestro resultado. Las gráficas de $\Delta N_{100}$ promedio en períodos *semanales* se encuentran en el Anexo 2 de la referencia [18].

En la Tabla 5 se muestran los *promedios anuales del factor* $k_e$ y $a_e$, en los primeros 100 metros de altura. El promedio es: $(\boldsymbol{k_e = 1.54, a_e = 9847.738\ km})$ y se acerca al de tierra, pero inferior al de 1 km mar.

**Tabla 5 Valores medios anuales de $(k_e)$ y $(a_e)$ a 65 m sobre el mar [18]**

| Año | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Promedio $k_e$ | 1.54 | 1.54 | 1.53 | 1.54 | 1.55 |
| Promedio $a_e$ | 9859.4 | 9847.4 | 9801.03 | 9845.35 | 9885.8 |




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016 | 9626.18 | 9539.56 | 9772.28 | 9670.24 | 9825.48 | 10046 | 10064.6 | 10072.3 | 10035.7 | 9864.02 | 9710.74 |
| 2017 | 9652.52 | 9725.16 | 9594.56 | 9767.9 | 9868.58 | 10070.5 | 10018.4 | 10038.6 | 10082.9 | 9901.61 | 9779.08 |
| 2018 | 9540.82 | 9788.79 | 9514.94 | 9741.44 | 9851.62 | 9927.78 | 9952.62 | 9955.23 | 9977.19 | 9890.29 | 9818.99 |
| 2019 | 9597.52 | 9784.93 | 9650.18 | 9738.23 | 9857.91 | 9994.43 | 9979.24 | 10012.9 | 9996.68 | 10027.6 | 9743.29 |
| 2020 | 9654.14 | 9711.08 | 9727.88 | 9912.67 | 9871.01 | 10070.3 | 10022.8 | 10067.8 | 10061.9 | 10043.2 | 9875.97 |

**Figura 8: Valores medios mensuales de $a_e$ en km para 65 m de altura [18].**

El valor medio mensual, en la Fig. 8, se acerca a 10000 km en (Junio -Octubre), por lo que el valor medio anual de 10000 km es más útil en el período dl verano, lo cual es una novedad. Los valores *medios mensuales* de Douglas [20] y de Lányer [12], obtenidos para el mar, se encuentran en el entorno de los actuales. Para Douglas, $\boldsymbol{a_e}$ oscila de (7900 a 10000 km); para Lányer de (7655 a 14543) km. Nuestro rango, en km, más restringido: (9515 a 10082) km, cerca de los 10000 km. En general, todos se alejan de lo planteado por Gray (15350 km).

Las gráficas de promedio para los valores de $k_e$ y $a_e$ a 65 metros, en períodos *semanales*, se encuentran, en los Anexos 3.5 - 3.9 de [18]. Los valores de $\Delta N_{100}$ se reducen notablemente entre la semana 21 (Mayo) y la 42 (Octubre); esto es una tendencia general para todos los años. Esto redunda en un incremento de $\mathbf{a_e}$ que alcanza valores de 10000- 10100 km, lo que rechaza la hipótesis de radios de 12000km sobre el mar.

## 4. RESULTADOS PRINCIPALES y CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo presentado se resumen en:

**1**. El valor medio de No es de 371, el que ratifica el resultado presentado por la UIT para la región (370).
**2**. Hay algunas discrepancias de los valores medios anuales de ΔN1 y $a_e$ presentados por diferentes autores para el mar cercano a nuestras costas. El valor medio anual actual para 1 km es de: $a_e$ = 11186.3 km ($k_e$ = 1.756), lo cual es un resultado novedoso. Para los primeros 100m, el valor medio de $a_e$ = 9847.738 km ($k_e$= 1.54), lo cual ha sido ratificado por la UIT y los otros autores mencionados.
**3.** Los valores medios anuales actuales para 1 km, están en el rango de: (10061 < $a_e$< 12415) km, superiores a los obtenidos en tierra y para el mar en alturas bajas, hasta 100m. Ambos resultados se alejan de las hipótesis de Gray (valores superiores a 15000 km $a_e$). Ante la incertidumbre, para enlaces elevados, se recomienda emplear como valor medio anual: **11186 km**, o también, en cada mes, los de la Figura 6. Para los enlaces superficiales, menos de 65 m, el valor ratificado en el punto 2 - valor medio anual de **9848 km-,** o los valores medios mensuales de la Fig.8.
**4.** Los valores mensuales medios de $a_e$ para el mar y bajas alturas, difieren ligeramente entre si en los diferentes autores, no lejos de 10000 km pero los actuales están más centrados en esa cifra. Esto es significativo porque se alejan de las propuestas iniciales de Gray en 1961, pero halladas para trayectos transhorizonte (15350 km).
**5**. Los valores del gradiente semanal tienen tendencia general a reducirse entre la semana 21 (Mayo) y la 42 (Octubre) en todos los años. Esto redunda en un incremento de $a_e$ en estos períodos con valores de 10000 a 10100 km en varias semanas, lo cual rechaza la hipótesis de radios sobre el mar de 12000 km.

En general, se concluye que, debido a las diferencias entre algunos resultados actuales. La UIT y otros autores, estos no deben considerarse definitivos. No obstante, son una propuesta esclarecedora y novedosa cuya fiabilidad debe ratificarse o corregirse con más años de estudio. Los valores medios sobre el mar presentados son para la costa norte del país y no se ha referenciado prácticamente nada para la costa sur.

**RECONOCIMIENTOS**
Los autores desean reconocer a todos los investigadores que con su trabajo abnegado durante muchos años han realizado los trabajos experimentales que han permitido realizar estos análisis.

**REFERENCIAS**

1. SANDIANES GALVEZ, José R. “Algoritmos de la propagación de las ondas de radio para calcular el alcance de un radar costero”, Monografía, *UTH*, 2020, ISBN: 975-959-261-604-2,Reporte 10/2020, p.3.
2. DOLUKHANOV, M. P. “Propagation of Radio Waves”, *Editorial MIR*, Cap. 1, Moscú, 1971.
3. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT), Rec. UIT-R P.525-3,*”* Cálculo de la atenuación en el espacio libre”, Disponible: http://www.itu.int/publ/R-REC/es, Ginebra, Suiza, 2016.
4. RÁBANOS, José M. “Transmisión por radio”, 6ta ed., *Editora universitaria Ramón Aceres*, 2008, Madrid, España, Cap 2, p.74.
5. SANDIANES GALVEZ, J. R. “Alternativa para el cálculo de las alturas reducidas sobre una tierra esférica”, RIELAC, 2021; Vol.42, Núm. (1): pp. 21-33, enero-abril, ISSN: 1815-5928, UTH, La Habana, Cuba .
6. SANDIANES GALVEZ, J.R., PÉREZ GARLOBO, L., GALINDO MIER, R.” La refractividad de la troposfera y el radio ficticio de la Tierra en Cuba”, Revista Telemática, Universidad Tecnológica de La Habana, 2021; Vol 21, núm 1, pp. 54-65
7. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Rec.UIT-R P.617-3**, “**Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems,” 2014, Disponible: http://www.itu.int/publ/R-REC/es. Ginebra, Suiza.
8. UNIVERSITY OF WYOMING [DATABASE ON THE INTERNET]; Disponible en : http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html. Accedida en Marzo – Octubre de 2021
9. PÉREZ GARLOBO L., MARÍN Y., SANDIANES, J.R.” Reporte:*”Sistema para la predicción y alerta de interrupción a las comunicaciones por anomalías en las condiciones de propagación*, Memorias del Seminario Regional América de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Mayo, 2023.
10. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Rec.UIT-R P.452-16, “Prediction

procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz", 2020, Disponible: http://www.itu.int/publ/R-REC/es, Ginebra, Suiza.
11 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Rec. UIT-R P.453-14**,** Índice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad", 2019, Disponible: http://www.itu.int/publ/R-REC/es, Ginebra, Suiza.
12. PÉREZ GARLOBO, Lányer. "Caracterización de los parámetros radiometeorológicos de la troposfera que influyen en la propagación de las ondas de radio en Cuba" .Tesis doctorado, *Instituto Técnico Militar "José Martí",* La Habana, Cuba, 2009.
13. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Rec. UIT-R P.834-9**, "**Efectos de refracción sobre la propagación de las ondas radioeléctricas",2017, Disponible: http://www.itu.int/publ/R-REC/es, Ginebra, Suiza..
14 .SANDIANES GALVEZ, José.R.; PÉREZ GARLOBO, Lányer; LÓPEZ PÉREZ, Ana P.; MOREJÓN GONZÁLEZ, Melisa. "Caracterización de la refractividad y los ductos troposféricos en el estrecho de La Florida"; *(UTH*), Monografía – Reporte, ISBN: 978-959- 261-616-5, 11/ 2022.
15. HALTINER, G.J., MARTIN, F. L." Dynamical and Physical Meteorology", Ediciones ACC, La Habana, 1968.
16. LÓPEZ PÉREZ, Ana P. "Caracterización y estadística de la refractividad, del radio ficticio y los ductos elevados en la troposfera en el estrecho de La Florida". Tesis diploma de grado, UTH, Noviembre de 2021, La Habana,
17. GRAY, R.E. "Tropospheric scatter propagation and meteorological conditions in the Caribbean", IRE Transactions on Antennas and Propagation, EUA, September, 492-496, 1961.
18. MOREJÓN GONZALEZ, Melissa. "Caracterización y estadística de la refractividad del radio ficticio y los ductos superficiales en la troposfera en el estrecho de La Florida", Tesis diploma de grado, UTH, Noviembre de 2021, La Habana., Cuba.
19. BRUNET MARTINEZ R., MARTÍN HERNÁNDEZ R., HOURRUTINER BARRETO R. "Caracterización preliminar de la Refractividad de la Troposfera Inferior de Cuba", Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio, Instituto dd Geofísica y Astronomía, ACC, (8), 1984.
20. RUIZ DOUGLAS, Alejandro. "Análisis del Comportamiento de la Refractividad y el Campo Transhorizonte en el estrecho de la Florida", Tesis de Maestría, UTH, 2012.

## SOBRE LOS AUTORES

**José R. Sandianes Gálvez:**
Graduado de Ingeniero Eléctrico en Telecomunicaciones en la UH en 1969 y de Doctor en Ciencias Técnicas en el Instituto Técnico Militar "Jose Martí" (ITM) en 1985. Profesor Titular en el ITM desde 1982 y en la actualidad en la Universidad Tecnológica de La Habana, (UTH). Ha sido miembro de diferentes Consejos Científicos durante varios años. Se desenvuelve en el campo de la Electrodinámica, la Propagación de las Ondas de Radio y las Antenas que son sus principales intereses de investigación. Ha participado y contribuido con diferentes trabajos en proyectos y análisis en estas ramas en diferentes instituciones ramales y nacionales del país. Ha expuesto trabajos y obtenido diversos premios en varios eventos nacionales e internacionales (Fórums de Ciencia y Técnica Nacionales y Ramales, Informática y varias ediciones de CITTEL hasta 2022). Obtuvo como Autor Principal un Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba en 1999 y la Distinción Especial del Ministro de Educación Superior. Ha participado en un proyecto del Programa Ramal del MINCOM en el período 2022-2024.

**Lányer Pérez Garlobo**:
Graduado como Ingeniero Radioelectrónico en Comunicaciones en el año 2002, y de Doctor en Ciencias Técnicas (ITM) en el 2010. En Profesor Titular desde el 2015 y Profesor e Investigador del ITM, Miembro de su Consejo Científico y de la Comisión de Grados Científicos. Se desenvuelve en el campo de la Electrodinámica, la Propagación de las Ondas de Radio que son sus principales intereses de investigación. Ha expuesto trabajos y obtenido diversos premios en varios eventos nacionales e internacionales (Informática y varias ediciones de CITTEL hasta 2022). Ha alcanzado premios a nivel nacional y ramal por resultados de investigaciones aplicadas a la rama de la Radiopropagación**.** Ha sido el dirigente principal de un proyecto del Programa Ramal del MINCOM en el período 2022-2024**.**

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# AUTOMATIZACIÓN DE REDES CON NETMIKO

**Elio R. Avila Rodríguez**
ETECSA, Angel Guardia S/N, Las Tunas.
e-mail: elio.avila@etecsa.cu

**RESUMEN**

La era moderna está marcada por un desarrollo vertiginoso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs), al punto que los administradores y Proveedores de Servicios de Comunicaciones (CPS) se ven superados en la gestión de los equipos que operan, tareas que hacen tradicionalmente de forma manual. Este hecho ha provocado que busquen alternativas para reducir los gastos en tiempo y esfuerzo, así como en los posibles errores operativos, siendo la automatización de redes una variante cada vez más utilizada en este sector. Esta consiste básicamente en la transición de procesos realizados en forma manual a aquellos donde se aplican las nuevas tecnologías, con el propósito de mejorar el desempeño de las redes. Herramientas desarrolladas sobre Python se incluyen entre las posibles soluciones, las potencialidades de este lenguaje de programación, unido a bibliotecas como Netmiko, que permite el acceso remoto a equipos de múltiples fabricantes con protocolos como SSH, abren un amplio espectro de aplicación. El presente trabajo trata sobre este interesante tema de la automatización de redes con Netmiko, ilustra las bondades de su empleo con ejemplos básicos en un entorno simulado sobre el software eNSP de Huawei, y muestra los resultados obtenidos de su uso en una aplicación práctica en ETECSA.

**PALABRAS CLAVES:** Automatización de redes, Python, Netmiko.

**ABSTRACT**

The modern era is marked by a rapid development of Information and Communications Technologies (ICTs), to the point that administrators and Communications Service Providers (CPS) are overwhelmed in the management of the equipment they operate, tasks that they usually do it manually. This fact has caused them to search for alternatives to reduce expenses in time and effort, as well as possible operational errors, with network automation being an increasingly used variant in this sector. This basically consists of the transition from processes carried out manually to those where new technologies are applied, with the purpose of improving network performance. Tools developed on Python are included among the possible solutions, the potential of this programming language, together with libraries such as Netmiko, which allow remote access to equipment from multiple manufacturers with protocols such as SSH, open a wide spectrum of applications. This work deals with this interesting topic of network automation with Netmiko, illustrates the benefits of its use with basic examples in a simulated environment on Huawei's eNSP software, and shows the results obtained from its use in a practical application in ETECSA.

**KEY WORDS:** Network automation, Python, Netmiko.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes informáticas, también conocidas como de transmisión de datos o en forma genérica, de telecomunicaciones, tienen una alta incidencia en el mundo contemporáneo, dadas las crecientes necesidades de comunicación permanente entre las personas y al alto impacto de su uso en las tareas cotidianas. En este contexto, la gestión por los administradores y proveedores de servicios juega un rol decisivo en el buen desempeño de los equipos de redes que operan, y, en consecuencia, en la calidad del servicio brindado por las instituciones a las que pertenecen. Esta gestión puede hacerse tanto local como remota, para ello se utilizan programas con interfaces gráficas desarrolladas por los fabricantes de los equipos que operan o por instrucciones que se envían a través de la interfaz de línea de comandos (CLI, del inglés Command Line Interface). Dado el rápido crecimiento que experimentan los dispositivos de redes en la era moderna, así como por la necesidad de atender con mayor rapidez las eventualidades que

en ellos ocurren y al incremento de los costos de operación, tanto en tiempo como en esfuerzo, ha provocado que este sector de la industria busque alternativas que le permitan ir al mismo ritmo de desarrollo, por tal motivo la automatización de redes gana actualmente muchos adeptos.

Estudios recientes evidencian el creciente interés en este campo, tanto a nivel mundial [1], [2], como en nuestro entorno geográfico de Latinoamérica [3]. La Fig. 1 ilustra los principales beneficios esperados de la automatización de redes, obtenidos de encuesta realizada a 70 ejecutivos en implementaciones de 34 empresas líderes de Proveedores de Servicios de Comunicaciones (CSP, por sus siglas en inglés) a nivel mundial, un 48% de ellos se ubica en América, un 28% en Europa – África y el 24% restante en Asia - Pacífico [1]. Casi dos tercios de los encuestados esperan que sus presupuestos para soluciones de automatización de redes aumenten entre un 10% y un 30% anual en este quinquenio, un 21% predice un aumento significativo de más del 30% anualmente y un 19% no espera ningún cambio [1].

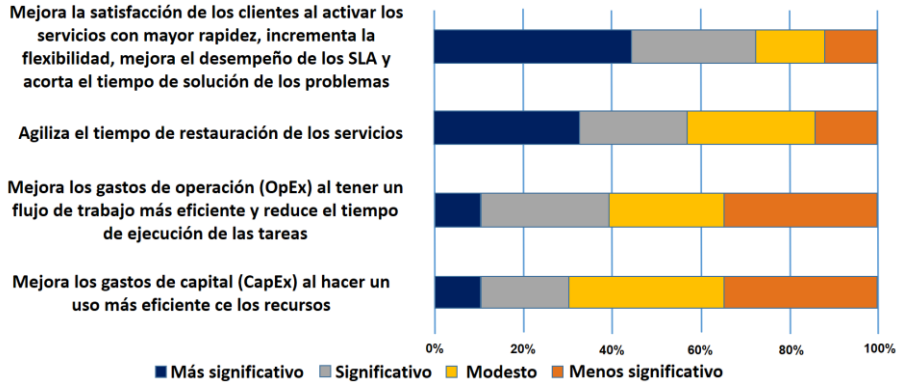



Figura 1: Principales beneficios esperados de la automatización de redes [1].

La automatización consiste en utilizar la tecnología para realizar las tareas previstas, en el caso de las redes minimiza los pasos manuales que se necesitan para gestionarlas, al iniciar sesión en equipos de comunicaciones, para de esta forma modificar sus configuraciones u obtener alguna información deseada. Este proceso se basa en scripts encadenados que se programan en CLI desde un sistema operativo dado o de un software de automatización definido previamente. Estos sistemas funcionan utilizando instrucciones y herramientas en procesos repetibles, para realizar de esta forma las tareas con muy poca o ninguna intervención humana [4].

Las configuraciones sobre los equipos, que se realizan mayoritariamente de forma manual (alcanzan hasta el 95 por ciento de los cambios [3]), pueden generar falta de uniformidad, errores de configuración e inestabilidad de la red, en detrimento de la calidad del servicio brindado. Gracias a la automatización se pueden estandarizar los procesos de gestión de la red, para aplicar las prácticas recomendadas. De esta forma se facilita y humaniza el trabajo, se configuran más rápido y sencillo los equipos de operaciones de la red, y se reduce el tiempo medio de resolución (MTTR) de las interrupciones del servicio [4]. En términos prácticos, los CSP concentran los esfuerzos en aquellas tareas repetitivas y de desempeño más sencillas, donde esperan el mayor impacto de la automatización de redes [1]. En la Fig. 2 se muestra las áreas de la gestión de redes donde mayormente se aplica la automatización [2].

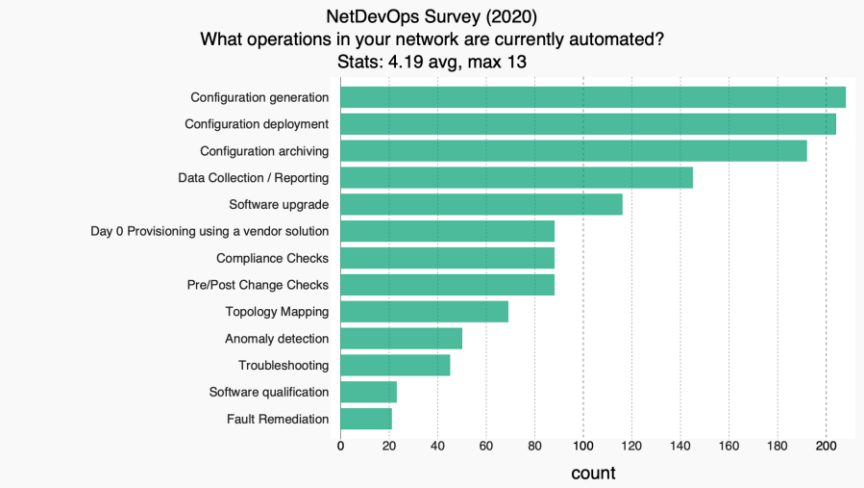



Figura 2: Operaciones donde se aplica mayormente la automatización de redes [2].

Según las investigaciones realizadas, entre los principales desafíos de la automatización de redes se encuentran: la falta de especialistas calificados para gestionar proyectos (48%), la integración de herramientas entre proveedores y dispositivos (44%), la resistencia cultural o política al cambio (40%), la creación de políticas y de gobernanza (36%), el presupuesto limitado para herramientas nuevas (32%) y las ofertas limitadas de soluciones por parte de los proveedores (23%) [3].

Entre las herramientas para la automatización de redes se encuentran disponibles varias bibliotecas sobre Python, como es el caso de Paramiko y Netmiko [1], [2], [5], [6]. Python es un poderoso y versátil lenguaje de programación de alto nivel creado por Guido van Rossum en el año de 1991. Según el sitio de TIOBE Programming Community, este lenguaje goza actualmente de la mayor popularidad entre los desarrolladores de software [7]. Entre sus principales ventajas se encuentran: es gratis, de código abierto, modular y orientado a objetos; su sintaxis es fácil, que lo hace sencillo de comprender y aprender por parte de los usuarios. Cuenta además con potentes bibliotecas para el análisis de bases datos, manejo de archivos, interfaces gráficas y visualización de la información, entre otras muchas, así como de una amplia comunidad internacional, que es activa, participativa y colaborativa. Por lo anterior, no es de extrañar que también sea Python el lenguaje de programación preferido en el campo de la automatización de redes [2] (Ver Fig. 3).

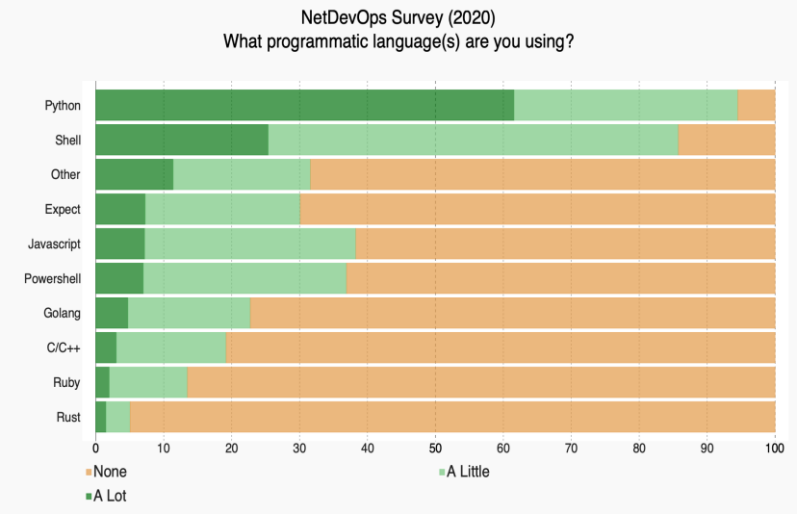



Figura 3: Lenguajes de programación más utilizados en la automatización de redes [2].

Si bien la automatización de redes comenzó por los CSPs, está al alcance de todas las instituciones y administradores que deseen incorporarlas en la gestión de sus dispositivos. El presente artículo se enfoca

en el uso específico de Netmiko en las tareas de automatización de redes y se organiza de la siguiente forma: luego de esta introducción necesaria, en el siguiente acápite se ilustra cómo emplear esta biblioteca a través de un ejemplo simulado, posteriormente se describe una aplicación de su uso como solución a un problema práctico en ETECSA, por último, se recogen las conclusiones a las que arribamos durante la realización de este trabajo y las referencias bibliográficas.

## 2. AUTOMATIZACIÓN DE REDES CON NETMIKO

La biblioteca Netmiko de Python fue desarrollada por Kirk Byers en el año 2014 como una versión mejorada de Paramiko, está diseñada para facilitar la interacción automatizada con dispositivos de red de múltiples fabricantes, como son: Cisco, Juniper, Arista, Huawei y muchos otros [8]. Esta usa varias tecnologías de comunicación, siendo la más importante el protocolo SSH (Secure Shell), que encripta la información transmitida logrando así una comunicación de gestión más segura. SSH está disponible en la mayoría de los dispositivos de telecomunicaciones para su acceso remoto, siendo éste el método más utilizado a la hora de aplicar la automatización al campo de las redes de telecomunicaciones [2] (Ver Fig. 4). Esta biblioteca ayuda a los operadores de redes a enviar comandos, tanto de visualización como de configuración, a equipos tales como switches, routers, firewalls, entre otros, en una forma programática y repetible, y ofrece una manera simple y coherente de automatizar tareas de gestión de dispositivos de red. Lo anterior minimiza la intervención manual de los operadores y reduce el margen de error humano. Esto, unido a las potencialidades que ofrece Python en múltiples áreas, la hace una poderosa herramienta a tenerse en cuenta a la hora de escoger un método eficaz de automatización [5], [9], [10], [11].

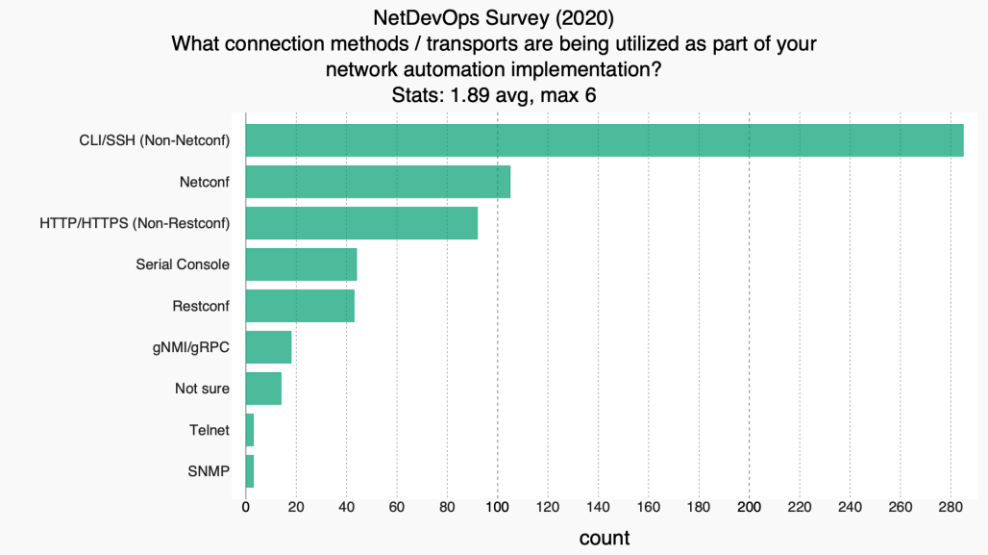



Figura 4: Principales métodos de conexión en la automatización de redes [2].

Durante las pruebas y puesta a punto de los programas desarrollados sobre Python para la automatización de redes es conveniente hacerlos sobre un escenario controlado, de forma que se minimicen las interrupciones sobre los equipos en servicio, que pueden ocurrir por posibles errores que se cometan en su proceso de desarrollo. Una opción económica y ampliamente utilizada resulta los entornos de simulación, siendo los más comunes GNS3, EVE-NG, PnetLab u otros posibles de obtener gratuitamente de Internet [1], [8], [10], [11], [12]. Estos tienen la ventaja de emular imágenes reales de equipos de diversos fabricantes, de forma que los comandos aplicados sobre éstos se pueden extrapolar íntegramente a los equipos reales, entre sus inconvenientes se encuentra que algunos de los equipos virtualizados no disponen de la totalidad de las funcionalidades y prestaciones de los reales.

Para ejemplificar el empleo de la biblioteca Netmiko nos auxiliamos del esquema de prueba de la Fig. 5 (derecha), simulado sobre el software eNSP de Huawei. Este cuenta con 5 conmutadores Ethernet interconectados entre sí (switches), para su gestión remota se configuraron las direcciones IPs que se muestran sobre cada uno de ellos; para garantizar la conectividad a éstos desde la PC donde corre el eNSP

se habilitó una interface de bucle inverso (LoopBack) con IP 192.168.100.1/24 en el extremo de la PC, y se configuró convenientemente para ello cada switch del esquema. Con el propósito de las pruebas se creó en los switches el usuario **admin,** con contraseña **admin**. En un fichero Excell con nombre **equipos_test.csv** se guardaron las IPs definidas para la gestión de cada switch (Ver Fig. 5, izquierda).

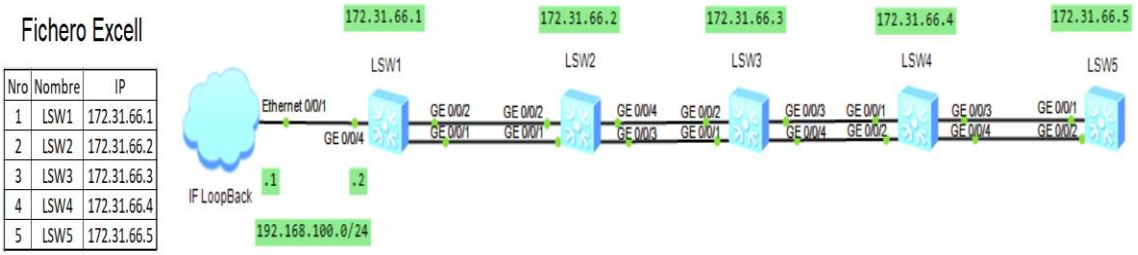



Figura 5: Escenario de pruebas simulado sobre el software eNSP de Huawei.

A manera de ejemplo se muestra seguidamente la configuración básica del LSW1, la que se replica con las IPs de gestión, trazado de VLANs e interfaces que corresponda, según el esquema de la Fig. 5, al resto de los switches.

```
#
sysname LSW1
#
router id 172.31.66.1
#
vlan batch 5 10
#
vlan 5
 description MGMT
vlan 10
 description Conexion vs LSW2
#
aaa
 authentication-scheme default
 authorization-scheme default
 accounting-scheme default
 domain default
 domain default_admin
 local-user admin password simple admin
 local-user admin privilege level 15
 local-user admin service-type ssh
#
interface Vlanif5
 ip address 192.168.100.2 255.255.255.0
 ospf enable 1 area 0.0.0.0
#
interface Vlanif10
 description Connection_To_LSW2
 ip address 172.31.67.1 255.255.255.0
 ospf ldp-sync
 ospf enable 1 area 0.0.0.0
#
interface Eth-Trunk1
 description Connection_To_LSW2
 port link-type trunk
 undo port trunk allow-pass vlan 1
 port trunk allow-pass vlan 10
```

```
 mode lacp-static
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 eth-trunk 1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 eth-trunk 1
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 description Connection_To_PC
 port link-type access
 port default vlan 5
#
interface NULL0
#
interface LoopBack0
 description MGMT
 ip address 172.31.66.1 255.255.255.255
 ospf enable 1 area 0.0.0.0
#
ospf 1
 bfd all-interfaces enable
 bfd all-interfaces min-tx-interval 100 min-rx-interval 100 detect-multiplier 5
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.0
  network 172.31.66.1 0.0.0.0
  network 172.31.67.0 0.0.0.3 description P2P OSPF VS LSW2
#
stelnet server enable
ssh user admin
ssh user admin authentication-type password
ssh user admin service-type all
#
user-interface con 0
user-interface vty 0 4
 authentication-mode aaa
 protocol inbound ssh
#
return
```

Seguidamente se ejemplifica la aplicación de la biblioteca Netmiko en un programa desarrollado sobre Python. Este lee del fichero Excell las IPs de gestión de los switches y se conecta de forma secuencial por SSH a cada uno de ellos (uno a la vez), con el propósito de conocer las interfaces que estén levantadas físicamente (Up), para lo cual lanza el comando **disp int brief | i up**. Se muestra además el tiempo de ejecución del programa, que se utilizará más delante de forma comparativa con el método concurrente de conexión.

```python
from netmiko import ConnectHandler
from netmiko import NetMikoAuthenticationException
from netmiko import NetMikoTimeoutException
from datetime import datetime
import pandas as pd
import numpy as np
```

```python
# Lectura del fichero con las IPs de los equipos
devices = pd.read_csv('D:\Python\equipos_test.csv', delimiter=';')
len_devices = len(devices)
start_time = datetime.now()

def netmiko_connect(ip_device, name_device):
    device_ssh = {
        'device_type': 'huawei',
        'ip': ip_device,
        'username': 'admin',
        'password': 'admin',
    }
    try:
        ssh_connect = ConnectHandler(**device_ssh)
        print("Conectado al equipo: " + name_device)
        int_brief = ssh_connect.send_command('disp int brief | i up')
        print(int_brief)
        ssh_connect.disconnect()
    except(NetMikoAuthenticationException):
        print('Fallo de autenticacion en ' + name_device)
    except(NetMikoTimeoutException):
        print('Tiempo excedido en ' + name_device)
    except Exception as unknow_error:
        print('Error desconocido en ' + name_device)
    return

# Método secuencial
for i in range(len_devices):
    ip_device = str(devices['IP'][i])
    name_device = str(devices['Nombre'][i])
    netmiko_connect(ip_device, name_device)

end_time = datetime.now()
time_exec = str(end_time - start_time)
print("\n")
print('Tiempo de ejecución: ' + time_exec)
```

A continuación, se muestra la información que devuelve el programa para el caso particular del LSW1, así como el tiempo de ejecución al conectarse secuencialmente a los cinco switches.

Conectado al equipo: LSW1
PHY: Physical
*down: administratively down
(l): loopback
(s): spoofing
(b): BFD down
(e): ETHOAM down
(dl): DLDP down

(d): Dampening Suppressed
InUti/OutUti: input utility/output utility

| Interface | PHY | Protocol | InUti | OutUti | inErrors | outErrors |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Eth-Trunk1 | up | up | 0% | 0% | 0 | 0 |
| GigabitEthernet0/0/1 | up | up | 0% | 0% | 0 | 0 |
| GigabitEthernet0/0/2 | up | up | 0% | 0% | 0 | 0 |
| GigabitEthernet0/0/4 | up | up | 0% | 0% | 0 | 0 |
| LoopBack0 | up | up(s) | 0% | 0% | 0 | 0 |
| NULL0 | up | up(s) | 0% | 0% | 0 | 0 |
| Vlanif5 | up | up | -- | -- | 0 | 0 |
| Vlanif10 | up | up | -- | -- | 0 | 0 |

Tiempo de ejecución: 0:00:30.093822

Como se observa, el tiempo de ejecución del programa es muy corto, comparado con el tiempo que tomaría hacer manualmente todo ese proceso. Lo anterior evidencia la simplificación de las tareas y la reducción de los tiempos que se obtiene con el uso de la automatización de redes. No obstante, para la gestión de redes grandes (con cientos o miles de equipos interconectados) el método secuencial puede no ser efectivo, al crecer exponencialmente los tiempos de ejecución con el tamaño de la red [13]. Una solución a este problema es la realización de las tareas en paralelo, empleando para ello el método concurrente de múltiples hilos (biblioteca **threading** de Python) [8], [13]. A continuación, se muestra un ejemplo de su uso, modificando el programa mostrado con anterioridad.

```
from netmiko import ConnectHandler
from netmiko import NetMikoAuthenticationException
from netmiko import NetMikoTimeoutException
from datetime import datetime
import threading
import pandas as pd
import numpy as np

# Lectura del fichero con las IPs de los equipos
devices = pd.read_csv('D:\Python\equipos_test.csv', delimiter=';')
len_devices = len(devices)
start_time = datetime.now()

def netmiko_connect(ip_device, name_device):
    device_ssh = {
        'device_type': 'huawei',
        'ip': ip_device,
        'username': 'admin',
        'password': 'admin',
    }
    try:
        ssh_connect = ConnectHandler(**device_ssh)
        print("Conectado al equipo: " + name_device)
        int_brief = ssh_connect.send_command('disp int brief | i up')
        print(int_brief)
        ssh_connect.disconnect()
    except(NetMikoAuthenticationException):
```

```
        print('Fallo de autenticacion en ' + name_device)
    except(NetMikoTimeoutException):
        print('Tiempo excedido en ' + name_device)
    except Exception as unknow_error:
        print('Error desconocido en ' + name_device)
    return

# Método concurrente
threads = []
for i in range(len_devices):
    ip_device = str(devices['IP'][i])
    name_device = str(devices['Nombre'][i])
    config_thread = threading.Thread(target=netmiko_connect, args=(ip_device,
name_device))
    config_thread.start()
    threads.append(config_thread)
for thread in threads:
    thread.join()

end_time = datetime.now()
time_exec = str(end_time - start_time)
print("\n")
print('Tiempo de ejecución: ' + time_exec)
```

Esta vez el programa devuelve la misma información que el caso antes mostrado, pero con un tiempo de ejecución mucho menor, de 0:00:04.923663 seg. Esto demuestra que el uso de multi-hilos, combinado con Netmiko, mejora la rapidez y eficiencia de ejecución de los comandos en dispositivos múltiples.

## 3. CASO PRÁCTICO DEL USO DE NETMIKO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE REDES EN ETECSA

El servicio conocido como WiFi Interoperabilidad constituye una de las posibles formas de acceso a Internet, que brinda ETECSA como CSP en sitios como hoteles, restaurantes, hospitales, centros de estudio, terminales, entre otros. En la arquitectura de red de este servicio, que se muestra de forma resumida en la Fig. 6, el tráfico de los clientes se transporta capa 2 desde los Puntos de Acceso (APs) de la red WiFi desplegada en cada lugar, hasta los Servidores de Acceso de Banda Ancha (BRAS, por sus siglas en inglés) de la red IP/MPLS. Entre otras funciones, estos equipos fungen como los servidores DHCP hacia los clientes, asignando dinámicamente las direcciones IPs a sus estaciones (STA) o equipos terminales. Para ello es necesario configurar un rango de direcciones IPs privadas, exclusivo para cada sitio en particular. ETECSA como CSP administra y gestiona estos rangos, y su dimensionado se realiza tradicionalmente por métodos empíricos, sobre la base de la información brindada por las instituciones donde se instale el servicio, que incluye la cantidad estimada de clientes concurrentes, calculada a partir del número de APs instalados y la ocupación prevista de las instalaciones, elementos que pueden variar con el tiempo.

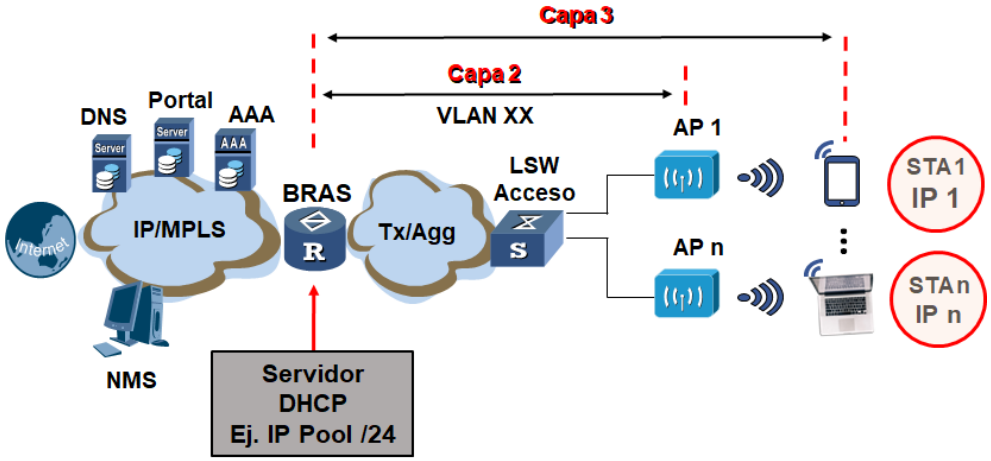



Figura 6: Esquema resumido del servicio WiFi Interoperabilidad de ETECSA.

En la asignación de los rangos IPs antes mencionados pueden darse los siguientes casos:
1.- Pool subdimensionado: Queda por debajo de las necesidades reales. Puede ocurrir que un número de dispositivos de clientes solicite las IPs y no queden direcciones disponibles para asignarle (ocurre agotamiento del rango configurado en el servidor). Esto provoca afectación del servicio, al no poder conectarse aquellos clientes que no logren obtener dinámicamente las direcciones IPs.
2.- Pool sobredimensionado: Queda por encima de las necesidades reales. Provoca un uso ineficiente de recursos de red (IPs) en detrimento del proveedor, que, en caso extremo, puede quedar sin rangos libres para su operación.
3.- Pool correctamente dimensionado: Acorde a las necesidades reales. Sin afectación de clientes ni proveedor.

Un problema que motivó el desarrollo de un utilitario programado sobre Python, fue el hecho de no disponer de herramientas que facilitaran estadísticas precisas del uso de las direcciones IPs en los sitios WiFi. La información requerida para ello se obtenía puntualmente, encuestando de forma manual al BRAS donde estuviera configurado el servicio objeto de análisis. Estos aspectos dificultaban la realización de estudios de comportamiento, que permitieran escoger los rangos óptimos de direcciones IPs. Lo anterior provocaba afectaciones del servicio e insatisfacciones, tanto a clientes como al proveedor.

Para resolver esta situación se elaboró un programa que consta de dos módulos (ver Fig. 7), el primero (izquierda) muestra una sencilla interfaz gráfica de usuario (GUI, del inglés Graphical User Interface) que permite introducir los parámetros necesarios para su ejecución, en su desarrollo se empleó mayoritariamente la biblioteca Tkinter. El segundo (derecha) cuenta a su vez de dos partes, una para la conexión periódica a los equipos vía SSH (utilizando las bibliotecas Netmiko y Schedule), donde se envía a los BRAS el comando **disp ip-pool pool-usage pool-name “nombre del sitio”**, que permite interrogar uno o varios rangos IPs escogidos y procesar convenientemente la información que éste devuelve. La otra parte, luego de terminado el número de lecturas definidas, guarda los datos obtenidos en ficheros Excell y de texto (con extensión .CSV y .TXT), que se pueden usar luego en estudios más amplios, así como en formato PDF, en este caso muestra los datos en forma gráfica. Para esta última parte se emplearon las bibliotecas Pandas y Matplotlib de Python.

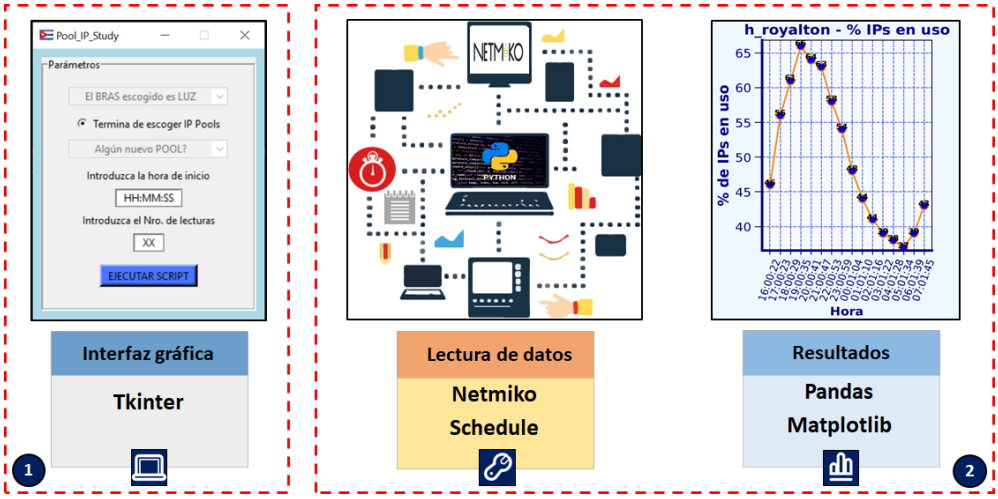



Figura 7: Estructura del programa elaborado sobre Python para estudios del uso de direcciones IPs en sitios WiFi.

En la Fig. 8 se muestra un ejemplo de aplicación de la automatización desarrollada sobre Python, para uno de los casos a los que se le dio seguimiento. De ésta se observa que ocurría agotamiento de direcciones IPs (en los círculos en rojo aparecen momentos en que alcanza el 100% de su uso), esto fue posible detectarlo gracias a la información obtenida con la herramienta desarrollada. Luego de esto se tomaron las acciones correctivas para solucionar el problema, ampliando el rango de direcciones IPs de un /23 a un /22. El uso de la herramienta elaborada facilita los análisis sobre el comportamiento y uso de las direcciones IPs en los sitios WiFi, que contribuye a la toma de decisiones para el ajuste óptimo de los parámetros a partir de los resultados obtenidos. Esto redunda en mejoras de la calidad del servicio brindado y a un uso más eficiente de las direcciones IPs.

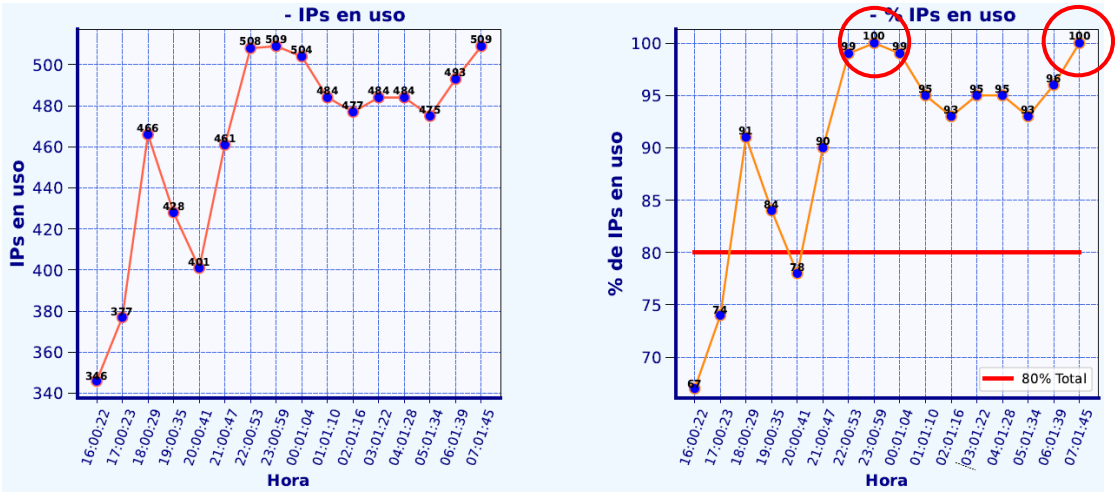



Figura 8: Ejemplo de la información obtenida con la herramienta desarrollada sobre Python.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se hace un acercamiento a la automatización de redes con el lenguaje de programación Python, específicamente se adentra al uso de la biblioteca Netmiko en la gestión remota de dispositivos de redes de fabricantes diversos, utilizando para ello el protocolo SSH. Esto se ejemplifica en un entorno simulado sobre el software eNSP de Huawei, donde se aplican los métodos de conexión secuencial y concurrente (multi-hilo), este último sugerido para la gestión de equipos de sistemas a gran escala, por la reducción de los tiempos de ejecución de los programas que con él se obtienen. En el trabajo se muestran las bondades de la aplicación de Netmiko en la automatización de redes en una solución real, desarrollada

en ETECSA para realizar estudios y análisis de comportamiento del uso de direcciones IPs en los sitios WiFi que opera, con la cual se han obtenido resultados satisfactorios.

**REFERENCIAS**

1. Service Provider Directions in Network Automation: A 2020 Survey. ACG Research. [En línea]. Disponible en Web: https://www.infinera.com/wp-content/uploads/ACG-WP-SP-Directions-in-Network-Automation-2021-Final.pdf
2. GARROS, Damien. NetDevOps Survey 2020. [En línea]. Disponible en Web: https://dgarros.github.io/netdevops-survey/reports/2020
3. BERMÚDEZ VIVES, Danny Fauricio; ARGUELLO CALVO, Jonathan Andrey; VARGAS PÉREZ, Luis; CÓRDOBA RETANA, Julio. "Automatización e integración de sistemas para los dispositivos de red en las compañías de la industria de telecomunicaciones en América Latina". [En línea]. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (ULACIT), Costa Rica, 2022. Disponible en Web: https://repositorio.ulacit.ac.cr/bitstream/handle/20.500.14230/10857/REF-1661626276-pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. ¿Qué es la automatización de la red? [En línea]. RedHat, 2022. Disponible en Web: https://www.redhat.com/es/topics/automation/what-is-network-automation
5. BRENDAN, Choi. "Introduction to Python Network Automation: The First Journey". Apress, Sydney, Australia, 2021. Disponible en Web: https://ebin.pub/qdownload/introduction-to-python-network-automation2021choi9781484268063-9781484268056-9781484268063.html
6. MIHĂILĂ, Paul; BĂLAN, Titus; CURPEN, Radu; SANDU, Florin. "Network Automation and Abstraction using Python Programming Methods". [En línea]. MACRo 2017 - 6th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics, pp. 95-103, Octubre, 2017. Disponible en Web: http://archive.sciendo.com/MACRO/macro.2017.2.issue-1/macro-2017-0011/macro-2017-0011.pdf
7. TIOBE Index Programming Community [En línea]. Disponible en Web: https://www.tiobe.com/tiobe-index/.
8. BYERS, Kirk. Biblioteca Netmiko. [En línea]. Disponible en Web: https://github.com/ktbyers/netmiko
9. SOLANI, Karki; Kiran, V. "Performance Comparison of SSH Libraries". [En línea]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, vol. 23, pp. 868 – 873, Junio, 2021. Disponible en Web: https://jusst.org/wp-content/uploads/2021/06/Performance-Comparison-of-SSH-Libraries.pdf
10. TANDAZO TANDAZO, Jean Carlos. "Automatización de redes para EOT, Automatización de redes con Netmiko". [En línea]. Tesis en opción del título de Ingeniero en Tecnologías de la Información, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, 2022. Disponible en Web: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23212/1/CD%2012633.pdf
11. DANG, Khoa. "Network Automation with Python". [En línea]. Tesis en opción del título de Bachiller en Tecnologías de la Información. Oulu University of Applied Sciences, 2023. Disponible en Web: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/802362/Khoa_Dang.pdf?sequence=2&isAllowed=y
12. BOUMEZRAG Abdelhak, "A Proposed of Novel Network Management Platform for Network Automation and Programmability with Implementation on GNS3". [En línea]. Tesis en opción del título de Máster en Redes y Telecomunicaciones. University of Mohamed Khider Biskra, 2020. Disponible en Web: http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/17845/1/BOUMEZRAG_Abdelhak.pdf
13. Network Automation with Netmiko Multithreading: A Guide to Implementing Threading Module for concurrency. [En línea]. Disponible en Web: https://networkevolution.in/blogpost105-network-automation-with-netmiko-multithreading-a-guide-to-implementing-threading-module-for-concurrency/

**SOBRE EL AUTOR**

Elio Ramón Avila Rodríguez. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella, Santiago de Cuba, 1990. Graduado de Máster en Automática, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2003. Actualmente se desempeña como Experto en Telemática en el Departamento de Operaciones de la Red de ETECSA, pertenece al grupo de profesores adjuntos al Centro Nacional de Capacitación de ETECSA.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# NUEVO MÉTODO DE DISEÑO DE AMPLIFICADOR DE CLASE FV CONTINUO DE BANDA ANCHA

**Especialista 1ra I+D, Ing. Pedro Luis Hernández Portilla[1], Investigador Auxiliar MSc Yosvany González Mandado[2]**

[1,2]Centro de Investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire", Santa Ana No. 47, Nuevo Vedado, Plaza de La Revolución, La Habana
[1]e-mail: phernandezp94@gmail.com
[2]e-mail: yosvanyg@yahoo.com

## RESUMEN

El trabajo presenta un novedoso método para el diseño de amplificadores de radiofrecuencia de potencia Clase FV Continuo (CCF por sus siglas en inglés) descrito por ecuaciones que prevén el espacio de trabajo del amplificador. El diseño está desarrollado con la topología de técnicas de manipulación hasta el 3er armónico y evaluación del límite de ancho de banda de Bode-Fano, logrando que, a partir de una potencia deseada y una frecuencia inicial, el método proporcione el mayor ancho de banda de acuerdo a los datos del transistor a emplear, manteniendo una elevada eficiencia en el ancho de banda de trabajo. Otra ventaja del método es que predice la potencia máxima de salida para eficiencias y anchos de banda determinados. El procedimiento matemático logra eficiencias máximas de 71% y mayores anchos de banda que otros métodos consultados. Se emplea como herramienta matemática el programa MATLAB y la simulación circuital y electromagnética se realizó en el software Pathwave ADS 2020. La función error del software antes del inicio de la optimización resultó menor a 1, demostrando la exactitud del método desarrollado. El diseño empleando un transistor CGH40045F se realizó para un ancho de banda de 1.0 a 2.4 GHz y potencia de 30W. El amplificador construido alcanzó una eficiencia de potencia añadida de 40% a 61% y una potencia de salida de 44.021 a 46.9dBm (25.7 a 48W). El amplificador obtenido es ideal para dispositivos que necesiten de amplificar señal y bajo consumo para el uso con baterías.

**PALABRAS CLAVES:** Amplificador de potencia, amplificador de alta eficiencia, clase F continuo, amplificador de banda ancha.

## ABSTRACT

The work presents a novel method for the design of continuous Class FV radio frequency power amplifiers described by equations that predict the working space of the amplifier. The design is developed in the topology of manipulation techniques up to the 3rd harmonic and in the evaluation of the Bode-Fano bandwidth limit, achieving that from a desired power and an initial frequency the method provides the largest bandwidth according to the data of the transistor to be used, preserve high efficiency in all wideband. Another advantage of the method is that it can predict the maximum output power for given efficiencies and bandwidths. The mathematical procedure allows maximum efficiencies of 71% and higher bandwidths than other methods consulted. The mathematical tool used is MATLAB, and the circuit and electromagnetic simulation was performed in the Pathwave ADS 2020 software. The design method allowed the software error function before the optimization began to be less than 1, demonstrating the accuracy of the method. The design using a CGH40045F transistor was carried out for a bandwidth of 1.0 to 2.4 GHz, with power-added efficiencies (PAE) of 40% to 61% and an output power of 44.021 dBm to 46.9 dBm. The amplifier obtained is ideal for devices that require signal amplification and low consumption for use with batteries.

**KEY WORDS:** power amplifier, high efficiency amplifier, continuous class F, wideband amplifier.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los amplificadores de potencia, lineales o de alta eficiencia, el diseño conlleva a una relación de compromiso entre sus principales parámetros: potencia de salida, ancho de banda, ganancia y eficiencia. Las limitaciones son impuestas por las características del dispositivo y por las redes de acoplamientos y polarización. Para el caso específico de los acoplamientos con redes RC (como las terminaciones de salida de los transistores), las limitaciones son analizadas por el criterio de Bode-Fano. El método desarrollado emplea este criterio, para de conjunto con ecuaciones de diseño de amplificadores en clase F continuo, obtener las dimensiones físicas de las estructuras de acoplamiento.
El amplificador clase F continuo es una extensión, o modo ampliado del Clase F, diferenciándose en que tiene en cuenta un factor ξ que describe el espacio de trabajo del dispositivo con el objetivo de buscar aumentar su ancho de banda, sacrificando en este aspecto las terminaciones resistivas puras y perdiendo potencia a la salida. El rango de los valores de ξ están comprendidos entre -1 y 1, se considera cero cuando es el caso de clase F puro [1]. Basados en las ecuaciones (1) y (2) se aprecia que este término provoca variaciones en la tensión, no así en la corriente, ya que este término queda multiplicando dentro de la serie de Fourier desarrollada a los términos pares de la serie.

$$V_{ds}(\theta) = V_{dc} * \left(1 - \xi cos\theta + \frac{231}{200} sin\theta - \frac{539}{800}\xi sin2\theta + \frac{77}{400} sin3\theta - \frac{77}{800}\xi sin4\theta\right). \quad (1)$$

$$I_{ds}(\theta) = \frac{I_{max}}{2} * (\frac{2}{\pi} \pm sin\theta - \frac{4}{\pi} sin\theta + \sum_{n=1}^{11} \frac{\cos(2n\theta)}{(2n)^2-1}. \quad (2)$$

La idea básica está basada en que la forma de onda de la corriente de salida del transistor conforma una sinusoide, mientras que la forma de onda del voltaje está definida como una onda cuadrada (ver figura 1) desplazada 180 grados para evitar el solapamiento [2][3][4]. El comportamiento de la forma de onda está justificado a partir de (3), la cual denota el comportamiento de la impedancia de entrada de la red de carga en el drenador del transistor de RF según la frecuencia:

$$Z_d = \begin{cases} R_{opt} & en\ f_0 \\ 0 & para\ 2f_0 \\ \infty & para\ 3f_0 \end{cases} \quad (3)$$

Para el caso particular del amplificador clase F continuo con terminación reactiva, se introduce una formulación particular donde influye un parámetro delta (δ), el cual es una constante que vincula directamente la determinación de la impedancia con la eficiencia del dispositivo. Dicha formulación como significado físico tiene implicaciones en la eficiencia del dispositivo, la cual disminuye respecto a un diseño de clase F puro, además permite aumentar su ancho de banda. La impedancia de entrada de la red de acoplamiento de carga queda descrita por (4).

$$Z_d = \begin{cases} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - \delta\right) * R_{opt} + j\left(1 - \frac{7}{12\sqrt{3}}\right) * R_{opt}\xi & en\ f_0 \\ \frac{3\pi}{8}\left(\frac{5}{3\sqrt{3}} R_{opt}\delta - j * \left(\frac{7}{3\sqrt{3}} - \delta\right) * R_{opt}\xi\right) & para\ 2f_0 \\ \infty & para\ 3f_0 \end{cases} \quad (4)$$

El resultado a estas modificaciones matemáticas en las fórmulas que caracterizan el comportamiento de la impedancia de salida del transistor conlleva al desfasaje existente entre las curvas de corriente y voltaje no cumplen los 180 grados, pero tampoco quedarán solapadas una respecto a otra (ver figura 1). Se observa en la figura siguiente como varia el desfasaje, siendo el comportamiento característico apreciable en este tipo de amplificador.

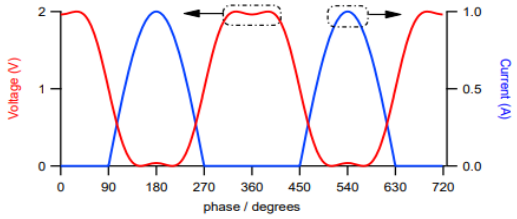



Figura 1: Curvas de corriente vs voltaje en el drenador del transistor.

## 2. DISEÑO DE AMPLIFICADOR CLASE FV CONTINUO.

El proceso de diseño se basa en una topología de la red de acoplamiento de salida que manipula hasta el 3er armónico. El método parte de la condición inicial de una eficiencia máxima de 71% (condición proporcionada por la topología de manipulación del 3er armónico y consiste en el desarrollo de los pasos siguientes:

1. Selección del dispositivo activo que cumpla con las exigencias de potencia y frecuencia máxima.
2. Obtener la frecuencia inicial y la frecuencia de diseño.
3. Calcular condiciones del criterio de Bode-Fano.
4. Calcular la resistencia óptima y condición de estabilidad empleando las expresiones características según la clase operación a tratar (clase B o AB).
5. Calcular parámetros de líneas de transmisión de redes de acoplamiento.
6. Optimizar los parámetros de las líneas de transmisión de las redes.

**Cálculo de resistencia de carga óptima.**

El transistor seleccionado fue el HEMT CGH40045F (ganancia:14dB, potencia de salida saturada: 55W y frecuencia máxima de 4GHz). La resistencia óptima se determina en función de la potencia del amplificador y de la polarización que se desea. Partiendo de la teoría de amplificadores clase F, es conocido que este tipo de amplificador no es más que un amplificador conmutado, el cual hace uso de modificaciones en la red de acoplamiento, pero parte de una polarización para amplificadores clase B o clase AB como se muestran en las ecuaciones (5) y (6).

$$R_{opt} = \frac{8}{\pi}\frac{(V_{cc}-V_{sat})^2}{I_m}. \qquad (5)$$

$$R_{opt} = \frac{2}{3}\frac{{V_{cc}}^2}{P_{out}}. \qquad (6)$$

De la ecuación (4), es apreciable como influye sobre la eficiencia del drenador el coeficiente delta (δ), que permite un control y vínculo entre el ancho de banda y la eficiencia máxima permitida (7).

$$\eta = \frac{\pi(\frac{2}{\sqrt{3}}-\delta)}{4-\frac{4}{\sqrt{3}}\delta}. \qquad (7)$$

Una ventaja del método es que posibilita obtener el ancho de banda máximo a partir de la eficiencia (71%) y de la potencia máxima deseada aplicando el criterio de Bode-Fano.

**Criterio de Bode-Fano aplicado al ancho de banda.**

Uno de los mayores retos es lograr grandes anchos de banda con terminaciones de carga RC (formada por resistencia de carga óptima y capacidad drenador-fuente (Cds) del transistor; este requisito está sujeto a varios factores internos y propios del diseño. Aplicando el criterio de Bode-Fano a las condiciones de la

red de acoplamiento, es posible determinar con un acertado margen de exactitud, para los requisitos de eficiencia y potencia, cual es el ancho de banda al que responderá el diseño. El criterio de límites de Bode-Fano es la mejor descripción teórica de enlace entre ancho de banda a obtener bajo una red de acoplamiento de bajas pérdidas. La ecuación (8) muestra el criterio de Bode-Fano en su forma integral, y luego las expresiones (9) y (10) en función del coeficiente de reflexión y del ancho de banda logrado [5].

$$\int_0^\infty \ln\left(\frac{1}{|\Gamma|}\right) dw \leq \frac{\pi}{RC}. \qquad (8)$$

$$\Delta f \leq \frac{1}{2RC\ln|\Gamma|} \qquad (9)$$

$$\Gamma \geq e^{\frac{-1}{2\Delta f RC}} = e^{\frac{-\pi Q_2}{Q_1}} \qquad (10)$$

$$\text{Donde } Q_1 = \frac{R}{X_c} \text{ y } Q_2 = \frac{f_0}{\Delta f} \qquad (11)$$

Para el caso que sea un corto circuito puro, $X_c = 0$, lo que implica que el factor de calidad ($Q_2$) en función de la relación resistivo-reactivo tiende numéricamente a un valor muy grande, que implica que el coeficiente de reflexión sea máximo y por consiguiente ancho de banda mínimo. Físicamente representa que a medida que se logre una red de acoplamiento con control de armónico en terminaciones reactivas se lograra un aumento considerable del ancho de banda del diseño (ver figura 4). El aumento de la capacidad de los HEMT con la frecuencia, de conjunto con la disminución de la resistencia optima de carga complejizan la obtención de altas potencias en frecuencias elevadas.

**Diseño amplificador de 1-2.4GHz y 30 W.**

La red de acoplamiento de la entrada debe garantizar la máxima transferencia de energía lo cual es determinante en la ganancia del amplificador. Para su diseño se emplearon técnicas de acoplamiento de impedancia para banda ancha empleando transformaciones de impedancia de varios pasos de $\lambda/8$ (como submúltiplo de $\lambda/4$). En esta red se incorporan los elementos necesarios para lograr la estabilidad del amplificador. El amplificador es diseñado con topologías de red de acoplamiento de salida con manipulación hasta 3er armónico) (ver figura 2). Apoyado en el empleo de la herramienta Matlab [1] se determina la frecuencia de diseño y empleando el criterio de Bode-Fano el ancho de banda para una potencia de 30W.

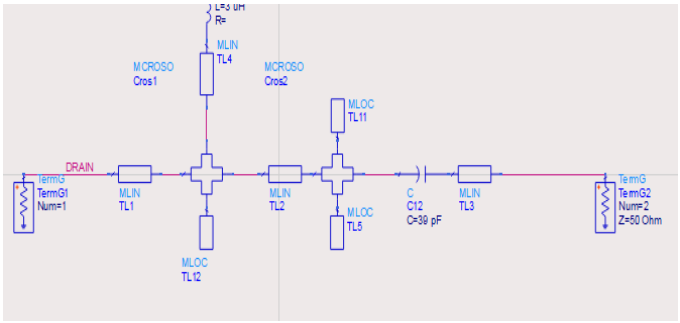



Figura 2: Red de acoplamiento a la salida y control de armónicos.

Para mayor ancho de banda la polarización clase AB garantiza una corriente mínima del punto de partida, la cual degrada la eficiencia del dispositivo, que depende del voltaje de rodilla ($V_{Knee}$) [3]. El ángulo de conducción de esta clase establece la forma de onda cuadrada del voltaje, garantizando el aporte del 3er armónico a la potencia final [6]. En [7][8] empleando tecnología LDMOS en la banda de frecuencia entre 300-1000 MHz, se aplica para la red de control de armónico un filtrado paso bajo una topología Chebyshev, la cual presenta una terminación a través de una red LC para garantizar mayor ancho de banda que con una terminación resistiva pura. Como desventaja esta estructura presenta elevados valores de pérdida por inserción. La red de control de armónicos a emplear en este amplificador posee una estructura que controla la frecuencia fundamental, 2do y 3er armónico.

La red de acoplamiento a la salida contiene el control de los armónicos pares e impares. Además, se encargará de acoplar la resistencia de carga necesaria del transistor respecto a los 50 ohm de salida. Cada red de acoplamiento, tanto a la entrada como a la salida, incorpora la red de filtrado y polarización del dispositivo activo.
La topología clase F tiene limitaciones que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar. En una primera instancia "limitación de armónico", que consiste en que teóricamente un 100% de eficiencia puede alcanzarse, para lo cual se debe controlar un contenido de infinito de armónicos, lo cual es imposible en la práctica. La Tabla 1 muestra los valores empíricos de eficiencia a los cuales se puede llegar según la cantidad de contenido armónico controlado. **M** representa armónicos impares y **N** armónicos pares.

Tabla 1: Eficiencia de drenador óptima para clase F en función del control de armónico.

| | **Clase F, eficiencia (%)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **N** | M=1 | **M=3** | **M=5** | **M=∞** |
| 1 | 50 | 57.7 | 60.35 | 65.66 |
| 2 | 70.71 | 81.6 | 83.35 | 90.03 |
| 4 | 75 | 86.4 | 90.52 | 95.48 |
| ∞ | 78.54 | 90.63 | 94.8 | 100 |

A los valores antes tabulados es necesario incorporar la "limitación por desplazamiento de corriente directa", lo cual implica que esos valores de eficiencia presentan un rendimiento ligeramente menor. Esto se produce debido a que los valores mínimos de corriente y voltaje no son cero, lo que hace que una fracción de la corriente directa no esté disponible para la conversión de energía de RF, provocando una reducción de la eficiencia general [9] [10]. El valor de eficiencia se verá afectada en una razón de 0.8 a 0.9 respecto a la eficiencia total, un valor de 71 % de eficiencia es un valor común para amplificadores trabajando en zona de compresión (de 1 hasta 3 dB de compresión de ganancia) [11][8]. Tener en cuenta que esta eficiencia puede disminuir en un diseño para banda ancha. El caso de diseño que ocupa es en función de la mayor eficiencia posible en toda la banda de frecuencia de interés.
Basado en los aspectos antes expuestos se formulan las ecuaciones que permiten determinar las características físicas de cada uno de los elementos de la red de acoplamiento y control de armónicos del amplificador diseñado (ver figura 2).

$$Z_0 = \sqrt{Z_{opt} Z_3} \qquad (12)$$

$$\theta_0 = \frac{1}{3}\tan^{-1}\left(\frac{1}{3w_0 R_{opt} C_{ds}}\right) \qquad (13)$$

$$L = \frac{1}{w_0^2 C_{ds}} \qquad (14)$$

$$Z_1 = Z_0 \qquad (15)$$

$$Z_2 = \frac{3Z_3 X_A}{\sqrt{3}Z_3 + X_A} \qquad (16)$$

$$\text{Donde} \quad X_A = Z_0 \qquad (17)$$

$$\theta_3 = \frac{1}{3}\tan^{-1}\left(\frac{1}{3w_0 R_L C_{ds}}\right) \qquad (18)$$

La línea de transmisión $TL_1$ tiene un comportamiento inductivo y se emplea para compensar el efecto parásito de la capacidad drenador-fuente del transistor ($C_{ds)}$ en la frecuencia fundamental, de igual manera se comporta como un circuito abierto para el 3er armónico. Su longitud física está dada por la relación λ/12. La línea $TL_2$ con una longitud de λ/4 se comporta como un cortocircuito en el 2do armónico y un circuito abierto a la fundamental y 3er armónico. La línea $TL_4$ controla el 3er armónico a longitud de λ/12 y con compensación en $TL_5$ a una longitud física de λ/6, la cual garantiza una terminación reactiva, tal como

expresa teoría para clase F continuo. En ambas líneas la impedancia representativa a infinito, está dada por la relación matemática $1.5Z_L$.

La frecuencia de diseño a partir de la cual se realizan los cálculos de longitud física de las redes de acoplamiento se asume como la frecuencia al 3er armónico. Esta frecuencia está influenciada por un coeficiente para contrarrestar el efecto de la velocidad de fase sobre el sustrato (entre 0.9 y 0.96). Se tiene en cuenta el margen de error que ofrece el software de simulación dependiendo del sustrato, que puede desplazar el comportamiento de la simulación en un entorno de 200 MHz hacia la parte alta de la banda de frecuencia.

## 3. SIMULACIÓN Y MEDICIÓN DE AMPLIFICADOR PROPUESTO.

El diseño propuesto fue construido en sustrato ROGERS RO4350B (0.76 mm de grosor) y transistor de la firma MACOM CGH40045F. La simulación se realizó en software Pathwave Advanced Design System.
A partir del modelo no lineal se obtuvieron las curvas de corriente contra voltaje para seleccionar el punto de operación correspondiente a clase B (ver figura 3).

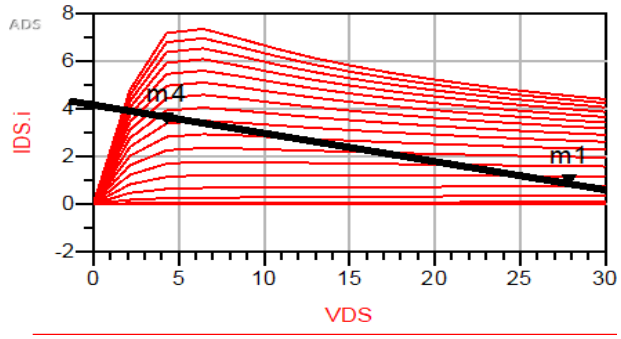



Figura 3. Curvas de Corriente vs. Voltaje

Para la estabilidad del circuito (configuración de la figura 3) se aprecia que el comportamiento del factor de estabilidad (factor K) o criterio de Rollet es superior al valor unitario en toda la banda de frecuencia.

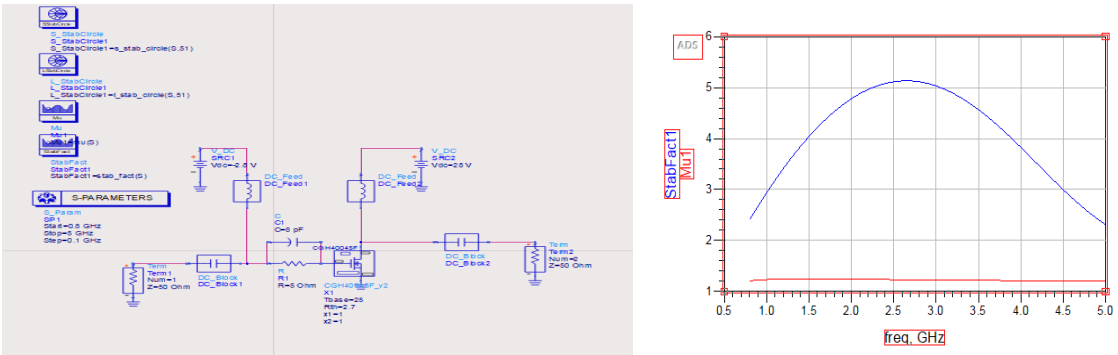



Figura 4: Circuito y medición de estabilidad de CGH40045F

Basado en las ecuaciones y teorías antes expuestas se obtuvo la red de acoplamiento de entrada y la red de acoplamiento de salida junto con el control de armónico. Mediante la simulación electromagnética se obtuvo el comportamiento de las curvas de corriente de drenador contra voltaje (en frecuencia 2.1GHz) demostrándose que la curva de tensión describe una forma cuadrada en las crestas de los máximos y desplazado 180 grados respecto a la sinusoide de la corriente (ver figura 5).

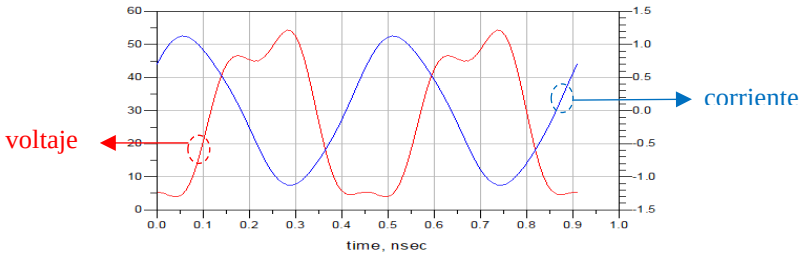



Figura 5: Voltaje (rojo) vs. Corriente (azul) de drenador para clase F.

Para validar la teoría se realizaron mediciones de la red de acoplamiento a la salida para verificar el comportamiento de la frecuencia fundamental y de los armónicos 2 y 3 (ver figura 6). Se aprecia que el comportamiento de los armónicos y la frecuencia fundamental responde a los fundamentos teóricos descritos. Tomando la frecuencia 2.2 GHz, se aprecia que la fundamental se ubica en la curva correspondiente a los 50 ohm en la carta de Smith normalizada, mientras que el 2do armónico tiende a comportarse como un cortocircuito con terminación reactiva inductiva para compensar los efectos parásitos del capacitor drenador-fuente del transistor. El 3er armónico tiende a tener un comportamiento de circuito abierto. Los desplazamientos en la carta Smith hacia la región inductiva o capacitiva depende del valor del espacio de trabajo seleccionado.

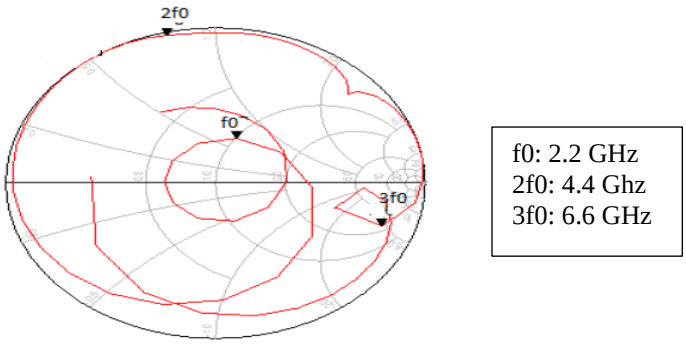



Figura 6: Comportamiento de red de acoplamiento de salida y control de armónico en carta Smith de 0.8-8.0GHz.

Se realizaron simulaciones de balance de armónico para obtener la respuesta transferencial del amplificador, así como la eficiencia de potencia añadida (PAE). Se obtuvieron mediciones de potencia entre 44.021 a 46.9 dBm (28 a 48W) en toda la banda de frecuencia con una ganancia de 10 a 12 dB (ver figura 7). Las mediciones de la eficiencia de potencia añadida (PAE) resultaron en el rango entre 40% y 61%.

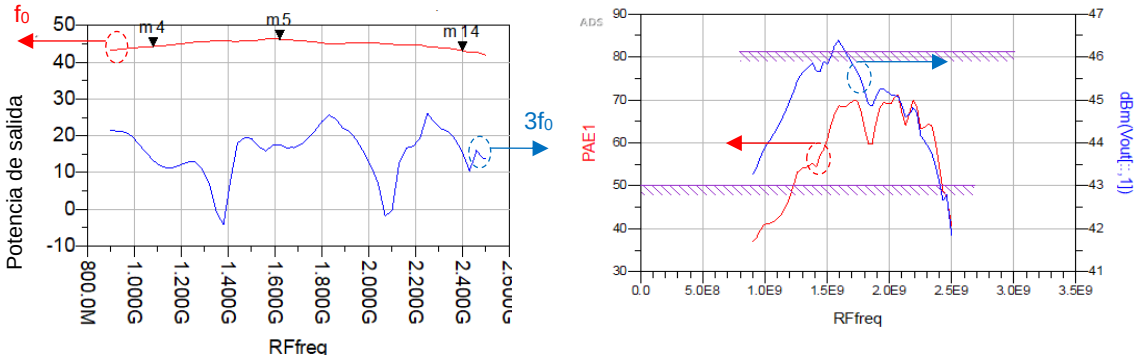



Figura 7: Resultados de potencia de salida a $f_0$ y $3f_0$ (izquierda), PAE (rojo) y potencia de salida (azul) (derecha).

Se realizaron simulaciones de potencia de salida y ganancia respecto a la potencia de entrada, parámetros convenientes a medir para precisar el trabajo en la zona no lineal del dispositivo y su comportamiento al estar trabajando en punto de compresión de 1dB y 3dB (ver figura 7).

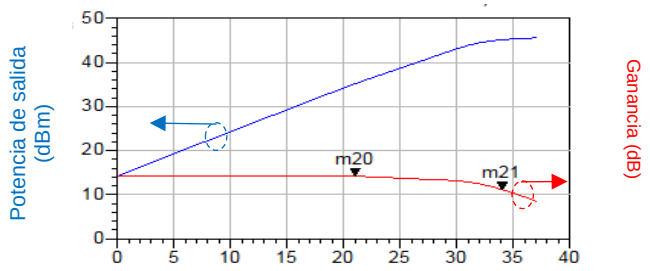



Figura 8: Potencia de salida y ganancia vs. potencia de entrada.

Para validar el nuevo método de diseño propuesto se construyó un amplificador (figura 9) y se compararon sus resultados respecto a la simulación y a otros resultados reportados.

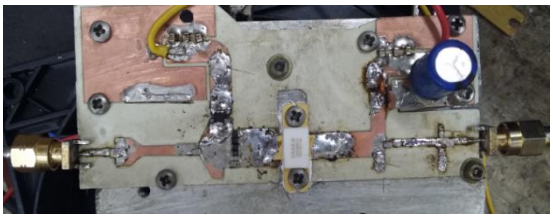


Figura 9: Foto de amplificador clase FV continuo construido.

Las figuras 10 y 11 muestran una comparación entre las potencias y eficiencias obtenidas en la simulación y las medidas en el amplificador construido.

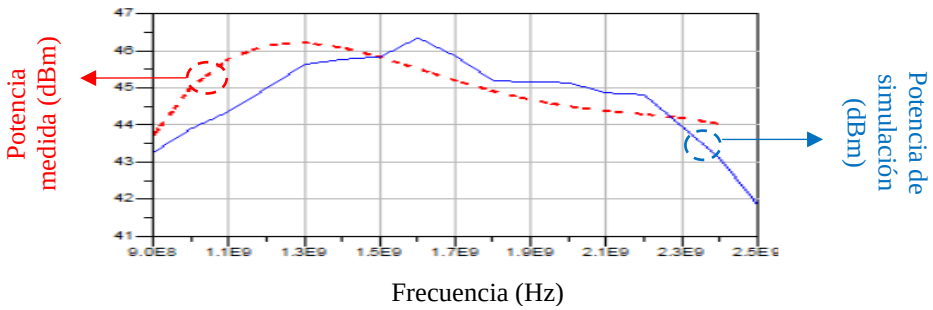



Figura 10: Foto de amplificador clase FV continuo construido.

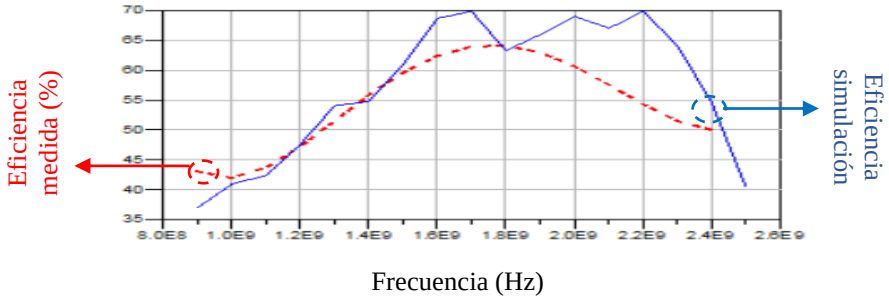



Figura 11: Foto de amplificador clase FV continuo construido.

La tabla 2 registra los resultados de las mediciones realizadas al dispositivo obtenido con sus correspondientes valores de eficiencia de drenador. Destacar que el dispositivo obtenido a diferencia de la simulación trabaja en el entorno de 1 a 2.2GHz.

Tabla 2: Medición de amplificador construido con respectivos valores de eficiencia.

| Frecuencia [GHz] | Potencia salida [W] | Eficiencia [%] |
|---|---|---|
| 1 | 28.18 | 45.75 |
| 1.1 | 35.52 | 44.51 |
| 1.2 | 39.31 | 46.03 |
| 1.3 | 49.15 | 53.51 |
| 1.4 | 47.15 | 59.30 |
| 1.5 | 43.35 | 61.93 |
| 1.6 | 25.41 | 51.56 |
| 1.7 | 31.51 | 63.95 |
| 1.8 | 32.21 | 65.36 |
| 1.9 | 30.58 | 61.37 |
| 2 | 28.97 | 59.13 |
| 2.1 | 27.67 | 55.21 |
| 2.2 | 25.23 | 51.79 |

Tabla 3: Comparación de resultados con otros trabajos

| Referencia | BW [GHz], % | Potencia [W] | Eficiencia [%] | Ganancia [dB] | Método |
|---|---|---|---|---|---|
| [8] | 2.2-2.8 GHz, (24) | 12-20 | 66-80 | 11-13 | $CF^{-1}$ |
| [11] | 1.85-2.7 GHz, (37.36) | 10 | 68-77 | 11 | SRFT |
| [12] | 3.2-3.8 GHz, (17.1) | 11-16 | 65-75 | 12 | Continuous BL-PA |
| [13] | 1.7-2.5 GHz, (38.0) | 12 | 68-79 | 11-11.8 | CCF |
| Este artículo | 1.0-2.2 GHz, (75.0) | 25-49 | 44.5-61 | 10-11.3 | CCF (armónico reactivo) |

***$CF^{-1}$:*** *Clase F inverso*
***SRFT:*** *Técnica de frecuencia real simplificada*
***BL-PA:*** *Amplificador de potencia lineal de banda ancha*
***CCF:*** *Clase F continuo*

## 4. CONCLUSIONES

El método desarrollado posibilita un aumento en el ancho de banda y la obtención de mayores potencias con alta eficiencia (71% teórico) teniendo en consideración los parámetros del dispositivo activo empleado. La eficiencia máxima de 71% se encuentra afectada por factores de construcción, influyendo, además, el margen de desviación del software de simulación. El dispositivo obtenido a diferencia de la simulación fue evaluado en la banda de frecuencias de 1 a 2.2GHz. El aumento de potencia y frecuencia complejiza la interacción entre dispositivos activos y redes de acoplamiento (Criterio Bode-Fano), por lo que el desarrollo de ecuaciones matemáticas y sus soluciones mediante software minimiza la complejidad de las soluciones, los tiempos de diseños y la configuración de sus principales parámetros (potencia, ancho de banda, ganancia y eficiencia). El amplificador construido, por su alta eficiencia puede ser empleados en sistemas móviles y cubrir la banda L del espectro.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a los miembros del Grupo de Radio del CIDP por su colaboración en la construcción del amplificador.

**REFERENCIAS**

[1] S. M. H. Syed Anera *et al.*, "High-Efficiency Broadband PA Design Based on Continuous Class-F Mode with Compression," in *2019 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Junio 2019, pp. 698–701. doi: 10.1109/MWSYM.2019.8700767.

[2] F. M. A. Al-Raie, M. H. Al-Muifraje, and T. R. Saeed, "A new technique for the characterization and design of class-F RF power amplifiers," in *2018 Third Scientific Conference of Electrical Engineering (SCEE)*, IEEE, 2018, pp. 168–173.

[3] V. Carrubba, "Novel highly efficient broadband continuous power amplifier modes," 2012.

[4] A. Grebennikov and M. Franco, *Switchmode RF and Microwave Power Amplifiers*. 2021.

[5] "AN-013: Broadband Performance of GaN HEMTs." NITRONEX CORPORATION, May 2009. [Online]. Available: https://shop.richardsonrfpd.com/docs/rfpd/ Nitronex_Broadband_Performance _GaN_HEMTs_App%20Note.pdf

[6] M. MOLINA CESEÑA and J. A. Reynoso Hernández, "Caracterización de transistores de potencia para el diseño de amplificadores en modo continuo utilizando un Load-Pull a baja frecuencia Characterization of power transistors to design continuous mode amplifiers using a Low-Frequency Load-Pull," Tesis de doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, 2023.

[7] S. Zarghami, M. Hayati, M. K. Kazimierczuk, and H. Sekiya, "Continuous class-F power amplifier using quasi-elliptic low-pass filtering matching network," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 67, no. 11, pp. 2407–2411, 2020.

[8] N. Poluri and M. M. De Souza, "High-Efficiency Modes Contiguous with Class B/J and Continuous Class **F** and $F^{-1}$ Amplifiers," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 29, no. 2, pp. 137–139, Feb. 2019, doi: 10.1109/LMWC.2018.2886655.

[9] S. M. H. Syed Anera *et al.*, "High-Efficiency Broadband PA Design Based on Continuous Class-F Mode with Compression," in *2019 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Jun. 2019, pp. 698–701. doi: 10.1109/MWSYM.2019.8700767.

[10] F. You and J. Benedikt, "An Optimized-Load-Impedance Calculation and Mining Method Based on I–V Curves: Using Broadband Class-E Power Amplifier as Example," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 7, pp. 5254–5263, Jul. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2868020.

[11] A. S. Sayed and H. N. Ahmed, "A 10-W, High Efficiency, Broadband Harmonically Tuned GaN-HEMT Power Amplifier," in *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, May 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/ISCAS.2018.8351451.

[12] T. Qi, S. He, and M. Haider, "Design of continuous high-efficiency broadband linear power amplifier using two-tone signal analysis," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 62, Sep. 2019, doi: 10.1002/mop.32048.

[13] Q. Ji, D. Chen, Z. Chen, and Y. Zhao, "Design of Continuous Class-F Mode Power Amplifier with High Gain Flatness," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2221, p. 012018, May 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2221/1/012018.

**Sobre los autores**

**Pedro Luis Hernández Portilla:**

**ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-0521-1141

Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica (2017) en UTH "José Antonio Echevarría".

Actualmente Especialista de 1ra en Investigación y Desarrollo en el Grupo de Radio y Antenas del Centro de Investigación y Desarrollo "Grito de Baire". Perfil de trabajo orientado en la investigación y desarrollo de dispositivos de radiofrecuencias y amplificadores de potencia de radiofrecuencia y microondas.

Participación en eventos científicos: 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 54 aniversario de la CUJAE (ponente), 20 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 58 Aniversario de la CUJAE, XVIII Convención y Feria Internacional Informática 2022 (ponente), XIX Convención y Feria Internacional Informática 2024 (ponente). Publicación en Telemática: "Diseño, simulación y construcción de amplificadores de potencia en banda L con transistores de electrones de alta movilidad de nitrito de galio (2018)."

**Yosvany González Mandado:**

**ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-6449-1529

Graduado en Radioelectrónica (1991) en ITM, Máster en Electrónica en UTH "José Antonio Echevarría" (2006). Actualmente Investigador Auxiliar y Jefe de Grupo de Radio y Antenas del Centro de Investigación y Desarrollo "Grito de Baire". Perfil de trabajo orientado en la investigación y desarrollo de sistemas de transmisión, antenas y amplificadores de potencia de radiofrecuencia y microondas.

Participación en eventos científicos: 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 54 aniversario de la CUJAE, 20 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 58 Aniversario de la CUJAE, XVIII Convención y Feria Internacional Informática 2022, XIX Convención y Feria Internacional Informática 2024 (ponente). Publicación en Telemática: "Diseño, simulación y construcción de amplificadores de potencia en banda L con transistores de electrones de alta movilidad de nitrito de galio".

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# COMPONENTE PARA DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR ESP32 E INTERFAZ INALÁMBRICA Y PROTOCOLO HTTP

**David Alejandro Chentes Ramos[1], Thaily Blanco Baro[1], Fidel Ernesto Hernández Montero[2]**

[1]Universidad de Pinar del Río, Calle Martí, 270, Pinar del Río, Cuba, [2]Universidad Tecnológica de La Habana, Calle 114, Marianao, La Habana, Cuba
[2]e-mail: fhernandez@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

En este trabajo se desarrolló y validó un componente de disponibilidad remota de datos como parte de un sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial. Este sistema está diseñado para implementarse en la industria nacional y apoyar estrategias de mantenimiento predictivo. La solución se basa en una plataforma que utiliza el microcontrolador ESP32 para la captura, almacenamiento y transmisión de datos via Wifi a un servidor. En dicho servidor se ejecuta el software escrito en Python para la gestión de la información y cuentas de usuarios, así como un servidor web para dar accesibilidad al software a través de internet, y un servidor DNS para enmascarar el IP y entregarle un nombre de dominio. El sistema desarrollado se sometió a pruebas exhaustivas, que incluyeron la verificación de la gestión remota de datos sensados, la administración de cuentas de usuario, y la adaptación a diferentes tipos de pantallas. Las pruebas confirmaron que el sistema cumple con los requisitos de funcionalidad, accesibilidad y adaptabilidad. Los resultados obtenidos validan la efectividad del sistema para su uso en aplicaciones industriales, demostrando su capacidad para manejar datos de manera remota y asegurar su correcto almacenamiento y visualización.

**PALABRAS CLAVES:** Disponibilidad remota de datos, Monitoreo y diagnóstico industrial, ESP32, red de sensores

## COMPONENT FOR REMOTE DATA AVAILABILITY BASED ON THE ESP32 MICROCONTROLLER, A WIRELESS INTERFACE AND THE HTTP PROTOCOL

**ABSTRACT**

In this work, a remote data availability component was developed and validated as part of a fixed system for industrial monitoring and diagnostics. This system is designed to be implemented in the national industry and support predictive maintenance strategies. The solution is based on a platform that utilizes the ESP32 microcontroller for data capture, storage, and transmission via Wi-Fi to a server. On this server, software written in Python manages information and user accounts, while a web server provides internet access to the software, and a DNS server masks the IP address and assigns a domain name. The developed system underwent extensive testing, including verification of remote management of sensed data, user account administration, and adaptation to different screen types. The tests confirmed that the system meets the requirements for functionality, accessibility, and adaptability. The results validate the effectiveness of the system for industrial applications, demonstrating its capability to handle data remotely and ensure proper storage and visualization.

**KEY WORDS:** Remote data availability, Industrial monitoring and diagnostics, ESP32, Sensor network.

## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea en general, la disponibilidad de imprescindibles servicios (como: los relacionados con la salud, la educación, las telecomunicaciones, etc.) y producciones de bienes de consumo, se encuentran íntimamente vinculadas con la disponibilidad energética, la cual, por el agudo

impacto del cambio climático y el cercano agotamiento de los combustibles fósiles, requiere un uso más eficiente [1].

El monitoreo de la condición en máquinas de producción es una tarea de suma importancia en los programas de mantenimiento modernos para asegurar la máxima productividad [2]. El accionar y la logística para minimizar los costos asociados a una máquina productiva detenida requiere de sistemas informáticos que respondan adecuadamente a los cambios en la condición del activo. En muchos casos, lecturas de nivel y tendencias son consideradas suficientes para que la maquinaria trabaje en zonas seguras y se pueda evitar la rotura intempestiva de alguno de sus componentes. En este contexto representa importancia trascendental el aseguramiento de elevados niveles de confiabilidad de la tecnología industrial instalada, ya no solo para el uso más eficiente de los portadores energéticos, sino también para el aumento de la productividad y la seguridad operacional, y la reducción del impacto ambiental. La estrategia más sintonizada con esta cuestión lo constituye el mantenimiento basado en la condición, para lo cual se requiere monitorear regularmente la condición de los sistemas [3] para tomar decisiones en función de la desviación de su funcionamiento en relación con su comportamiento esperado; es una estrategia de mantenimiento predictivo.

Existen diferentes opciones de sistemas de monitoreo por condición (CMS) disponibles en el mercado, algunas de las cuales pueden ser sistemas integrados a la maquinaria a monitorear o sistemas independientes vendidos por otras compañías [4]. Los enfoques más generalizados de CMS del tipo online se pueden encontrar siguiendo dos formas:

- Sistema de monitoreo continuo (fijo),
- Sistema de monitoreo no continuo (portable),

de las cuales los equipos fijos, como su nombre lo indica, se refieren sistemas de monitoreo y diagnóstico dedicados a la tarea a tiempo completo, caracterizados por utilizar un gran número de sensores (que pueden ser de diversos tipos) para monitorear maquinarias críticas que requieren una vigilancia constante de su condición [5]. Por su importancia esta investigación se centrará en este tipo de sistema.

En general, los sistemas CMS fijos son fabricados por países tecnológicamente desarrollados y se venden a precios relativamente elevados [6], al punto de que la generalización de su empleo a lo largo de nuestro país se hace muy limitada. Por otra parte, comprar a un fabricante específico significa depender por entero de este: los servicios de postventa, la continuidad o actualización de las líneas de equipos adquiridas, etc., llevan consigo obligatoriamente el intercambio con los especialistas foráneos y el encarecimiento de los servicios que correspondan. Existen ejemplos de empresas cubanas (por ejemplo, centrales termoeléctricas, EMCE, centrales azucareros) que han aplicado de manera limitada tecnología foránea moderna de monitoreo y diagnóstico, adquirida a precios apreciablemente elevados [7], que no se encuentra adaptada a las características propias del contexto industrial nacional. Por otro lado, también existen muchas empresas, por ejemplo, del MINAL, del SIME, del MINEM, que no están utilizando la tecnología más actualizada. A este contexto se suma el hecho de que los fabricantes de los sistemas que se encuentran en uso en el país, por ejemplo, PRUFTECHNIK y SCHENK, o han sido asimilados por firmas estadounidenses, o han decidido romper lazos con nuestro país, por tanto, se puede decir categóricamente que los sistemas introducidos han perdido sus contactos con sus proveedores [8], sin poder acceder a los necesarios servicios de postventa, mantenimientos, entre otros.

Esta situación ha llevado a que exista una indisponibilidad general de sistemas de monitoreo y diagnóstico industrial en nuestro país para la implementación de mantenimiento basado en la condición; y este es el problema que motiva la presente investigación. Para resolver el problema se ha decidido desarrollar, de manera endógena, en el marco de un proyecto asociado a un Programa Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, una propuesta de sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial, lo cual involucraría el desarrollo de una serie de componentes y la actividad de un equipo multidisciplinario. En particular, el trabajo que se presenta se dirige a diseñar y validar el componente de disponibilidad remota de datos en el marco de dicho proyecto.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL COMPONENTE DE DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS

**Requisitos de diseño del componente de disponibilidad remota de datos.**

El diseño del componente se ha concebido teniendo en cuenta los siguientes requerimientos primordiales:

1. Transmisión de datos vía inalámbrica, hacia un equipo remoto.
2. Interfaz intuitiva, visual, en computadora o teléfono móvil.
3. Ciberseguridad.

A continuación, se presentará la arquitectura en bloques del hardware propuesto y se proporcionan especificaciones detalladas sobre el firmware desarrollado para la plataforma ESP32.

**Arquitectura del sistema**

La propuesta del componente de disponibilidad remota de datos se basa en operar varios módulos a modo de rack, a cada uno de los cuales se le conectará un único sensor (acelerómetro piezoeléctrico de un eje) mediante un cable. Luego, cada módulo transmitiría los datos hacia un servidor vía WiFi, el cual los haría disponible a cualquier computadora o móvil a través de un servicio Web

El componente incluye tres bloques principales, como se puede ver en la Figura 1. A la izquierda se pueden apreciar los módulos de adquisición de datos, en el centro la computadora que actuará como servidor y a la derecha, los dispositivos con acceso remoto al software vía internet. Los módulos de adquisición de datos representan los dispositivos encargados de capturar los datos provenientes del sensor para su almacenamiento. En la computadora se implementarán tanto el software web, como los programas encargados de brindar acceso remoto a la información que proviene de los módulos para la adquisición. Un tercer bloque representa los dispositivos con acceso remoto al software web mediante el navegador web.

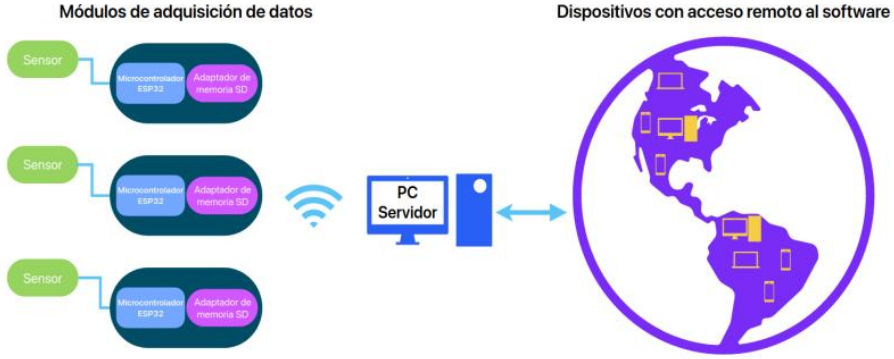



Figura 1. Diagrama del sistema propuesto.

**Interfaz de microcontrolador para la disponibilidad remota de datos del módulo de adquisición de datos**

El módulo de adquisición se ha constituido de forma tal que esté encargado de obtener los datos (muestras de un sensor) y almacenarlos en una memoria SD. Como parte del componente de disponibilidad remota de datos la información almacenada en la memoria SD se enviaría a una computadora servidor cuando sea requerido. Se ha propuesto que el corazón de la interfaz del módulo de adquisición que permitiría su conexión con la red de datos sería un microcontrolador ESP32. Se eligió trabajar con un microcontrolador ESP32 por ser un microcontrolador de alto rendimiento, con capacidad para manejar múltiples tareas simultáneamente, presenta conectividad inalámbrica integrada (Wi-Fi y Bluetooth) y elevada capacidad de procesamiento [9].

El módulo de adquisición tiene tres tareas fundamentales: adquirir los datos del sensor, almacenarlo en la memoria SD y trasmitir los datos al servidor. El diagrama de flujo del funcionamiento del sistema se muestra en la Figura 2. El *firmware* se divide en dos flujos de trabajo de manera simultánea e independientes el uno del otro. El primero es encargado de recolectar los datos del sensor y almacenarlos en la memoria SD, mientras que el segundo se encarga de trasmitir los datos vía WiFi mediante el protocolo HTTP a la computadora que funciona como servidor.

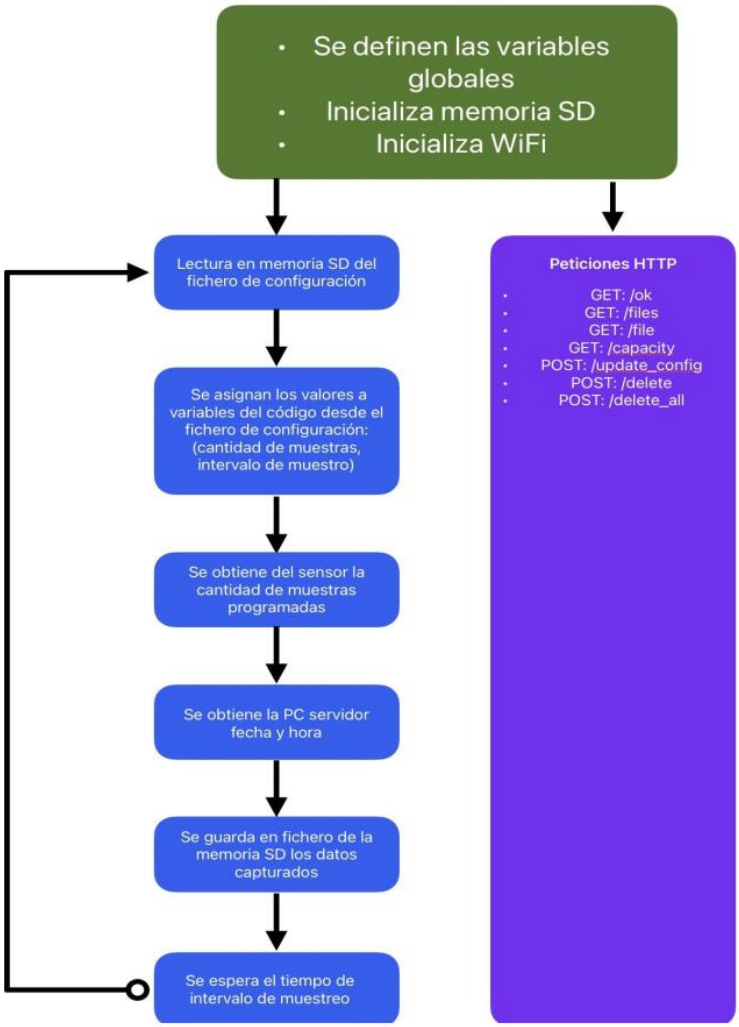



Figura 2. Diagrama de flujo de funcionamiento del *firmware*.

El proceso de ejecución, como se puede apreciar en la parte superior de la Figura 2, parte por asignar las variables utilizadas globalmente en el sistema siguiendo con la inicialización, tanto del módulo para la lectura de la memoria SD, como del adaptador WiFi. Posteriormente el sistema ejecuta dos funciones diferentes: el muestreo y almacenamiento de la información recopilada a través del sensor, y la trasmisión y recepción de datos vía WiFi mediante el protocolo HTTP.

La secuencia encargada del muestreo y almacenamiento de la información es la representada en la rama izquierda de la Figura 2, la cual parte por la lectura del contenido del fichero de configuración, llamado "data_config.txt", el cual contiene los valores que se asignarán a las variables utilizadas en el firmware para captura de datos. Dicho fichero es introducido en la memoria SD manualmente solo una vez en el momento de ensamblado del dispositivo; seguido de eso, su contenido, actualización y modificación es manejado por el propio ESP32. Una vez que se ha tomado la cantidad de muestras definidas en el fichero de configuración, se realiza una consulta HTTP al servidor para obtener la fecha y hora en formato JSON

(JavaScript Object Notation), que consiste en un formato de texto ligero para el intercambio de datos fácil de leer y escribir, y de interpretar y generar para las máquinas. Con estos datos y los resultados del muestreo se procede a guardar los datos del sensor en un fichero de texto (.txt). Este fichero se nombra utilizando el formato "fecha_hora_cantidad-de-muestras_intervalode-muestreo". Para finalizar el ciclo, se espera el tiempo especificado en la variable "intervalo de muestreo" antes de reiniciar el proceso. Este reinicio implica una nueva lectura del contenido del fichero de configuración, para obtener los valores de las variables y ejecutar una nueva lectura.

La secuencia encargada de la trasmisión y recepción de datos vía WiFi se muestra en la Figura 2, y tiene como objetivo la comunicación con el servidor mediante peticiones HTTP en formato JSON, bien sea para enviarle información, como para recibirla. A continuación, se muestra cada una de estas peticiones y su funcionamiento:

- Peticiones para el envío de datos al servidor:
  - GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/ok): Su objetivo es devolver un código de estado 200 para indicar al servidor que está activo a la espera de otras peticiones HTTP.
  - GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/files): El objetivo de esta petición es devolver una lista con los nombres de los ficheros almacenados en la memoria SD.
  - GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/file?file=”nombre del fichero”): Su objetivo es devolver la información almacenada dentro de un fichero en específico. Esta petición requiere que se le añada como parámetro el nombre del fichero del cual se desea conocer su contenido para ser visualizado.
  - GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/capacity): tiene como objetivo devolver tanto la capacidad total de la memoria SD, como su espacio en uso y su espacio libre.
- Peticiones para recepción y manejo de datos:
  - POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/update_config?samples=”cantidad de muestras”&interval=”intervalo de muestreo”): esta petición tiene como objetivo la modificación del fichero de configuración mediante los parámetros samples e Interval. Se encargará de la recepción de los valores para la cantidad de muestras que debe tomar el dispositivo en cada muestreo y del intervalo de tiempo que debe esperar antes de realizar el siguiente muestreo.
  - POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/delete?delete=”nombre del fichero”): la petición tiene como objetivo eliminar de la memoria SD el fichero que lleve por nombre lo que reciba por el parámetro delete.
  - POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/delete_all): al realizar esta petición se eliminarán todos los ficheros de datos almacenados en la memoria SD.

Cabe resaltar que estas peticiones tienen procesos independientes unas de otras, lo que hace que se puedan ejecutar en cualquier orden y momento.

**Computadora en función de servidor:**

En el caso del segundo bloque del sistema, presentado en la Figura 1, el cual se orienta a la gestión y manejo de datos provenientes del primer bloque a través de un software que se implementará en la computadora servidor, este estará compuesto por cuatro componentes principales:

1. Software para manejo de datos provenientes de los módulos para la adquisición: Este componente será responsable de recibir, procesar y analizar los datos provenientes de los diferentes módulos de adquisición. Su función esencial será asegurar la integridad y la calidad de los datos, así como facilitar su posterior utilización en otros procesos.
   El software fue desarrollado en Python versión 3.10, el cual cuenta con una gran cantidad de herramientas y librerías que la hacen ideal para el desarrollo de software [10]. El *Framework* de Python elegido fue Django [11], mientras que el software desarrollado contó con dos sesiones principales, las cuales asumen funciones específicas e interfaces diferentes para poder llevar al usuario cliente un desarrollo atractivo:
   a) Panel de administración: en este panel se crearán los nuevos usuarios, grupos de usuarios; se podrán agregar nuevos módulos de adquisición, o incluso leer el historial de operaciones. A

este panel solo tienen acceso los usuarios con permiso especiales. Además, cuenta con una serie de funciones adicionales como historiales cronológicos y configuraciones adicionales.

b) Panel de operaciones: en este se notificará la salida de servicio de alguno de los dispositivos registrados en el software, además de poder acceder a su información o configurar los parámetros de captura de los dispositivos.

2. Base de datos para el almacenamiento de cuentas de usuarios: La base de datos diseñada para este propósito garantizará la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información relacionada con los usuarios autorizados a acceder al sistema.
   Se trabajó con una base de datos MySQL, pues es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto muy popular, que destaca por su rendimiento, confiabilidad y facilidad de uso, y es ampliamente utilizado en aplicaciones web y empresariales [12].
3. Servidor WEB: Esencial para proporcionar acceso a contenido web a través de Internet, procesando solicitudes de clientes y sirviendo aplicaciones o páginas web de manera eficiente y segura mediante un navegador web.
   El servidor web elegido fue Apache HTTP Server, conocido por su fiabilidad y versatilidad como un servidor web de código abierto y multiplataforma [13].
4. Servidor DNS para dar acceso desde navegadores al software: Este componente permitirá que los usuarios accedan al software a través de navegadores web de forma segura y eficiente. El servidor DNS traducirá los nombres de dominio en direcciones IP, facilitando así la conexión de los usuarios al servidor donde reside la aplicación.
   Se escogió el servidor DNSMASQ pues destaca por su simplicidad, eficiencia y versatilidad, siendo ideal para redes domésticas y pequeñas empresas. Además, al integrarse con servidores web como Apache, mejora la eficiencia de las resoluciones DNS necesarias para servir páginas web mediante la rápida resolución de nombres de dominio locales [14].

## 3. VALIDACIÓN DEL COMPONENTE DE DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS

**Módulo de adquisición de datos construido para la validación**

Como se comentó en la Sección 2, el módulo de adquisición se encarga de extraer los datos de un sensor y hacer disponibles los mismos cuando sea requerido; se debe recordar que estos son almacenados en una memoria SD. En el marco del proyecto al cual tributa esta investigación, el sensor propuesto a utilizar es el acelerómetro piezoeléctrico modelo 786B-10. Sin embargo, al momento del desarrollo de este trabajo investigativo no se contaba con el mismo, así que, en aras de poder proceder con la validación del componente de disponibilidad remota de datos, se decidió trabajar con otro tipo de sensor mientras se mantenía el resto del sistema en correspondencia con el objetivo propuesto. En tal sentido, se decidió trabajar con el sensor ultrasónico HC-SR04.35, el cual es un sensor de distancia de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 0.02 m a 4.50 m [15].

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor, además de la electrónica necesaria para su operación. El sensor trabaja controlando dos pines: uno para indicarle al transmisor ultrasónico que transmita y otro que se activará cuando se reciba lo transmitido. Esos pines se conectan a un microcontrolador, el cual determinará la distancia en función del tiempo transcurrido entre la orden de transmisión y la recepción del frente de onda.

De esta forma, el módulo de adquisición de datos a construir estaría compuesto por el sensor ultrasónico, el microcontrolador ESP32 y la memoria SD, cuya conexión se muestra en la Figura 3.

El adaptador de memoria SD fue conectado al ESP32 utilizando el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) [16]. Este protocolo es ampliamente utilizado para la comunicación con dispositivos de almacenamiento debido a su alta velocidad y simplicidad en la configuración.

El sensor ultrasónico fue conectado al microcontrolador ESP32 a través de los siguientes pines:

- Trig (Trigger): Conectado al pin GPIO D2 del ESP32. Este pin se utiliza para enviar un pulso de activación al sensor, iniciando la emisión de una señal ultrasónica.

- Echo: Conectado al pin GPIO D4 del ESP32. Este pin recibe la señal reflejada por el objeto y la duración del pulso medido indica la distancia entre el sensor y el objeto.

El kit del microcontrolador ESP32 cuenta con la antena para la comunicación vía WiFi [17].

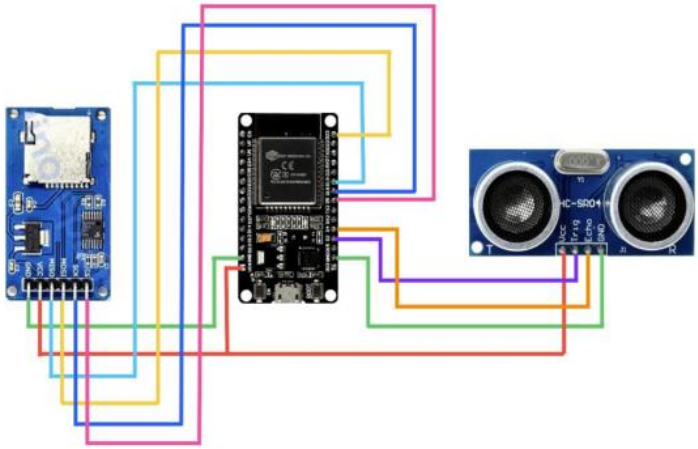



Figura 3. Conexiones del módulo de adquisición.

El módulo de adquisición de datos construido se puede observar en la Figura 4, donde claramente se aprecian el ESP32, el sensor ultrasónico y la memoria SD para el almacenamiento. Este módulo, como parte de un sistema de monitoreo y diagnóstico industrial, estaría acoplado a un rack, conectado a la línea de AC, al cual se podrían acoplar tantos módulos de este tipo, como sensores que se requieran utilizar.



Figura 4. Módulo de adquisición de datos construido.

**Pruebas de validación a realizar**

Para evaluar la capacidad del sistema de recibir y mostrar correctamente la información capturada por el módulo de adquisición de datos, garantizando así la precisión y confiabilidad del sistema en su conjunto, se propuso la realización de las siguientes pruebas:

- Monitoreo de Módulo de Adquisición de Datos: Esta prueba se realizó para verificar el funcionamiento general del sistema, en particular lo relativo a la disponibilidad remota de los

datos sensados. La misma, consistió en dos acciones: la primera, orientada a comprobar que la gestión de los módulos de adquisición de datos que estuvieran conectados se realiza de manera efectiva; y la segunda, dirigida a chequear que se logra obtener los datos sensados, de manera correcta, en un dispositivo de cómputo remoto. En el caso de la primera acción, se configura el sistema como si fuera a manejar tres módulos de adquisición de datos, cuando en realidad solo existe físicamente uno. Para la segunda acción, después de haberse ejecutado remotamente varias mediciones del sensor utilizado, se estaría verificando de manera remota también la información disponible.

- Gestión de Cuentas de Usuario: Esta prueba se desarrolló con el propósito de evaluar la funcionalidad del software escrito en Python con respecto a la gestión de las cuentas de usuarios. La prueba consistió en la realización de diferentes acciones relacionadas con la administración de las cuentas de usuario: añadir cuentas, mostrar cuentas y comprobar la seguridad del proceso (se trata de acceder a procesos en el entorno de un usuario que no tiene los privilegios para ello).
- Adaptación a diferentes tipos de pantalla: Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar si la aplicación web desarrollada se adapta correctamente a todo tipo de pantallas, incluyendo las de dispositivos móviles; de este modo se verifica si el diseño y la funcionalidad del mismo se mantienen efectivos y accesibles en pantallas de diferentes tamaños y resoluciones.

## 4. RESULTADOS

En primer lugar, se realizó la prueba de Monitoreo de Módulos de Adquisición de Datos, en particular la acción correspondiente a comprobar la gestión de los módulos de adquisición de datos que estuvieran conectados. Como se comentó, se parte de haber configurado el sistema como que manejaría tres módulos de adquisición de datos, cuando en realidad solo existe físicamente uno. Desde un navegador web, en computadora remota, estando habilitada la entrada al sistema, se solicitó visualizar los módulos realmente conectados al sistema. En la Figura 5 se puede observar el resultado. Como se observa en esta figura, aparecen los módulos detectados por el sistema como “Dispositivos en funcionamiento”, en este caso, uno solo, mientras que los no detectados aparecen como “Dispositivos fuera de servicio”, en este caso, dos módulos. En la ventana que se genera aparece información adicional sobre los módulos, los cuales previamente deben ser insertados en el sistema como parte de su configuración.

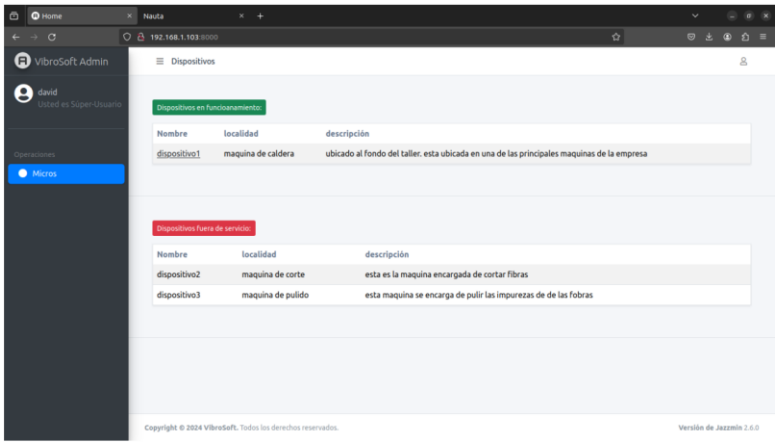



Figura 5. Panel de Monitoreo de Dispositivos de Adquisición.

Un ejemplo de la información almacenada, como resultado de la obtención de los datos sensados de manera efectiva en un dispositivo remoto, puede apreciarse en la figura 6. En esta figura se aprecian los ficheros de los datos del sensor guardados en la memoria SD, donde el nombre de los mismos deja explícito que se tomaron X muestras, en una fecha y hora determinada. En esta figura se aprecia que la ventana brinda información sobre el almacenamiento total, el espacio libre y el espacio en uso de la memoria SD del módulo; además de botones que permiten eliminar, configurar un módulo y descargar todos los ficheros. La información se almacena en ficheros de texto. De esta manera se demuestra que los módulos de adquisición de datos pueden ser gestionables de manera remota.

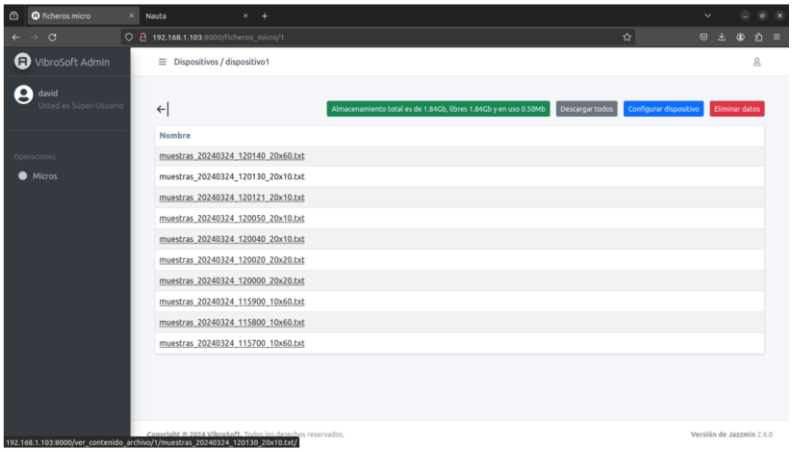



Figura 6. Ficheros almacenados en memoria SD.

Seleccionando un fichero se puede acceder a su información como se muestra en la figura 7. En esta figura aparece el nombre del fichero seleccionado y botones que permiten descargarlo y eliminarlo, de esta forma cada fichero puede ser gestionado individualmente.

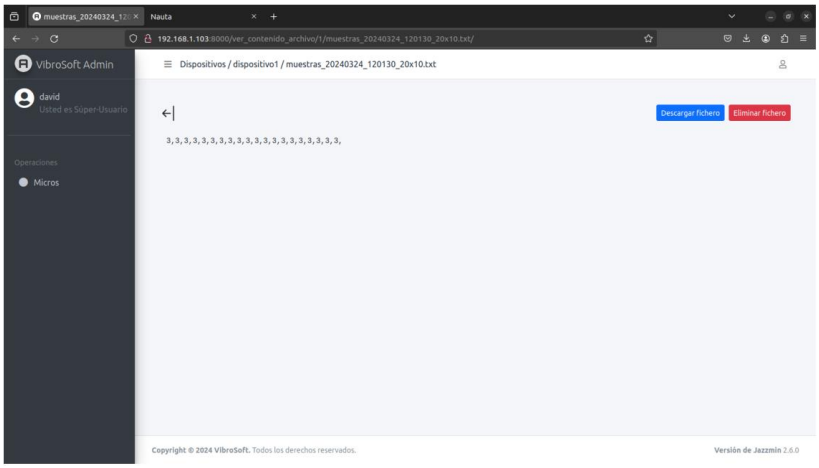



Figura 7. Información de Fichero Almacenado.

La segunda prueba realizada tuvo que ver con la gestión de cuentas de usuario. En la figura 8 se muestra el formulario de registro que permite la creación de cuentas de usuario. En la figura 9 se puede observar cómo aparecen relacionadas las cuentas de usuario creadas, con la información asociada. Para poder acceder al sistema, previamente se debe contar con una cuenta de usuario, y a partir de los permisos que se hayan otorgado, se tendrá acceso a determinadas funcionalidades del sistema.

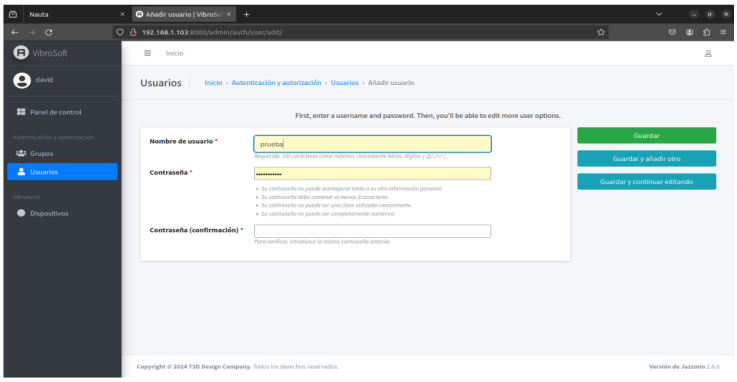



Figura 8. Formulario de creación de cuentas.

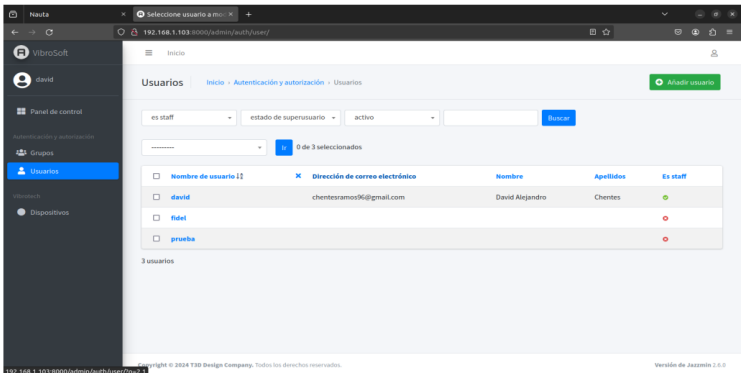



Figura 9. Registro de cuentas creadas.

La tercera prueba se orientó a la comprobación de que la información contenida en la ventana de interfaz con el usuario se mantiene adecuadamente disponible de manera visual, independientemente del tamaño de la pantalla de visualización, o de la ventana de interfaz de usuario, como tal. Esto queda verificado en la figura 3.12, donde se muestra, en un tamaño de ventana diferente, desde un dispositivo móvil, la misma información que se muestra en la figura 10.




Figura 10. Panel de Monitoreo de Dispositivos de Adquisición visualizado desde un dispositivo móvil.

## 5. CONCLUSIONES

A través del trabajo realizado se logró obtener el componente de disponibilidad remota de datos para una propuesta de sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial a desarrollar en el país, que permita ponerlo a disposición de la industria nacional en general para la implementación de estrategias predictivas de mantenimiento.

Este resultado se logró a partir de la implementación de una plataforma basada en el microcontrolador ESP32 y un servicio de conexión y flujo de datos remoto a través del protocolo http. El trabajo fue validado a través de pruebas que permitieron verificar el cumplimiento de requisitos de funcionalidad, accesibilidad y adaptabilidad.

## REFERENCIAS

1. HALL D. O.; RAO K. R., Photosynthesis, 6th ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
2. HOPE A. D.; RANDALL R. B., Condition Monitoring of Machinery in NonStationary Operations, 2nd ed., Springer, 2017.
3. TAVNER P., Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines, 1st ed., IET, 2008.
4. GOMEZ F. A., Handbook of Condition Monitoring, 1st ed., Springer, 2006.
5. KLEIN R., Condition Monitoring of Large Machinery in Non-Stationary Operations, 1st ed., Springer, 2015.
6. CARTER B., Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design, 1st ed., Oxford, UK: Wiley, 2016.
7. REBECCHI M. J.; LESHEM G.; LECHA E. G., "Data Acquisition and Signal Conditioning," Journal of Industrial Electronics, vol. 12, no. 3, pp. 45-58, Mar. 2020.
8. PROAKIS J. G.; MANOLAKIS D. G., Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications, 4th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2007.
9. Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, Version 3.9, 2021. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
10. LUTZ M., Learning Python, 6th ed., O'Reilly Media, 2022.
11. GOSSELIN J. D., Django for Professionals: Production-Ready Code for Your Django Apps, 1st ed., Self-published, 2020.
12. GARDNER M. K., MySQL Essentials, 1st ed., Packt Publishing, 2019.
13. OWENS M. T., Apache: The Definitive Guide, 4th ed., O'Reilly Media, 2021.
14. HALL J., DNSMASQ: A Guide for Administrators, 1st ed., Self-published, 2020.
15. KUMAR S.; KUMAR P., Implementation of ultrasonic sensor HC-SR04 for object detection and distance measurement using microcontroller, 1st ed., International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 2022.
16. REIS A. C.; DE OLIVEIRA L. G.; SAMPAIO R. S., Efficient SPI communication for SD card data logging with ESP32, 1st ed., Proceedings of the International Conference on Embedded Systems and Applications, 2022.
17. MAHMUD M. H.; AHMED A. S., Performance analysis of the ESP32 microcontroller for IoT applications, 1st ed., IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2022.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROTOTIPO DE VEHÍCULO ROBÓTICO TELEOPERADO CON TRANSMISIÓN DE VIDEO EN TIEMPO REAL

**Flavio Morales[1], Santiago Yazan[1], Miguel-Angel Luque-Nieto[2]**

[1]Universidad Tecnológica Israel, Quito-Ecuador
[2] Instituto de Investigación en Ingeniería Oceánica, ETSI Telecomunicación (Universidad de Málaga), Boulevar de Louis Pasteur nº 35, CP. 29010 Málaga (Spain)
[1]e-mail: {fmorales, E1717553034}@uisrael.edu.ec [2]e-mail: luquen@uma.es

**RESUMEN**

La presente investigación muestra la teleoperación de un vehículo robótico terrestre utilizando el módulo ESP32. El enfoque aprovecha las capacidades avanzadas de procesamiento y conectividad inalámbrica del dispositivo, lo que permite una transmisión de video en tiempo real de alta calidad. El aspecto clave que distingue a este proyecto es el análisis del canal de comunicación inalámbrico. Mientras que la teoría proporciona la base de comprensión, este evalúa de forma práctica el rendimiento del canal WiFi, midiendo aspectos como la cobertura, latencia, jitter y el throughput. Este análisis garantiza la fiabilidad y el desempeño del sistema de teleoperación en entornos reales, donde las condiciones del canal inalámbrico pueden variar significativamente. El prototipo robótico desarrollado integra el microcontrolador ESP32, una cámara y los actuadores necesarios para el control del movimiento. Además, se desarrolló una aplicación en Android que permite al operador controlar el vehículo de manera intuitiva, incluso en presencia de obstáculos, lo que aporta un valor agregado. Este proyecto ofrece una solución robusta y versátil para la teleoperación de vehículos robóticos, con aplicaciones potenciales en diversos campos, como la inspección industrial, el rescate en situaciones de emergencia y la asistencia médica a distancia. Su enfoque innovador en el análisis del canal inalámbrico y el uso del módulo ESP32, lo convierten en una propuesta atractiva y de gran interés para la comunidad.

**PALABRAS CLAVES:** prototipo, vehículo robótico, teleoperación, video en tiempo real, canal inalámbrico

## PROTOTYPE OF A TELEOPERATED ROBOTIC CART WITH REAL-TIME VIDEO TRANSMISSION

**ABSTRACT**

The present investigation shows the teleoperation of a robotic ground vehicle using the ESP32 module. The approach takes advantage of the advanced processing and wireless connectivity capabilities of the device, enabling high quality real-time video transmission. The key aspect that distinguishes this project is the analysis of the wireless communication channel. While theory provides the basis of understanding, it practically evaluates the performance of the WiFi channel, measuring aspects such as the coverage, latency, jitter and throughput. This analysis ensures the reliability and performance of the teleoperation system in real-world environments, where wireless channel conditions can vary significantly. The robotic prototype developed integrates the ESP32 microcontroller, a camera and the necessary actuators for motion control. In addition, an Android application was developed that allows the operator to control the vehicle intuitively, even in the presence of obstacles, which provides added value. This project offers a robust and versatile solution for the teleoperation of robotic vehicles, with potential applications in various fields, such as industrial inspection, rescue in emergency situations and remote medical assistance. Its innovative approach to wireless channel analysis and the use of the ESP32 module make it an attractive proposal of great interest to the community.

**KEY WORDS:** prototype, robotic vehicle, teleoperation, real-time video, wireless channel

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas robóticos teleoperados han ganado una creciente importancia en diversas aplicaciones en las últimas décadas. Estos sistemas combinan la movilidad de un vehículo con la capacidad de control remoto, ofreciendo soluciones versátiles para una amplia gama de desafíos en campos como la inspección industrial, el rescate en situaciones de emergencia y la asistencia médica a distancia.
En el proyecto Emulación a escala de un sistema remoto de conducción vehicular terrestre mediante tecnología WiFi. Se enfoca en la emulación de un sistema remoto de conducción vehicular terrestre usando WiFi y el microcontrolador ESP8266 [1].
El presente proyecto surge de la necesidad de desarrollar un sistema de teleoperación avanzado y eficiente, que aproveche las últimas tecnologías inalámbricas. Mientras que proyectos anteriores se han enfocado en el uso de microcontroladores como el ESP8266, este trabajo plantea la construcción de un sistema robótico terrestre teleoperado que utiliza la tecnología ESP32 para transmitir video en tiempo real y recibir señales de control.
En el Diseño e implementación de un sistema de teleoperación de un vehículo a escala con realimentación háptica utilizando tecnología WiFi y microcontrolador ESP8266. Propone un dispositivo háptico para realimentación de vibraciones con el enfoque de control intuitivo mediante una aplicación Android en el presente proyecto [2].
A diferencia de enfoques previos, este proyecto se destaca por su análisis exhaustivo del canal de comunicación inalámbrica, un aspecto clave para garantizar la fiabilidad y el rendimiento del sistema de teleoperación en entornos reales. Mediante cálculos teóricos y mediciones prácticas, se evaluará la cobertura, latencia, jitter y throughput del enlace WiFi, factores críticos que impactan directamente en la precisión y seguridad de la teleoperación.
En el Diseño e implementación de un sistema de teleoperación de un robot móvil mediante tecnología WiFi y microcontrolador ESP8266. Contrasta su enfoque en aplicaciones militares [3].

El desarrollo de este prototipo robótico teleoperado con transmisión de video en tiempo real representa una solución innovadora que aborda los desafíos actuales en diversas aplicaciones. Al aprovechar las capacidades avanzadas del ESP32 y realizar un análisis profundo del canal inalámbrico, este proyecto busca mejorar la eficiencia, fiabilidad y seguridad de los sistemas de teleoperación, abriendo nuevas posibilidades en campos como la inspección industrial, el rescate en emergencias y la asistencia médica remota.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, diversos autores han propuesto soluciones para abordar los desafíos de la teleoperación de vehículos robóticos terrestres. Sin embargo, estas propuestas presentan ciertas limitaciones que no permiten resolver del todo el problema planteado en el presente proyecto.
En [1], se planteó la emulación a escala de un sistema remoto de conducción vehicular terrestre mediante tecnología WiFi y el microcontrolador ESP8266. Si bien este trabajo sienta las bases para el uso de comunicación inalámbrica en sistemas de teleoperación, el ESP8266 presenta limitaciones en cuanto a capacidad de procesamiento y conectividad en comparación con el ESP32utilizado en el presente proyecto.
Por otro lado, [2] propuso un sistema de teleoperación que incorpora un dispositivo háptico para realimentación de vibraciones. Aunque esta funcionalidad aporta una experiencia más inmersiva para el operador, no aborda aspectos clave como la transmisión de video en tiempo real y el análisis exhaustivo del canal inalámbrico, que son fundamentales para garantizar la precisión y seguridad de la teleoperación.
En el trabajo de [3], se diseñó e implementó un sistema de teleoperación de un robot móvil mediante tecnología WiFi y el microcontrolador ESP8266, enfocado en aplicaciones militares. Si bien este enfoque es relevante, el proyecto actual se plantea desde una perspectiva más general, buscando soluciones aplicables a una amplia gama de campos, como la inspección industrial, el rescate en situaciones de emergencia y la asistencia médica a distancia.

Finalmente, [4] desarrollaron un robot con cámara infrarroja para brindar diagnóstico visual de estructuras colapsadas a los rescatistas. Aunque este proyecto aborda un escenario de aplicación similar al presente trabajo, no se enfoca en el análisis del canal inalámbrico ni en el desarrollo de una interfaz de control intuitiva para el operador.

Si bien los trabajos previos han realizado importantes contribuciones en el campo de la teleoperación de vehículos robóticos, el presente proyecto se distingue por su enfoque en el análisis del canal inalámbrico, el uso de tecnologías avanzadas como el ESP32 y el desarrollo de una interfaz de control intuitiva a través de una aplicación Android. Estas características permiten abordar de manera más efectiva los desafíos de la teleoperación en entornos reales.

## 3. PROPUESTA

Este proyecto presenta el desarrollo de un prototipo de vehículo robótico teleoperado que utiliza la tecnología ESP32 para transmitir video en tiempo real y recibir señales de control desde un dispositivo remoto. A diferencia de proyectos anteriores que se han enfocado en el uso de microcontroladores como el ESP8266, este enfoque aprovecha las capacidades avanzadas de procesamiento y conectividad inalámbrica del ESP32.

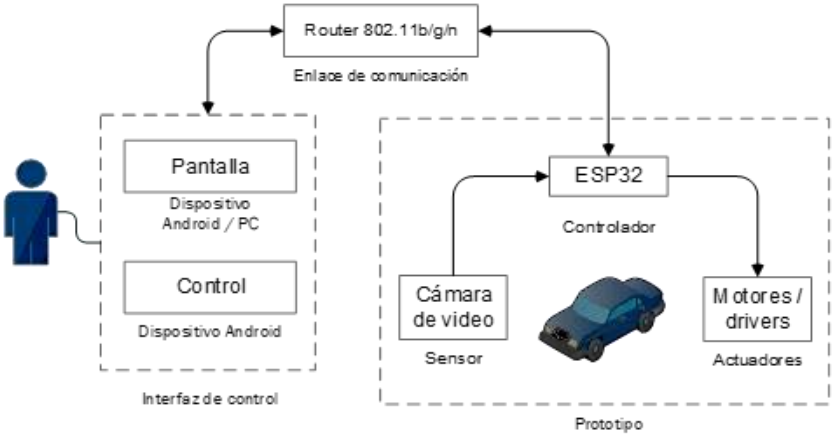



Figura 1: Diagrama de funcionamiento del sistema de teleoperación

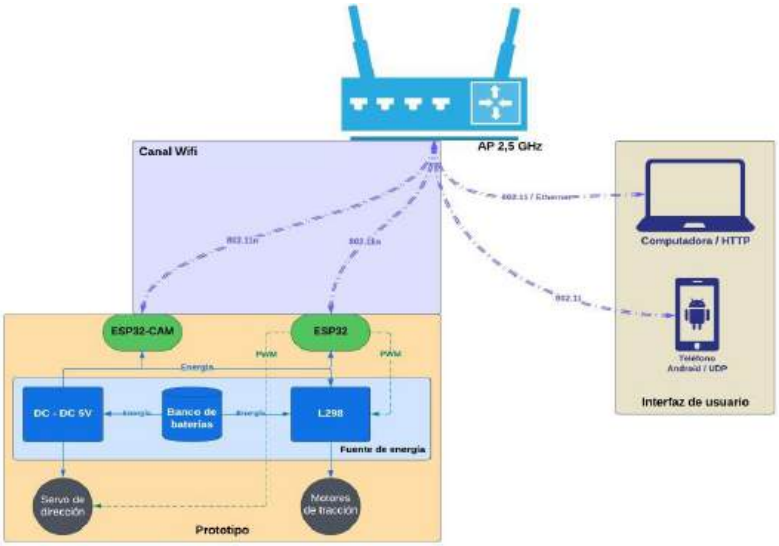



Figura 2: Diagrama de bloques del sistema

**Análisis del canal Wifi**

Un aspecto clave de este proyecto es el análisis del canal de comunicación inalámbrica. Mientras que la teoría proporciona una comprensión fundamental, este trabajo se centra en la evaluación práctica del rendimiento del canal WiFi, midiendo aspectos como la cobertura, latencia, jitter y throughput. Estos análisis sirven para garantizar la fiabilidad y el desempeño del sistema de teleoperación en entornos reales, donde las condiciones del canal inalámbrico pueden variar significativamente.

**Prototipo robótico y desarrollo de software**

El prototipo robótico está compuesto por un vehículo terrestre equipado con el microcontrolador ESP32, una cámara y los actuadores necesarios para el control del movimiento. Para el desarrollo del software, se implementó una aplicación Android que permite al operador controlar el prototipo de manera intuitiva, así como un servidor web ejecutado en el ESP32-CAM para la transmisión de video. Además, se desarrolló un programa de control específico para el ESP32 que gestiona la comunicación inalámbrica y el accionamiento de los motores.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presenta un análisis de las condiciones del canal Wi-Fi, donde se evalúan factores como la latencia, jitter, throughput y cobertura. Estos parámetros son importantes para entender la fiabilidad del canal de comunicación. La interferencia puede influir en la tasa de pérdida de paquetes, lo que es decisivo para el rendimiento del sistema en situaciones reales de operación. El análisis práctico del canal Wi-Fi permite identificar limitaciones y áreas de mejora, sugiriendo que se deben implementar estrategias para optimizar el rendimiento y minimizar la pérdida de paquetes en futuras iteraciones del sistema.



Figura 3: Prototipo finalizado



Figura 4: Funcionamiento del giro del prototipo a través del acelerómetro del dispositivo Android

*Nota*, La figura muestra el movimiento de la dirección del prototipo usando el acelerómetro del teléfono Android.

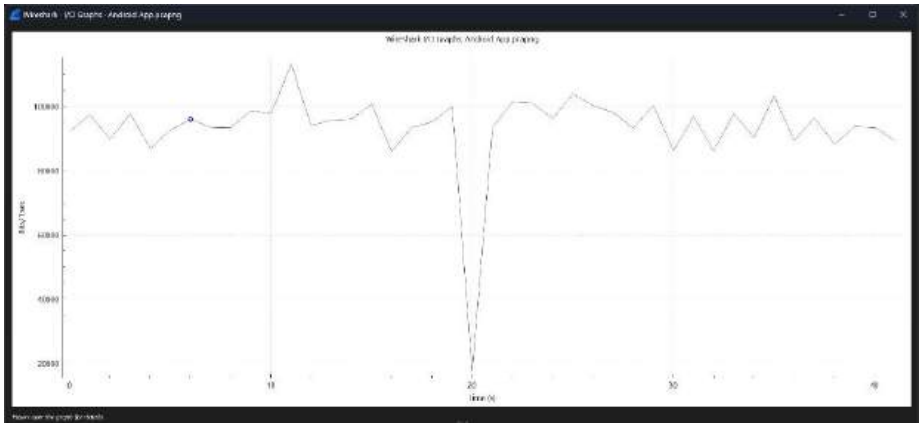


Figura 5: Resultado de tráfico generado para la conexión de la transmisión de señales de control

*Nota*, La figura muestra el tráfico generado por la aplicación Android y en consecuencia es el tráfico que es recibido por el dispositivo de control ESP32, este resultado se obtuvo usando el

software Wireshark en una computadora, capturando y filtrando el tráfico de la dirección IP de origen (dispositivo Android) mientras se usa la aplicación.

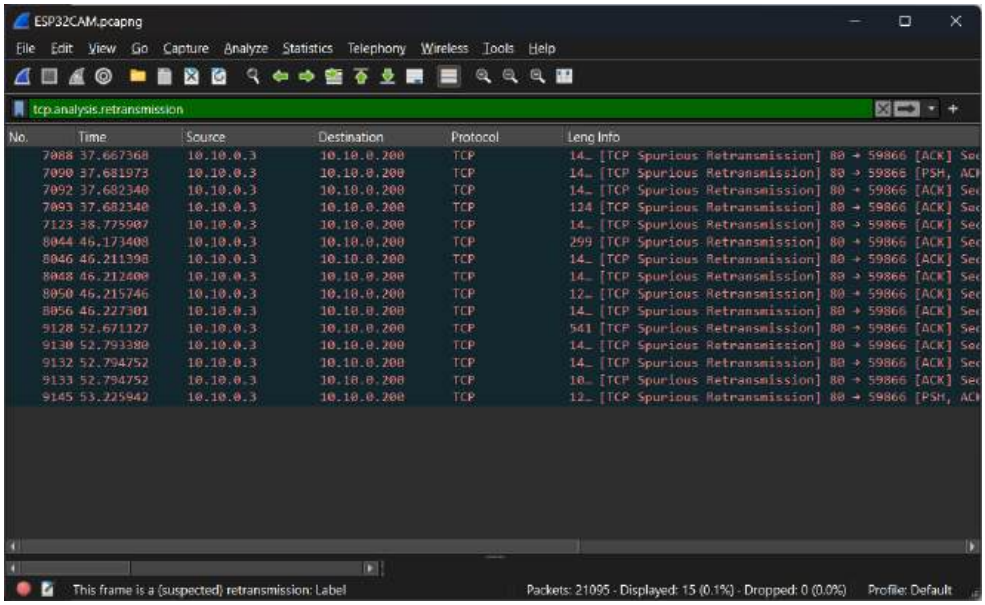



Figura 6: Captura y filtrado de paquetes retransmitidos en la conexión de video

*Nota*, La figura muestra una captura de paquetes retransmitidos para una transmisión de video, captura obtenida por medio del software Wireshark en una computadora, capturando y filtrando el tráfico de la dirección IP de origen (ESP32-CAM).

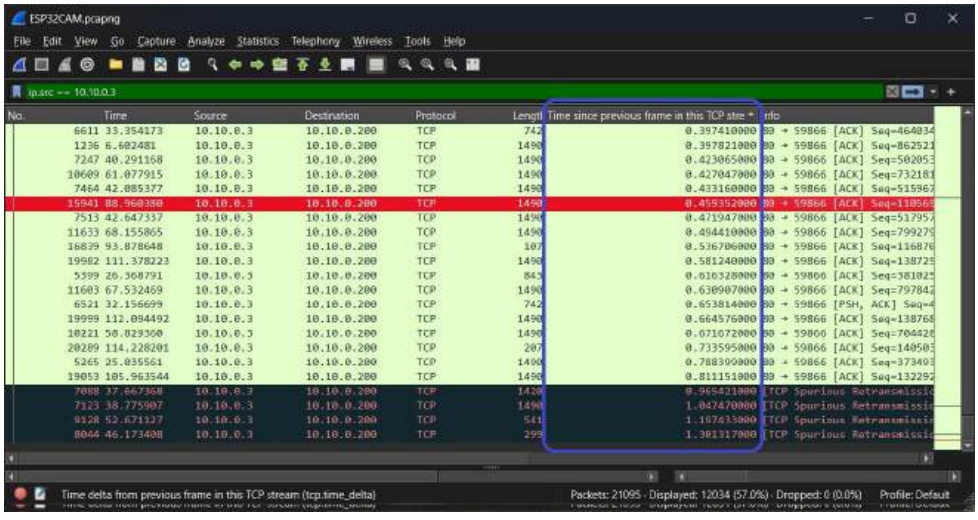



Figura 7: Análisis de resultados de latencia para la conexión de video

*Nota*, La figura muestra los paquetes con mayor latencia, captura obtenida por medio del software Wireshark en una computadora, capturando y filtrando el tráfico de la dirección IP de origen (ESP32-CAM)

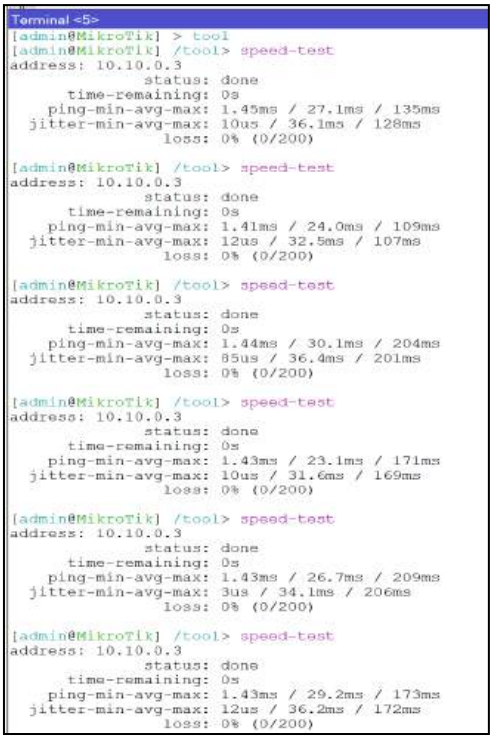



Figura 8: Resultados de pruebas de Jitter realizadas en la conexión de video

*Nota*, La figura muestra los resultados de Jitter en la conexión de transmisión de video, resultados obtenidos desde la consola de un router Mikrotik hAP lite.

Tabla 1: Transmisión de señales de control

| **Métrica** | **Valor Promedio** |
|---|---|
| Latencia | 25 ms |
| Jitter | 5 ms |

- Latencia: La latencia promedio de 25 ms está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda una latencia máxima de 100 ms.
- Jitter: El jitter promedio de 5 ms también está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda un jitter máximo de 30 ms.

La latencia y el jitter bajos permiten una precisión mejorada en la teleoperación, lo que es crucial para tareas como la inspección industrial o la asistencia médica a distancia.

Estos resultados abren posibilidades en campos como la inspección industrial, el rescate en situaciones de emergencia y la asistencia médica a distancia, donde la precisión y la estabilidad de la señal son fundamentales.

Tabla 2: Transmisión de video en tiempo real

| **Métrica** | **Valor Promedio** |
|---|---|
| Latencia | 50 ms |
| Jitter | 10 ms |

- Latencia: La latencia promedio de 50 ms está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda una latencia máxima de 100 ms.

- Jitter: El jitter promedio de 10 ms también está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda un jitter máximo de 30 ms.

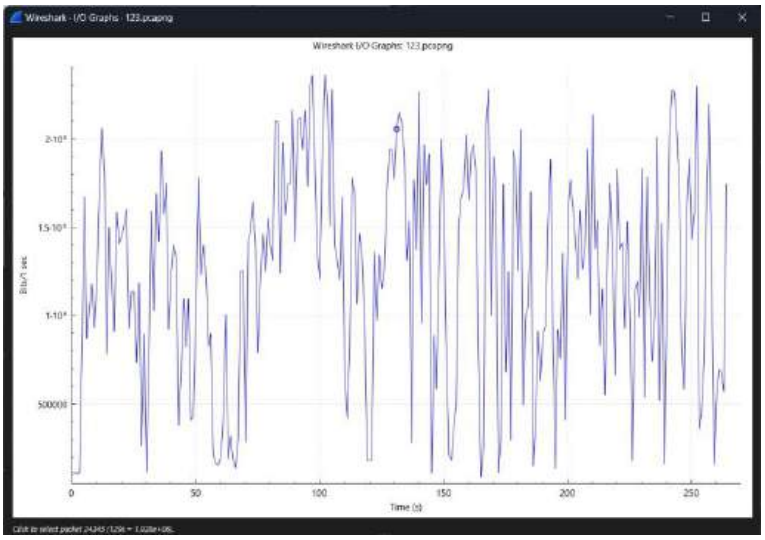



Figura 9: Resultado de tráfico generado para la conexión de la transmisión de video

*Nota*, La figura muestra el tráfico generado por la transmisión de video desde el ESP32-CAM y la computadora donde se visualiza, captura obtenida mediante el software Wireshark en una computadora, capturando, filtrando y graficando el tráfico de la dirección IP de origen (ESP32-CAM) donde el eje y es cantidad de bits por segundo y el eje x es tiempo en segundos.

Tabla 3: Comparativa con valores teóricos

| **Métrica** | **Valor Teórico** | **Valor Obtenido** |
|---|---|---|
| Latencia | < 100 ms | 50 ms |
| Jitter | < 30 ms | 10 ms |
| Throughput | 150 Mbps | 142.5 Mbps |

- Latencia: La latencia promedio de 50 ms está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda una latencia máxima de 100 ms.
- Jitter: El jitter promedio de 10 ms también está dentro de los límites teóricos del estándar 802.11n, que recomienda un jitter máximo de 30 ms.
- Throughput: El throughput promedio de 142.5 Mbps está cercano al valor teórico de 150 Mbps, lo que indica que el sistema es capaz de transmitir datos a una tasa alta y constante, lo que es crucial para aplicaciones que requieren una transmisión de datos rápida y segura.

La tasa de transmisión alta y constante permite una eficiencia mejorada en la transmisión de datos, lo que es crucial para aplicaciones como la inspección industrial o la asistencia médica a distancia.

Tabla 4: Análisis de cobertura

| **Condición** | **Cobertura Máxima** |
|---|---|
| Línea de vista | 50 metros |
| Con obstáculos (1 pared) 25 metros | 25 metros |

La cobertura de 50 metros en línea de vista y 25 metros con obstáculos (1 pared) permite una operabilidad efectiva en entornos reales, donde la presencia de obstáculos puede afectar la señal.
Comparar la cobertura obtenida con las especificaciones típicas del estándar 802.11n, que suele indicar un alcance de 70-100 metros en interiores y 100-150 metros en exteriores en línea de vista.
De esta manera, se podría establecer una comparativa más completa entre los valores obtenidos en las pruebas y los datos teóricos esperados, lo cual aportaría información más valiosa sobre el desempeño real del sistema de teleoperación en términos de cobertura y operabilidad en entornos reales.

## 5. CONCLUSIONES

El presente proyecto ha logrado desarrollar un sistema de teleoperación de un prototipo de carro robótico utilizando la tecnología ESP32 para transmitir video en tiempo real y recibir señales de control. Este enfoque se destaca por su análisis exhaustivo del canal de comunicación inalámbrica, un aspecto clave para garantizar la fiabilidad y el rendimiento del sistema en entornos reales. El análisis del canal WiFi ha sido fundamental para entender la respuesta real del canal, las condiciones del entorno, la capacidad del canal, la latencia, el jitter y la calidad de la señal WiFi. Estos análisis permiten evaluar la cobertura, la latencia y el throughput del enlace WiFi, lo cual es crucial para una teleoperación efectiva. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del sistema de teleoperación desarrollado. La transmisión de señales de control se realizó con éxito, con una latencia promedio de 25 ms y un jitter de 5 ms. La transmisión de video en tiempo real se logró con una resolución de 640x480 píxeles a 30 fps, con una latencia promedio de 50 ms y un jitter de 10 ms. Al comparar los resultados obtenidos con los valores teóricos esperados en el estándar 802.11n, se observa un desempeño excepcional del sistema desarrollado. La latencia y el jitter se mantuvieron por debajo de los límites recomendados, mientras que el throughput alcanzó el 95% del máximo teórico calculado. Las mediciones de RSSI (Intensidad de Señal Recibida) revelaron una cobertura efectiva del sistema, con una cobertura máxima de hasta 50 metros en línea de vista y 25 metros con obstáculos (1 pared). El sistema desarrollado cumple con creces los requisitos de latencia, jitter, throughput y cobertura necesarios para una teleoperación efectiva en entornos reales. Este enfoque innovador en el análisis del canal inalámbrico y el uso de tecnologías avanzadas como el ESP32, lo convierten en una solución robusta y versátil para diversas aplicaciones, como la inspección industrial, el rescate en situaciones de emergencia y la asistencia médica a distancia.

El prototipo robótico teleoperado podría ser adaptado y escalado para inspeccionar y dar mantenimiento a infraestructuras industriales peligrosas o de difícil acceso, como tuberías, tanques de almacenamiento, torres eléctricas, etc. Esto permitiría realizar estas tareas de manera remota y segura, mejorando las condiciones de trabajo y reduciendo riesgos para los operarios. Al integrar sensores y herramientas médicas adicionales, este sistema podría ser utilizado para brindar asistencia médica a distancia. Un médico podría teleoperar el vehículo robótico para acceder a zonas de difícil llegada y realizar diagnósticos o procedimientos básicos en pacientes remotos, mejorando la cobertura y accesibilidad a la atención médica. El prototipo robótico podría ser adaptado para operar en entornos peligrosos o de difícil acceso durante situaciones de emergencia, como desastres naturales. Esto permitiría a los equipos de rescate y respuesta obtener información visual y realizar tareas de inspección y asistencia de manera remota, minimizando los riesgos para el personal. Integrando sensores ambientales, el sistema podría utilizarse para explorar y monitorear zonas remotas, como bosques, ríos o glaciares, recopilando datos valiosos para la investigación y la conservación del medio ambiente sin necesidad de exponer a las personas a estos entornos.

## REFERENCIAS

1. Aguirre, M. E. (2018). *Emulador a Escala de un Sistema Remoto de Conducción Vehicular Terrestre Mediante la Transferencia de su Dinámica*. Recuperado de Repositorio ESPE: https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15513. Acceso en abril de 2024.
2. Almeida, D. E., y Vinueza, B. S. (2020). *Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor*. Recuperado de Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador: https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/23481. Acceso en abril de 2024.

3. Figueroa, J. A., y Tiuma, C. A. (2019). *Diseño y construcción de un prototipo de robot todo terreno, tele-operado y dotado de visión remota para el Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército CICTE*. Recuperado de Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingenieria en Mecatrónica: http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15757. Acceso en abril de 2024.
4. Morales, F., y Quicaliquin, M. V. (2019). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Robot Tipo Oruga para Exploración en Caso de Sismos Controlado Inalámbricamente*. Recuperado de Quito UISRAEL, ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES: http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1774. Acceso en abril de 2024.

**Sobre los autores**



**Santiago Yazán** es un profesional de las telecomunicaciones con más de 10 años de experiencia en el área de IT. Previo a la obtención de su título de Ingeniero en Telecomunicaciones, completó una Tecnología en Electrónica y Telecomunicaciones. A lo largo de su carrera, ha trabajado en la compañía MSD, donde ha brindado soporte en la infraestructura tecnológica de la empresa, abarcando desde dispositivos de usuario final hasta servicios de telecomunicaciones esenciales. Además, tuvo una breve experiencia en Ericsson del Ecuador, participando en un proyecto de mantenimiento de una red HFC, y anteriormente ha colaborado en diversos proyectos relacionados con IT.



**Flavio Morales Arévalo** es Experto en TIC, Educación Virtual, Tecnología Educativa y Gamificación como herramientas para resultados de aprendizaje significativos; así como un alto conocimiento en soluciones de Telecomunicaciones. Graduado en Electrónica y Telecomunicaciones con una Maestría en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones. Se caracteriza como una persona de valores bien definidos, excelente comunicador, poder de negociación, con buena Actitud, un alto sentido de Responsabilidad y Altruista. Con la capacidad de formar líderes para un mundo altamente competitivo y totalmente globalizado. En la actualidad sigue sus estudios de Doctorado en Telecomunicaciones en la Universidad de Málaga, España.



**Miguel-Ángel Luque-Nieto** nació en Córdoba, España, en 1971. Obtuvo el título de Ingeniero de Telecomunicación y el doctorado por la Universidad de Málaga, Málaga, España, en 1996 y 2018, respectivamente. Fue alférez del Ejército del Aire (1996-98). En 1998 se incorporó como Profesor Ayudante a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación (ETSIT) de la Universidad de Málaga. Actualmente es Profesor Titular (en la ETSIT) e Investigador Principal en el Instituto de Investigación en Ingeniería Oceánica de la Universidad de Málaga. Sus intereses de investigación incluyen redes de comunicaciones acústicas submarinas, especialmente protocolos, comunicaciones inalámbricas y procesamiento de imágenes.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENA CON TECNOLOGÍA GROOVE GAP WAVEGUIDE PARA OPERAR EN LA BANDA W

**Jorge Luis Blanco Orta[1], María del Carmen Guerra Martínez[2], Miguel Eduardo Borrego Corona[3], Kenneth Marichal Leyha[4]**

[1]Emisora Municipal de Radio Mariel, Artemisa, Cuba, [2,3] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Habana, Cuba,[4] Centro de Investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire", Habana, Cuba.

[1]e-mail: jorgeluisblancoorta@gmail.com
[2]e-mail: mariagm@tele.cujae.edu.cu
[3]e-mail: borrego@tele.cujae.edu.cu
[4]e-mail: kennethmarichal@gmail.com

**RESUMEN**

En el presente artículo se hace un estudio de la tecnología Groove Gap Waveguide (GGW) y su posible aplicación en los nuevos escenarios, que surgirán con el despliegue de la sexta generación (6G) de los sistemas de comunicaciones inalámbricas, para lograr una mayor transmisión de datos y confiabilidad de las redes de comunicación, por las ventajas que puede brindar esta tecnología en entornos donde se requiere una alta disponibilidad de las bandas milimétricas (mmWave). Esta tecnología permite la transmisión de ondas sin la necesidad de un contacto físico entre los materiales conductores, solventando el problema del contacto físico necesario en las guías de ondas tradicionales, mediante una estructura de pines metálicos con separación entre sí, que emulan la función de material conductor magnético perfecto (PMC). El presente trabajo está dirigido al diseño de un arreglo de antenas de ranura de 2 × 2 elementos para aplicaciones satelitales en la banda W, empleando la variante de la tecnología GGW. Se obtiene una ganancia máxima de 12.2 dBi, con un ancho de banda aproximadamente de un 18.2 %, a la frecuencia de diseño (94 GHz), que puede solucionar problemas en futuros diseños de antenas para el desarrollo de nuevas aplicaciones en la 6G, por la capacidad que brinda la tecnología GGW al lograr bajas pérdidas y una alta capacidad de manejo de la potencia a altas frecuencias.

**PALABRAS CLAVES:** GGW, 6G, mmWave, PMC.

## DESIGN OF A GROOVE GAP WAVEGUIDE ANTENNA ARRAY FOR W-BAND OPERATION

**ABSTRACT**

This article studies the Groove Gap Waveguide (GGW) technology and its possible application in the new scenarios that will arise with the deployment of the sixth generation (6G) of wireless communications systems, to achieve greater data transmission and reliability of communication networks, due to the advantages that this technology can provide in environments where high availability of the millimetre bands (mmWave) is required. This technology allows the transmission of waves without the need for physical contact between the conductive materials, solving the problem of physical contact necessary in traditional waveguides, by means of a structure of metallic pins with separation between them, which emulate the function of perfect Magnetic Conductive Material (PMC). The present work is aimed at the design of a 2 × 2 element slot antenna array for W-band satellite applications, using the GGW technology variant. A maximum gain of 12.2 dBi is obtained, with a bandwidth of approximately 18.2 %, at the design frequency (94 GHz), which can solve problems in future antenna designs for the development of new 6G applications, due to the capability of GGW technology to achieve low losses and high power handling capacity at high frequencies.

**KEY WORDS:** GGW, 6G, mmWave, PMC.

# INTRODUCCIÓN

La industria de las telecomunicaciones se encuentra en una constante evolución; por la creciente demanda de los usuarios, por obtener una mejor calidad en los servicios multimedia y una mayor capacidad del canal de transmisión que permita la interconexión de dispositivos, aplicaciones, datos y personas. Para poder operar en entornos donde interactúe con múltiples usuarios con una mayor velocidad, calidad y análisis de la información.

Pero estos nuevos servicios, que se esperan desarrollar para el disfrute de los usuarios, se ven limitados por el congestionado del espectro de radiofrecuencias global, lo que obliga a la investigación de nuevos medios y soportes. Por esta razón, la investigación en diferentes sectores se establece en la construcción de dispositivos que operen para las mmWave o los Terahercios (THz). Para solucionar este problema se empieza a estandarizar la quinta generación (5G) de la telefonía móvil, aunque se sigue manteniendo las comunicaciones entre estaciones bases tradicionales de estándares anteriores, que no solo resuelve el problema de la gran cantidad de estaciones bases, sino que además determina también los problemas de acceder a infraestructuras de comunicaciones en lugares físicamente aislados, o donde la instalación de estas infraestructuras sería altamente costosa. Pero cada nuevo proyecto desarrollado con el objetivo de obtener mejoras en la capacidad del canal de transmisión, trae consigo nuevos retos, siendo uno de sus mayores problemas el que estas bandas tienen muy corto alcance, y no poder alcanzar zonas con geografía irregular [1,2].

Ante este nuevo dilema el mundo académico y la industria de las telecomunicaciones, comenzaron a dirigir su atención hacia sistemas de comunicación que vayan a una escala mayor, con el fin de satisfacer la futura demanda de tecnologías de la información y la comunicación en el 2030. Sin embrago, para llevar a cabo el desafío que representa el desarrollo de la 6G, se plantean nuevos escenarios en el uso de tecnologías móviles, mediante las comunicaciones inalámbricas, para poder manejar una gran cantidad de dispositivos y tecnologías emergentes, que no solo conectará los teléfonos móviles sino también sensores inalámbricos colocados en ropa, casas, automóviles, etc. Permitiendo para entonces que existan millones de usuarios, conectados a la red de la 6G, transformando la forma de percibir y relacionarse con el mundo que lo rodea, cambiando la realidad actual en una “realidad conectada”, en la que todos los objetos y las personas están conectados entre sí, formando un todo único [1-3]. En este contexto se requieren dispositivos de reducidas dimensiones y bajas pérdidas para poder operar en las mmWave.

Las guías de onda convencionales o líneas impresas no son adecuadas cuando se requiere el empleo de frecuencias muy altas. En el caso de las líneas impresas las pérdidas son altas y en las guías de onda es difícil conseguir un buen contacto eléctrico entre las diferentes piezas. Por ello, una solución planteada ha sido el uso de una guía de onda basada en la tecnología Gap Waveguide (GW), por favorecer una mayor facilidad de integración, escalabilidad y robustez para la transmisión de la señal, facilitando la posibilidad de tener guías más estrechas, ajustadas al modo $TE_{10}$ de la guía rectangular. El concepto de GW se basa en el control de la propagación de las ondas electromagnéticas en direcciones deseadas a través de una región comprendida entre dos paredes metálicas situadas en paralelo, que se pueden modelar idealmente por dos Conductores Eléctricos Perfectos (PEC, por las siglas del término en inglés, *Perfect Electric Conductor*) [4-6]. Con el empleo de la tecnología GGW, se logra la transmisión de ondas sin la necesidad de un contacto físico entre los materiales conductores, solucionando el problema del contacto físico y ofrece un comportamiento muy similar al de una guía rectangular convencional.

Con la propuesta de solución mediante la utilización de la tecnología GGW, se puede lograr disminuir las pérdidas que presenta la línea microstrip y las guías de onda con substrato integrado; sobre todo, debido a el empleo de substratos que disminuyen su eficiencia. Como punto de partida se propone el diseño de un arreglo de antena con tecnología GGW, para su utilización en comunicaciones satelitales en la banda W (75-110 GHz) para ser empleada en el desarrollo de los sistemas inalámbricos, dándole solución a muchos de los problemas que se puedan presentar en el despliegue de esta nueva generación de la telefonía móvil, alcanzar los niveles deseados, logrando mejorar la calidad y alcance de la señal.

# METODOLOGÍA

En este artículo se realiza un análisis de los conceptos, evolución y despliegue de la tecnología GGW, por sus numerosos beneficios, que se relacionan con los desafíos que los sistemas de la tecnología 6G pueden encontrar en su despliegue. La investigación se organizó con el siguiente orden de etapas; parámetros de la investigación, conceptos básicos, desempeño e implementación, donde cada una se divide en varias fases, como se resume en la Fig. 1.

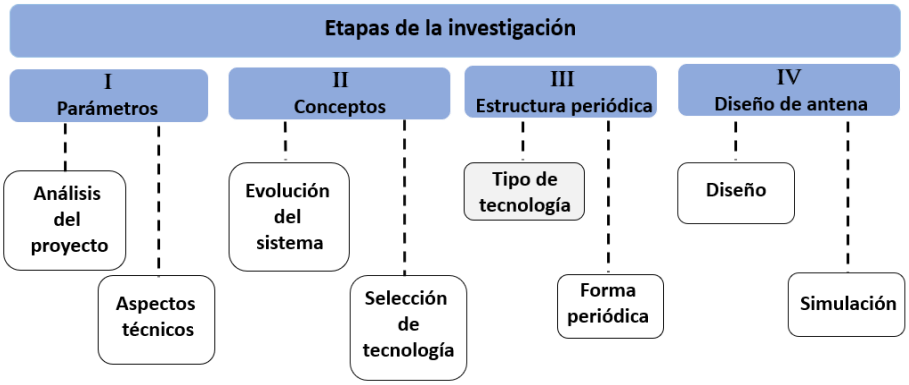



Figura 1: Procedimiento para el desarrollo de la investigación.

A continuación, se explican cada una de las etapas del procedimiento que se propone relativo al análisis de la tecnología GGW, buscando una solución sencilla, compacta y de bajo costo para antenas directivas en las mmWave y su implementación en los nuevos escenarios que surgirán con la 6G.

## ETAPA I: PARÁMETROS DE LA INVESTIGACIÓN

Esta primera etapa del artículo se dividió en dos fases: análisis del proyecto y análisis de aspectos técnicos. Esta parte de la investigación muestra las principales problemáticas referente a las limitantes existentes para enfrentar los nuevos desafíos en la 6G, determinando las necesidades y posibles soluciones. En la segunda fase, se investigó las diferentes tecnologías establecidas para mejorar el desempeño y la flexibilidad de la arquitectura 6G, donde se debe tener en cuenta; la movilidad, latencia y ancho de banda necesario, y determinar el impacto que tendrá la tecnología GGW para el desarrollo de la infraestructura con la nueva generación de telefonía móvil.

Las redes inalámbricas 5G se planearon para liberarse de las limitaciones de las generaciones anteriores. Aunque la transición de la infraestructura 4G a la 5G no es inmediata, los operadores tendrán que revaluar los sitios existentes de la 4G y asegurar que estos tengan la capacidad de manejar las etapas iniciales de implementación de la 5G para encontrar configuraciones más avanzadas y complejas, que sirvan para establecer un mejor rendimiento en los requerimientos que establece la 5G. Esto permitirá una mayor compatibilidad con dispositivos móviles con banda ancha móvil extremo (eMBB, por las siglas del término en inglés, *enhanced Mobile Broadband*), logrando velocidades máximas de datos de hasta 10Gbps. Además, la comunicación ultra confiable de baja latencia (uRLLC, por las siglas del término en inglés, *ultra-Reliable Low-Latency Communications*) minimiza los retrasos de hasta 1 ms, mientras que la comunicación masiva de todo tipo de máquinas (mMTC, por las siglas del término en inglés, *massive Machine Type Communications*) admite más de 100 dispositivos por unidad de área en comparación con la 4G [3,7].

En la actualidad, la 5G sigue desplegándose en todo el mundo, pero ante los desafíos que no son fácilmente alcanzables de forma compatible y las exigencias de la sociedad actual, se ha comenzado la estandarización de la 6G. Ante la creciente demanda intrínseca de la sociedad de las comunicaciones móviles de mejorar continuamente la eficiencia de la red, es decir, la eficiencia de costos, la eficiencia energética, la eficiencia del espectro y la eficiencia operativa. La 6G tiene entre una de sus características compartir información a una velocidad mucho más alta en comparación a las tecnologías actuales que existen en relación a telefonía móvil, como se muestras en la Fig. 2.

Ante este nuevo paradigma, sin lugar a duda, una de las primeras interrogantes que se plantea es; cuáles serán las nuevas prestaciones que tendrá esta nueva infraestructura de la 6G, y es aquí donde se espera obtener un salto exponencial en el desarrollo de la telefonía móvil. Con una velocidad de transmisión de datos de entre 1 a 10 Tbps, con una latencia de entre 10 a 100 µs, con una movilidad de 1000 Km/h, y con una densidad de $10^7$ /km$^2$ y un tráfico de área de 1 Gbps/m$^2$, mediante la utilización de las bandas de frecuencia óptica, con una eficiencia espectral que puede aumentar de 5 a 10 veces, mientras que la eficiencia energética de la red debe aumentar en más de 100 veces en comparación con la 5G para compensar el aumento en la velocidad de transmisión de datos, la inclusión de tres escenarios más a tener en cuenta como es el caso de la banda ultra ancha móvil ubicuo (uMUB, por las siglas del término en inglés, ubiquitous Mobile Ultra-Broadband), la ultra alta velocidad con comunicaciones de baja latencia (uHSLLC, por las siglas del término en inglés, *ultra-High-Speed with Low-Latency Communications*) y datos ultra altos de densidad (uHDD, por las siglas del término en inglés, *ultra-High Data Density*), respectivamente [7,8]. Con la llegada de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA, por las siglas del término en inglés, *artificial intelligence*), los THz y las constelaciones de satélites a gran escala, la red de comunicaciones puede evolucionar hacia un sistema más potente y eficiente, para cumplir mejor los requisitos de los servicios actuales y abrir la posibilidad de ofrecer servicios disruptivos nunca vistos hasta ahora. Sin embargo, estas bandas presentan grandes atenuaciones para la propagación de las ondas electromagnéticas que deben contrarrestarse con el diseño de antenas o arreglos de ellas con elevada ganancia, lo cual es posible, con longitudes de onda más cortas que permiten la construcción de estructuras más pequeñas.

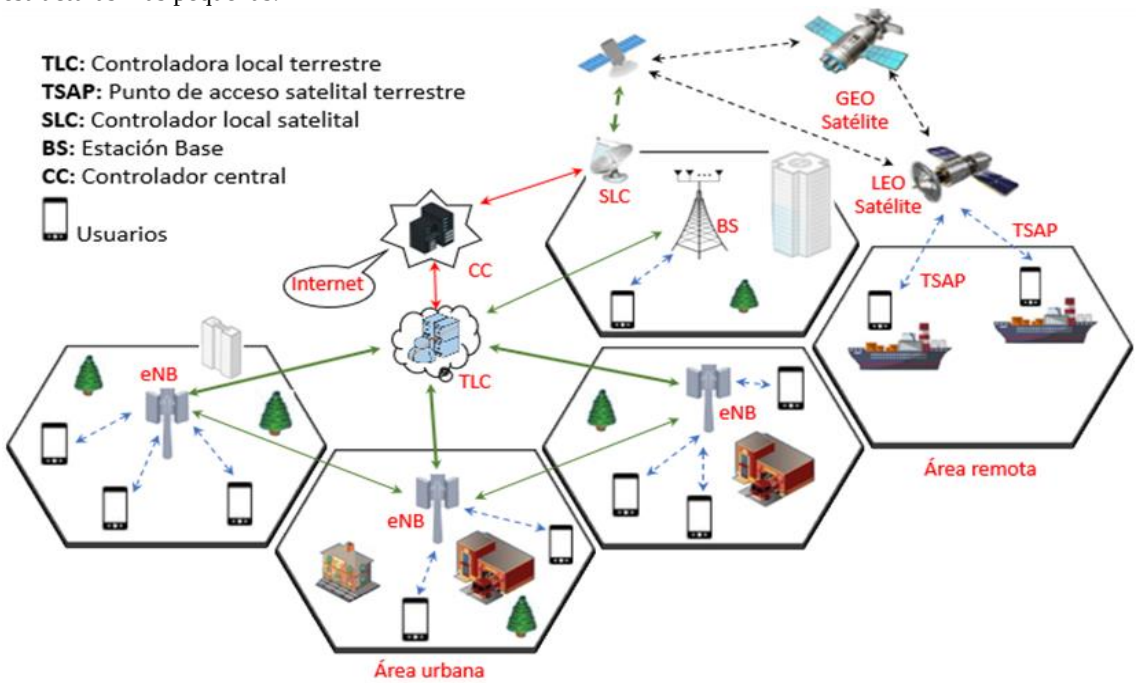



Figura 2: Arquitectura de control de la comunicación de una red integrada para un área urbana y un área remota.

La arquitectura consta de tres capas: capa de slicing de nube inteligente, capa de slicing para red de acceso radio (RAN, por las siglas del término en inglés, *Radio Access Network*) y capa de slicing de aplicaciones. La arquitectura se basa únicamente en la red slicing, que proporciona flexibilidad a la red, una de las soluciones optimizadas que puede aumentar la eficiencia del sistema y ayuda a habilitar los servicios necesarios, proporcionar vastas aplicaciones y aprovechar las capacidades de la red de forma eficaz.

## ETAPA II: CONCEPTOS

Una vez analizada la primera etapa de la investigación, donde se definieron los principales parámetros que determinaron el desarrollo de la nueva generación de telefonía móvil, mediante una comparación de las prestaciones que caracteriza a la 5G y 6G. Se precisaron las principales limitaciones que presentan

este tipo de red de comunicación y sus posibles aspiraciones por parte de la industria de las telecomunicaciones, en búsqueda de nuevas soluciones se desarrolla esta segunda etapa del estudio, la cual se dividió en dos fases: análisis de las condiciones y evaluación del sistema para la tecnología GW, mediante un análisis de los conceptos y desarrollo de esta tecnología. Para ello es necesario solucionar múltiples desafíos, como; el diseño de transceptores de área pequeña, alta eficiencia y capacidad de integración, para lo cual el diseño de arreglos de antenas de alta eficiencia y técnicas avanzadas de empaquetamiento constituye un factor decisivo.

La tecnología GW se basa en controlar la propagación de ondas electromagnéticas en direcciones deseadas a través de una región comprendida entre dos paredes metálicas situadas en paralelo. Si estas placas son modeladas con PEC siempre podrá hallar propagación independientemente de la distancia de separación entre las dos placas debido a que existe una solución para las ecuaciones de Maxwell, bajo estas condiciones de contorno. En cambio, si una de las dos placas es reemplazada por un PMC y tienen una separación menor a $\lambda/4$ no podrá encontrar propagación electromagnética. Sabiendo esto, es fácil imaginar que se podría dirigir la propagación de una onda si se combinan estas dos ideas. En la Fig. 3 se puede ver las tres situaciones que recogen de manera exacta la fundamentación de la tecnología GW. Para el primer ejemplo, que está marcado con la Fig. 3a), se forman dos platos metálicos, para un campo que se propaga a través de él en todas las direcciones y por tanto ocurren fugas a través de los laterales de la guía. La Fig. 3b), se ha sustituido el conductor eléctrico inferior por un conductor magnético, ocurriendo una anulación de la propagación del campo a través de la guía. En la parte que aparece la Fig. 3c), donde en el plato inferior se sitúa un tramo estrecho de conductor eléctrico y dos conductores magnéticos, uno a cada lado, se permite la propagación exclusivamente por el tramo de conductor eléctrico, y los conductores magnéticos evitan la propagación, consiguiendo un comportamiento similar a una guía de onda [5,6,9].

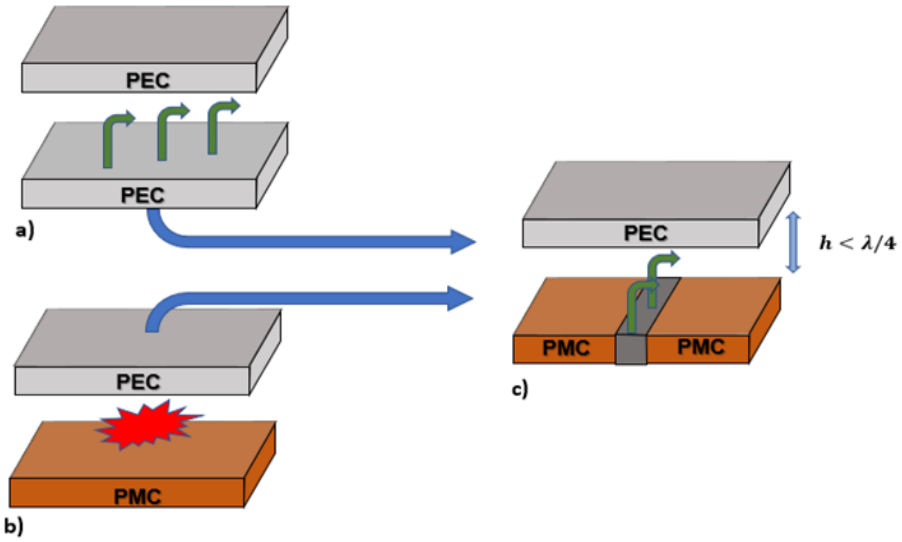



Figura 3: Fundamentos de la tecnología gap waveguide.

La solución parcial que se acaba de explicar en el párrafo anterior, conlleva otro desafío, la fabricación de conductores magnéticos perfectos, por no encontrarse este tipo de material en la naturaleza. Ante esta interrogante se comenzó la utilización de metamateriales, siendo estos materiales fabricados por el ser humano basados en estructuras periódicas para que adquieran ciertas características que no se pueden encontrar en los materiales convencionales.

La ventaja principal de dicha tecnología es que la propagación del campo es por el aire, es decir, en el gap, lo que propicia unas pérdidas prácticamente nulas. Todo el proceso de análisis, diseño y optimización de esta tecnología fue realizado a través del software de simulación CST Studio Suite 2024.

**ETAPA III: ESTRUCTURA PERIÓDICA**

Para esta etapa se determinan dos fases: condiciones de este tipo de tecnología y distribución de forma periódica, que garantizará la existencia de una banda de frecuencias en la que no existirá propagación alguna de ondas electromagnéticas, teniendo en cuenta lo analizado en la segunda etapa de la investigación. En la Tabla 1 se muestran las dimensiones finales de la estructura del arreglo de antena con la tecnología GGW, que serán utilizadas en el diseño.

Tabla 1: Valores de los parámetros del diseño de arreglo de antena.

| Parámetro | Descripción | Valor (mm) | Parámetro | Descripción | Valor (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_g$ | Espacio de aire (gap) | 0.2 | $b$ | Ancho de la ranura | 0.76 |
| $h$ | Altura del pin | 0.85 | $L_g$ | Largo de las placas | 14.30 |
| $w$ | Ancho del pin | 0.5 | $A_g$ | Ancho de las placas | 17.60 |
| $p$ | Período entre pines | 1.0 | $S_1$ | Separación del pin en la bifurcación | 0.80 |
| $w_c$ | Largo de la guía de onda | 2.48 | $S_2$ | Separación del pin en la bifurcación | 0.65 |
| $h_c$ | Altura de la guía de onda | 1.05 | $S_3$ | Ancho del pin reducido | 0.22 |
| $a$ | Largo de la ranura | 1.31 | $S_4$ | Largo del pin reducido | 0.50 |

Además de las dimensiones del pin, como parámetros a la hora del diseño se debe considerar el gap de aire que queda entre la parte superior del pin y la placa metálica superior. En este trabajo como en los casos anteriores se tomará la referencia de [10], teniendo siempre presente que este gap debe ser inferior a λ/4. El diseño de un único pin que se repite periódicamente, es un elemento fundamental en cada una de las variantes de la tecnología GW, que dará origen a la superficie, llamada Conductor Magnético Artificial (AMC, por las siglas del término en inglés, *Artificial Magnetic Conductors*). Las características de dicho pin se ven más claramente en su diagrama de dispersión, al representar las características de propagación de distintos modos en esta retícula de pin. En este se define la celda unidad como la sección o estructura periódica para el cálculo de la banda prohibida [10,11]. Los pines son prismas con base cuadrada de lado *w* y con altura *h*, y $h_g$ que denota la separación entre el pin y la placa superior, donde $h + h_g$ representa la separación entre las placas paralelas. El parámetro p representa la periodicidad, debido a que la celda unitaria con dimensiones $p \times p \times (h + h_g)$ es replicada infinitamente en el plano, creando la superficie AMC, como aparece en la Fig. 4.

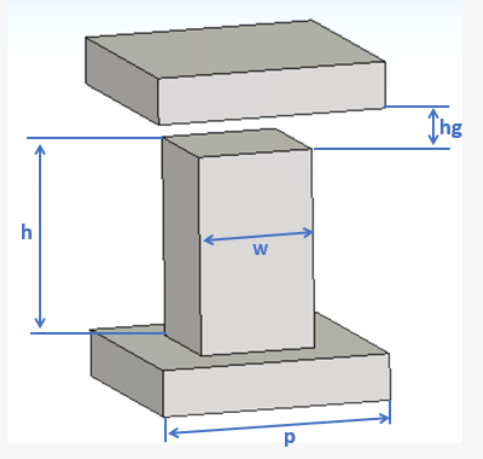



Figura 4: La celda unidad.

Una vez elaborado el pin, se empleó el EigenMode Solver, del software CST, estableciendo las condiciones de contorno apropiadas para simular una estructura periódica en el plano horizontal. De este modo se obtuvo el diagrama de dispersión que se muestra en la Fig. 5, donde se aprecia que alrededor de los 59 GHz los modos de placas paralelas son forzados al corte, y vuelven a propagarse a partir de los 125GHz aproximadamente, resultando este intervalo de frecuencias la banda prohibida de la estructura diseñada.

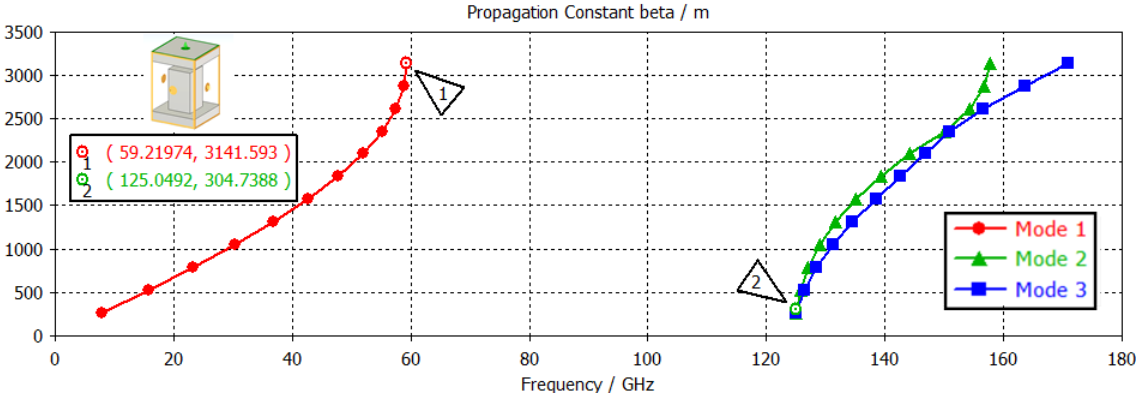



Figura 5: Diagrama de dispersión del pin diseñado.

## DISEÑO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN GGW

Este tipo de configuración de alta impedancia impone un modo de propagación $TE_{10}$, similar al de una guía de onda rectangular estándar. En este caso, las estructuras periódicas teóricamente deben poseer una extensión infinita para impedir la fuga de energía en su totalidad, de este modo se colocan un conjunto de pines con los mismos parámetros que el diseñado en el epígrafe anterior (ver Fig. 4). En la Fig. 6, se observa la sección transversal de la estructura GGW, que de manera práctica se pueden conseguir valores de pérdidas muy bajos con la implementación de tres filas de pines, para conseguir el efecto deseado de imponer en sus regiones laterales una prohibición de propagación de potencia [11]. El diagrama de dispersión resultante se muestra en la Fig. 7, donde es posible observar la propagación del modo cuasi-TEM en el intervalo de frecuencias prohibidas por la estructura AMC.

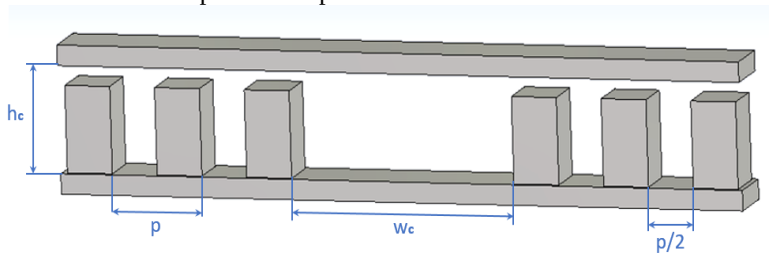



Figura 6: Sección transversal de la estructura GGW.

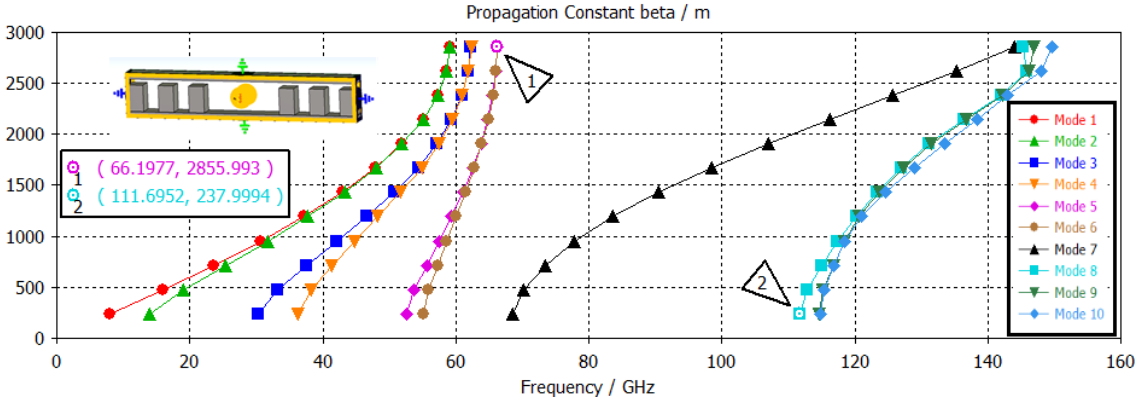



Figura 7: Diagrama de dispersión de la línea de transmisión GGW.

**ETAPA IV: DISEÑO DE ANTENA**

Esta constituye la última etapa del procedimiento y se encuentra dividida en dos fases: diseño y simulación. En la primera fase, y como uno de los requerimientos de la antena para la aplicación propuesta se empleó como punto de partida una geometría similar a la utilizada en [9-12], y está destinada a comprobar la futura estructura porque se espera montar en tiempo real, para describir en detalle las condiciones que llevaron a cabo la selección de este tipo de tecnología, por considerarse la más indicada para la 6G, teniendo en cuenta las etapas anteriores de la investigación.

**DISEÑO DEL ELEMENTO SIMPLE DEL ARREGLO**

En la Fig. 8, se observa la estructura del elemento simple para la tecnología GGW, la cual consiste en una ranura S: acoplada a niveles altos de potencia debido a que las líneas de corriente en estas zonas circulan perpendiculares a la dimensión mayor de la ranura, en la dirección de propagación. Para el diseño se asumió que los valores iniciales que se han escogido han sido seleccionados con la única condición a cumplir de que la distancia entre el puerto de entrada y la ranura en el eje X, fuese de al menos λ/4, y con una separación pequeña respecto al comienzo de la pared de pines laterales.

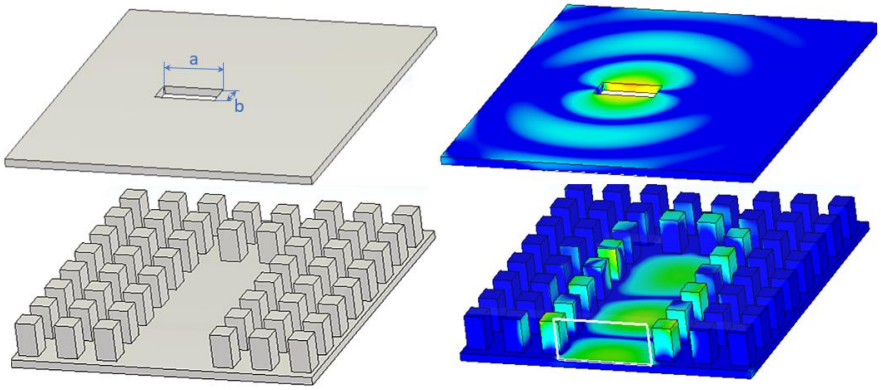



Figura 8: Vista superior del elemento simple y las dimensiones de la ranura

En la Fig. 9 se muestra el parámetro S11 de la estructura y la gráfica muestra como la resonancia de la apertura radiante está próxima a la frecuencia central de la banda de trabajo, que es 94 GHz, y se encuentra por debajo de los -10 dB en toda la banda garantizando un buen acoplamiento.

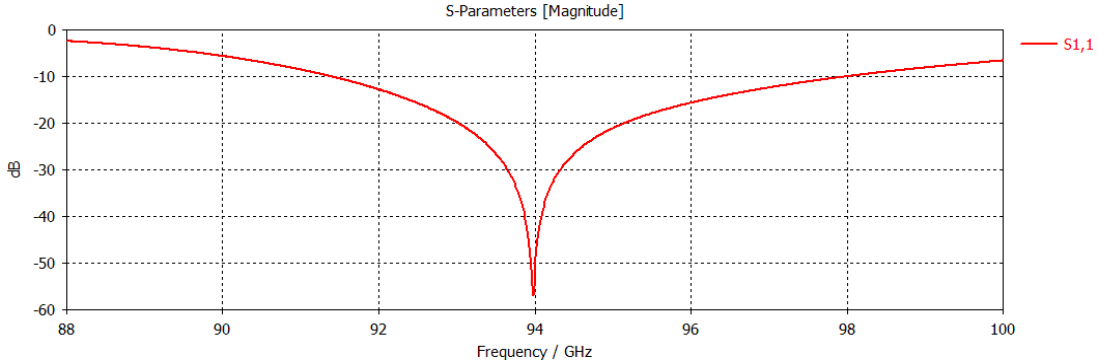
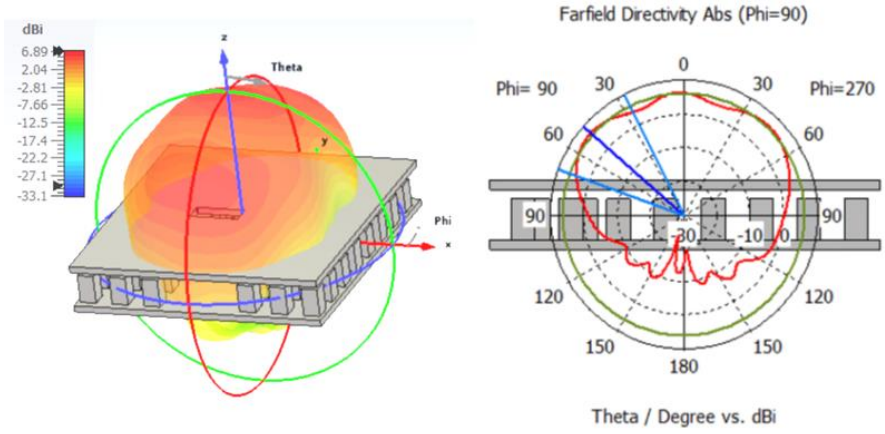



Figura 9: Parámetro $S_{11}$ de la estructura.

El diagrama de radiación se muestra en la Fig. 10 , tanto en 3D como en 2D, observándose que se obtiene una ganancia máxima de 6.89 dBi, y que existe un lóbulo de radiación aproximadamente simétrico, característica útil en función de la aplicación en que se utilice la antena.




a) b)

Figura 10: Patrón de radiación. a) Diagrama en 3D. b) Sistema coordenadas polares.

## DISEÑO DEL ARREGLO DE 2X2 CON TECNOLOGÍA GGW

En esta sección se diseñará un arreglo de 2x2 ranuras, compuesto por los niveles citados anteriormente y luego se van uniendo a través de divisores T, para lo cual es necesario el diseño de una red de distribución de potencia capaz de excitar con igual amplitud y fase las cuatro ranuras radiantes. Se procede a poner un pin en la bifurcación con el objetivo de mejorar la adaptación. Como se desea distribuir la potencia por igual entre los dos puertos de salida del divisor en T, el pin se coloca en el centro de la bifurcación. Por lo tanto, la variable de diseño de esta discontinuidad es la separación entre el pin y la pared del fondo del divisor, $S_1$ y $S_2$. Con este diseño, se comprueba que se realiza una reducción de los pines que corresponde a las salidas del primer divisor en T, que corresponden con $S_3$ y $S_4$, con el fin de obtener el mayor ancho posible y una mejor adaptación en el diseño de arreglo de antena con tecnología GGW, se reduce el tamaño de la estructura, para lograr una distribución más eficiente de propagar la señal con las dimensiones de pines que se seleccionó, como se puede observar en la Fig. 11.

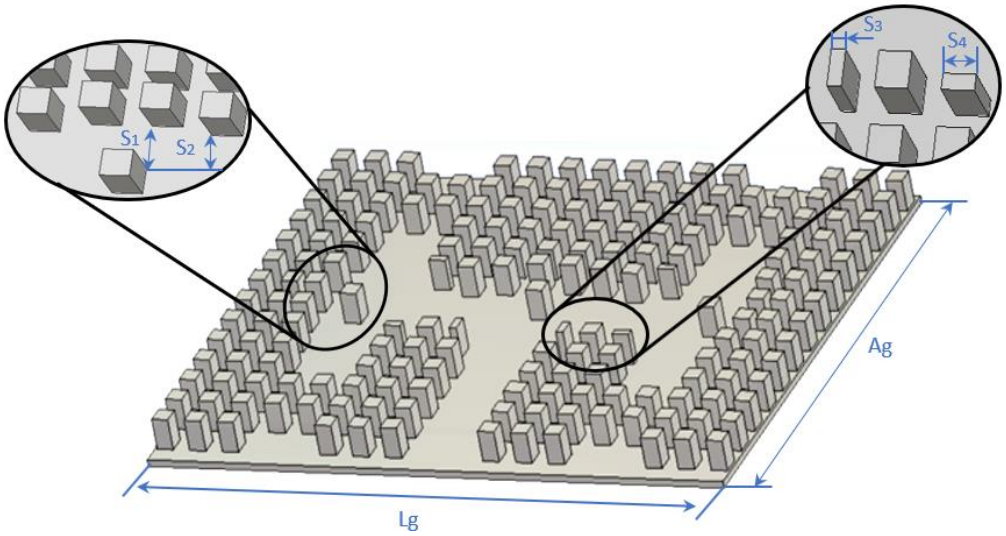



Figura 11: Divisor de potencia en T con un pin en la bifurcación como discontinuidad.

El objetivo en este caso es ver la relación que hay entre estas dos estructuras, teniendo en cuenta la Fig.11. Es decir, cómo actúa esta nueva estructura con los valores optimizados en la cual se basa este diseño. Con estos valores se simula la red, obteniendo la adaptación que se muestra en la Fig. 12, y se comprueba que la distribución de potencia y la diferencia de fase se siguen manteniendo de manera óptima en el desempeño de la antena en la simulación.

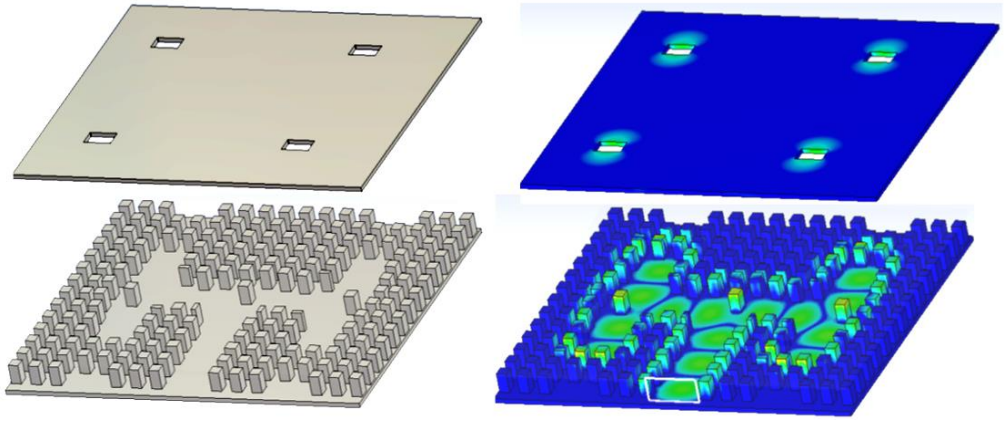


Figura 12: Comportamiento del campo eléctrico dentro de la estructura de la antena.

Con los resultados obtenidos en el parámetro S11, en la Fig. 13 se puede observar que esta configuración de arreglo, asegura un coeficiente de reflexión por debajo de -10dB, acentuándose claramente sobre el pico de resonancia en la frecuencia de 94 GHz, con una adaptación muy buena, dando como resultado una respuesta perfectamente centrada en la frecuencia deseada, representando un 18.2 %
del ancho de banda.

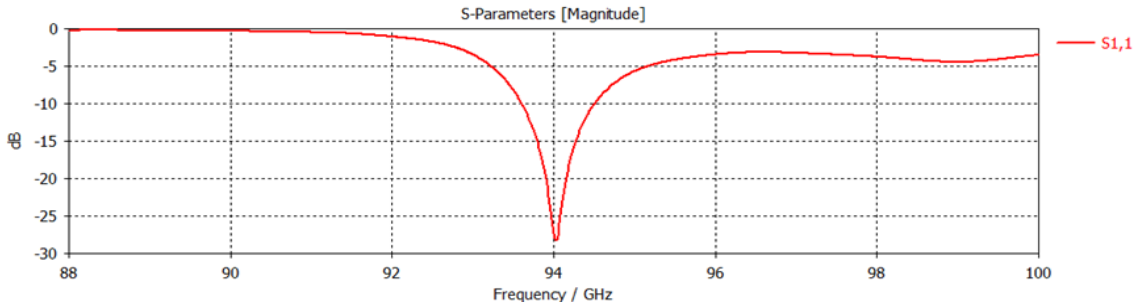
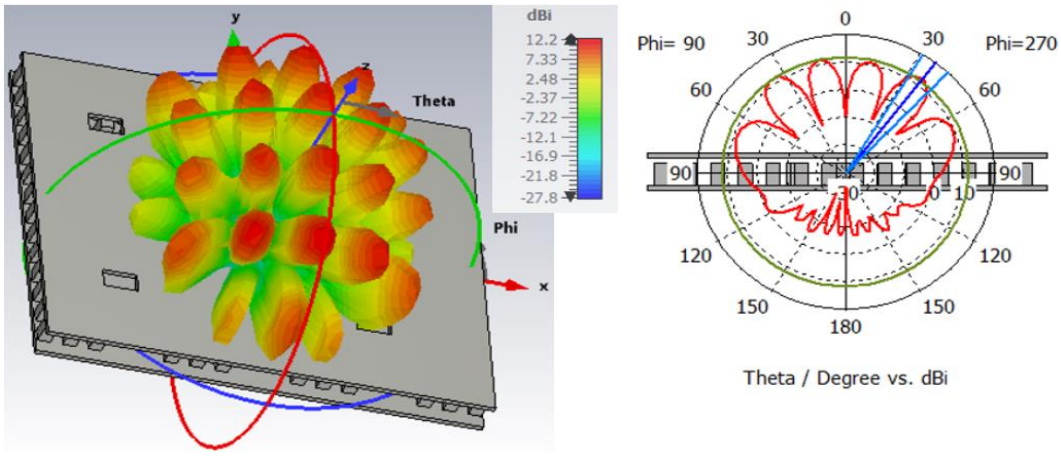



Figura 13: Parámetro S11 del arreglo de antena con tecnología GGW.

Este arreglo posee una ganancia realizable de 12.2 dBi, presentando una característica direccional multilobular, que puede ser aprovechada en determinadas aplicaciones. Esta tecnología puede verse, como una alternativa en el diseño de antenas para trabajar en mmWave a la hora de la fabricación de los componentes de guía de onda con muy bajas pérdidas. Ampliando los límites de la tecnología en muchos frentes; capacidad, cobertura, latencia, potencia y la movilidad, entre otros. Estos resultados se muestran en la Fig. 14.




a) b)

Figura 14: a) Ganancia, b) Patrón de radiación en coordenadas polares.

## CONCLUSIONES

La principal contribución de esta investigación es el estudio de la tecnología GGW, mediante el diseño de un arreglo de antena con tecnología GGW para aplicaciones satelitales en la banda W. El uso combinado de esta tecnología, integrándola con otros sistemas de comunicación, podría abrir la puerta a innovadoras aplicaciones que surgirán con la 6G. En este nuevo entorno de red, las mmWave se perfilan, como una posible solución idónea para cumplir con los requisitos de los nuevos escenarios que surgirán con la nueva generación de la telefonía móvil. Se propone una estructura simple basada en la tecnología GGW para un diseño desarrollado en el plano H, con una ganancia de 6.89 dBi. Con el fin de mejorar la ganancia se consiguió con la misma tecnología, un arreglo de antenas de 2 × 2 garantizando la posibilidad de su empleo en la frecuencia de diseño a 94 GHz, con un ancho de banda de trabajo del 18.2% de la banda de interés y una ganancia realizable de 12.2 dBi. Por lo tanto, el diseño de arreglo de antena propuesto con la tecnología GGW, basado en una estructura compacta, con bajo perfil y peso, pero al mismo tiempo con unas características de radiación correctas, que posibilita también su integración con una antena de comunicaciones, creando así un sistema completo de transmisión y recepción de múltiples tipos de datos en enlaces satelitales, es una tecnología clave para resolver problemas que se puedan presentar en la estructura de la 6G; facilitando el salto de las comunicaciones inalámbricas hacia nuevas tecnologías y así satisfacer la creciente demanda de los usuarios.

## REFERENCIAS

1. SOARES PIVOTO, Diego Gabriel et al. "A Detailed Relevance Analysis of Enabling Technologies for 6G Architectures". *IEEE Access*, 2023, vol 11, pp. 89644-89684.
2. ALRAIH, Saddam; NORDIN, Rosdiadee; ABU-SAMAH, ASMA; SHAYEA, IBRAHEEM; FADZILAH ABDULLAH Nor. "A Survey on Handover Optimization in Beyond 5G Mobile Networks: Challenges and Solutions". *IEEE Access*, 2023, vol 11, pp. 59317-59345.
3. CHUKHNO, Nadezhda et al. " Models, Methods, and Solutions for Multicasting in 5G/6G mmWave and Sub-THz Systems ". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2024, vol 26, núm. 1, pp. 119-159.
4. RABBANIFARD, Mahdieh; ZARIFI, ZARIFI; FARAHBAKHSH, Ali; MROZOWSKI, Michal. “Design of Compact and Wideband Groove Gap Waveguide-Based Directional Couplers". *IEEE Access*, 2024, vol 12, pp. 86346-86354.
5. MORALES HERNÁNDEZ, Aitor; FADZILAH ABDULLAH, Ángel Miguel; FERRANDO ROCHER, Miguel; MARINI, Stephan; E. BORIA, Vicente. “In-Depth Study of the Corona Discharge Breakdown Thresholds in Groove Gap Waveguides and Enhancement Strategies for Inductive Bandpass Filters". IEEE Access, 2022, vol 10, pp. 129149-129162.
6. AL MASRI, Zeina; JABRI, Ahmad; TAWK, Youssef; COSTANTINE, Joseph. “A Groove Gap Waveguide Feeding Network for Dual-Circularly Polarized Antenna Arrays ". IEEE Journal of Microwaves, 2024, vol 4, núm. 3, pp. 512-520.
7. KIM, Myoungsu; OH, Insu; YIM, Kangbin; SAHLABADI, Mahdi; SHUKUR, Zarina. "Security of 6G-Enabled Vehicle-to-Everything Communication in Emerging Federated Learning and Blockchain Technologie". IEEE Access, 2024, vol 12, pp. 33972-34001.
8. BLANCO ORTA, Jorge Luis; GUERRA MARTÍNEZ, María del Carmen; MARANTE RIZO, Francisco Reinerio. "Análisis del desempeño de la OTFS para mejorar la flexibilidad de la arquitectura para la 6G". Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones RIELAC, 2021, vol 42, núm. 3, pp. 18 - 30.
9. MAMDOUH M. ALI, Mohamed; M. HARAZ, Osama; AFIFI, Islam; SEBAK, Abdel-razik; A. DENIDNI, Tayeb. "Ultra-Wideband Compact Millimeter-Wave Printed Ridge Gap Waveguide Directional Couplers for 5G Applications". IEEE Access, 2022, vol 10, pp. 90706-90714.
10. Wang, Caixia; Yao, Yuan; Cheng, Xiaohe; Li, Sheng; Zhu, Zhongbo; Li, Xiaojun. "Groove Gap Waveguide Wideband Circularly Polarized Endfire Antenna for W-band Application". 2020 Cross Strait Radio Science & Wireless Technology Conference (CSRSWTC), 2020, pp. 1-3.
11. HAMEDANI, Mahsa; ORAIZI, Homayoon; AMINI, Amrollah; ZARIFI, Davoud; UZ ZAMAN, Ashraf. "Planar H-Plane Horn Antenna Based on Groove Gap Waveguide Technology". IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, vol 19, núm. 2, pp. 302-306.

12. FERRANDO ROCHER, Miguel; HERRANZ HERRUZO, Jose Ignacio; VALERO NOGUEIRA, Alejandro; BERNARDO CLEMENTE, Bernardo. "Single-Layer Sequential Rotation Network in Gap Waveguide for a Wideband Low-Profile Circularly Polarized Array Antenna". IEEE Access, 2022, vol 10, pp. 62157-62163.

**Sobre los autores**

**Jorge Luis Blanco Orta**, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Emisora Municipal de Radio Mariel, Artemisa, Cuba, se desempeña como especialista C en explotación de la radio. Intereses de investigación incluyen: identificación de sistemas de comunicación inalámbricas, estudio de las limitaciones para la infraestructura para la 6G, análisis de los retrasos localizados, degradaciones Doppler y desarrollo de arreglos de antenas con tecnología GGW.

**María del Carmen Guerra Martínez**, Ingeniero en Telecomunicaciones, Master en Ciencia, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Habana, Cuba, se desempeña como Profesora, es Asistente, y pertenece al Grupo de Comunicaciones Inalámbricas. Intereses de investigación: identificación de sistemas de comunicación inalámbrica y estudio de las limitaciones para la infraestructura para la 6G, modelación de sistemas físicos MIMO.

**Miguel Eduardo Borrego Corona,** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Doctor en Ciencias Técnicas, máster en la especialidad de microondas, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Habana, Cuba, investigador auxiliar, profesor auxiliar, orden Carlos J. Finlay, diplomado en electrónica en la Universidad de Hefei, China, 18 publicaciones nacionales e internacionales. Actualmente trabaja la línea de aplicación de nuevas tecnologías de WiFi en sistemas de video vigilancia.

**Kenneth Marichal Leyha**, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Centro de Investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire", Habana, Cuba, se desempeña como investigador auxiliar. Intereses de investigación incluyen: identificación de sistemas de radiación, metamateriales, radioenlaces y telemática.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# APLICACIÓN Y RESULTADOS DE NUEVOS ENFOQUES PEDAGOGICOS EN REDES DE SENSORES

**Agnes S. Nagy[1], Alicia Polanco Risquet[2]**

[1-2] Universidad Tecnológica de La Habana. "José Antonio Echevarría", CUJAE,
Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba
[1]e-mail: agnes.nagy@cime.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El desarrollo tecnológico acelerado, con crecimiento cada vez más exponencial en las primeras décadas del siglo XXI y su uso extendido en todas las esferas económico – sociales en el mundo, impone retos a la sociedad y también a la formación profesional. Este último implica la necesidad de introducir modificaciones en la formación profesional tanto pre como post graduada, que incluye no sólo cambios en los contenidos, sino también cambios imprescindibles en los enfoques pedagógicos empleados en el proceso enseñanza-aprendizaje. Uno de los nuevos contenidos introducidos en la formación profesional es el de Redes de Sensores, tanto en pregrado como en cursos de maestría. En la Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, esta temática forma parte de una asignatura optativa de pregrado y de la asignatura obligatoria Sensores y Redes de Sensores, del perfil de Electrónica de la Maestría. Se planteó como paradigma colocar al alumno en el centro del proceso de aprendizaje y guiar su pensamiento para lograr el desarrollo individual de capacidades y competencias profesionales –teniendo en cuenta factores afectivos, sociales y cognitivos– y sembrar las bases para su auto-preparación y actuación creativa.
El objetivo de este trabajo es presentar la metodología de enseñanza – aprendizaje elaborada para el diseño de redes de sensores, aplicable y aplicada en diferentes niveles de enseñanza, así como mostrar los resultados de su aplicación en cursos Optativos y de Maestría, incluyendo en ambos casos, tanto la valoración de los profesores, como de los alumnos.

**PALABRAS CLAVES:** formación profesional, redes de sensores, metodologías pedagógicas, proceso enseñanza-aprendizaje.

**ABSTRACT**

The accelerated technological development, with increasingly exponential growth in the first decades of the 21st century and its widespread use in all economic and social spheres in the world, imposes challenges to society and also to professional training. The latter implies the need to introduce modifications in both pre- and post-graduate professional training, which includes not only changes in contents, but also essential changes in the pedagogical approaches used in the teaching-learning process. One of the new contents introduced in professional training is that of Sensor Networks, both in undergraduate and master courses. At the Technological University of Havana CUJAE, this subject is part of an optional undergraduate course and of the compulsory course Sensors and Sensor Networks, of the Electronics profile of the Master's Degree. It was proposed as a paradigm to place the student at the center of the learning process and guide his thinking to achieve the individual development of professional capacities and competences - taking into account affective, social and cognitive factors - and to lay the foundations for his self-preparation and creative performance.
The objective of this work is to present the teaching-learning methodology developed for the design of sensor networks, applicable and applied at different levels of education, as well as to show the results of its application in elective and Master's courses, including in both cases, the assessment of teachers and students. .

**KEY WORDS:** professional training, sensor networks, pedagogical methodologies, teaching-learning process.

## 1. INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico acelerado, con crecimiento cada vez más exponencial en las primeras décadas del siglo XXI y su uso extendido en todas las esferas económico – sociales en el mundo, impone retos a la sociedad y también a la formación profesional. Este último implica la necesidad de introducir modificaciones en la formación profesional tanto pre como post graduada, que incluye no sólo cambios en los contenidos, sino también cambios imprescindibles en los enfoques pedagógicos empleados en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Uno de los contenidos internacionalmente introducidos en la formación profesional es el de Redes de Sensores, tanto en pregrado [1,2] como en cursos de maestría [3]. En la Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, esta temática forma parte de la asignatura optativa de pregrado ″Fundamentos de la Microelectrónica″ impartida en las carreras de Automática e Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, así como de la asignatura obligatoria Sensores y Redes de Sensores, del perfil de Electrónica de la Maestría.

En la preparación de ambos cursos se empleó un nuevo enfoque pedagógico, planteando como paradigma colocar al alumno en el centro del proceso de aprendizaje [4,5] y guiar su pensamiento [6,7,8] para promover la visión sistémica, la integración de conocimientos, lograr el desarrollo individual de capacidades y competencias profesionales –teniendo en cuenta factores afectivos, sociales y cognitivos– y sembrar las bases para su auto-preparación y actuación creativa. En este artículo solo se presenta la parte de los contenidos referidos a la metodología de diseño de las Redes de Sensores, elaborada con el nuevo enfoque pedagógico y basada en una estrategia didáctica, que tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Una estrategia expresa el proceso de ideas enfocadas en anticipar acciones para conseguir un objetivo o conjunto de objetivos. Dado el carácter cambiante, interactivo y adaptativo de la realidad social y educativa, *en* [9] se interpreta el concepto de la estrategia como *"procedimiento adaptativo o conjunto de ellos por lo que se organiza secuencialmente la acción para lograr el propósito o meta deseado."* La estrategia siempre debe estar fundamentada en un método [10]. Por esta razón, en el campo propiamente educativo, algunas veces se habla de estrategias de enseñanza y otras de estrategias didácticas.

En la formulación de una estrategia didáctica intervienen varios componentes [9,10]:

- Consideración teórica o perspectiva de conjunto del proceso, que proporciona direccionalidad y visión de conjunto a las acciones concretas a realizar.
- Finalidad o meta deseada, en que el trabajo a realizar encuentra su razón de ser y la motivación para su realización.
- Secuencia adaptativa, que permite flexibilidad e interacción, propiciando el desarrollo de competencias, como la creatividad, previsión y toma de decisiones acertadas.
- La realidad contextual, siendo esta el elemento clave en el diseño estratégico. Es el punto de partida del proceso de diseño y su punto de retorno, donde se manifiestan los resultados alcanzados.

La descripción detallada de la *Metodología de diseño basada en una estrategia didáctica* se encuentra en el apartado 2, su aplicación y resultados en el apartado 3, mientras el apartado 4 se dedica a su valoración.

El objetivo de este trabajo es: presentar la metodología de enseñanza – aprendizaje elaborada para el diseño de redes de sensores, que basada en la estrategia didáctica elaborada, logra desarrollar capacidades y competencias profesionales, sembrando las bases para la auto-preparación y actuación creativa; mostrar su aplicabilidad en diferentes niveles de enseñanza, así como los resultados de su aplicación en cursos Optativos y de Maestría, incluyendo en ambos casos, tanto la valoración de los profesores, como la de los alumnos.

## 2. METODOLOGIA DE DISEÑO DE REDES DE SENSORES BASADA EN UNA ESTRATEGIA DIDACTICA

Como la estrategia siempre se fundamenta en un método o metodología, a continuación, se presenta la *Metodología de diseño basada en una estrategia didáctica*, elaborada y empleada en ambos cursos.

La teoría general del diseño ingenieril considera tres aspectos como fundamentales para el diseño:

- Escenario, para el cual se propone el diseño
- Requisitos, que el diseño debe cumplir para satisfacer las demandas del escenario
- Arquitectura, la estructura física – lógica que posibilita el cumplimiento de los requisitos

En la elaboración del diseño estratégico estos tres aspectos se consideran como pilares, cuya interrelación determinará una serie de procedimientos que guiarán el pensamiento y las acciones a realizar, para alcanzar un objetivo o determinadas metas.

Para establecer el encadenamiento de procedimientos y acciones, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

a) La verdadera **relevancia social** de las redes inalámbricas de sensores no consiste en el inmenso número y variedad de los datos que son capaces de obtener, sino en el uso que se hace de ellos para el bien de la sociedad: mejorar la calidad de la vida, aumentar la eficiencia de los procesos de la producción, el cuidado del medioambiente, entre muchos otros.
b) El beneficio del uso específico y práctico a que se destinan los datos adquiridos, en adelante llamado **Utilidad**, se debe tener en cuenta desde el inicio del diseño, para:
   - asegurar la cantidad y calidad requerida de los datos, su almacenamiento y facilidad de acceso, lo que contribuye a su relevancia social.
   - asegurar los recursos de hardware y software necesarios, evitando modificaciones (mayores o menores) en el diseño ya realizado, así como si es preciso, proporcionar o prever herramientas para el análisis de los datos.

c) Secuencia adaptativa que permita el desarrollo de competencias: creatividad, previsión, organización, estructuración de lo no estructurado y toma de decisiones acertadas [10, 11, 12]
d) Escenario, como realidad contextual para el diseño de redes de sensores. Con el escenario empieza y a él retorna el diseño [9,10] con los resultados **(Utilidad)** obtenidos.

La visualización gráfica de la estrategia didáctica (ver figura 1) ayuda profundizar y madurar ideas, promover la visión sistémica y la integración de conocimiento, guiando –pero a la vez dejando libre– el pensamiento del diseñador. Es la base de la explicación detallada que se presenta posteriormente.

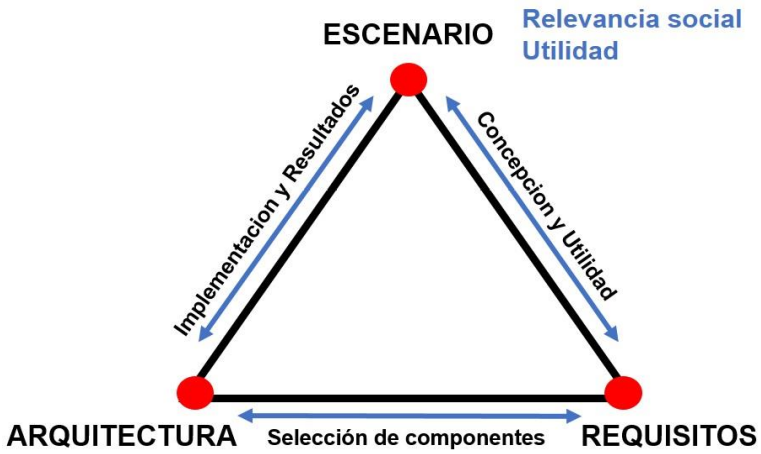



Figura 1: Representación gráfica de la Estrategia didáctica.

Esta estrategia didáctica se basa en tres pilares: Escenario, Requisitos y Arquitectura, que se entrelazan a través de puentes, guiando el pensamiento objetivo y creador del diseñador, enfocado a organizar y realizar una serie de procedimientos y anticipar acciones para alcanzar un objetivo o determinadas metas del diseño.

El proceso del diseño comienza con el estudio del Escenario. Los Escenarios donde se emplean las redes inalámbricas de sensores son muy diversos, cada uno con sus propias condiciones, características y necesidades, cuyo *estudio creativo* permite determinar qué información (dato) debe ser adquirida, y cómo estos deben ser procesados y presentados en el escenario al concluir la implementación de la red propuesta, para que los resultados obtenidos sean socialmente relevantes y utilizables.

Para establecer los requisitos del diseño con precisión, el puente entre Escenario y Requisitos se le denomina *Concepción y Utilidad* (ver figura 1), ya que la Utilidad prevista en el estudio del escenario puede generar requisitos adicionales tanto de hardware como de software. Este paso contribuye a la formación de *competencias organizativas, de previsión y creatividad*. Los requisitos que se establezcan influyen tanto en las *decisiones a tomar* respecto a la Arquitectura, *estructurando lo no estructurado*, como en la selección de componentes convenientes para su materialización. Además, a la vez, estos influyen sobre la implementación de la aplicación (que es el puente a través del cual se retorna al escenario), permitiendo *prever* −según la experiencia del diseñador− *los retos que deben ser resueltos*, y resolverlos *(creatividad)* para o durante la implementación de una aplicación dada.

La *Implementación y comprobación* de los *Resultados* cierra el ciclo de la estrategia didáctica de diseño, donde los resultados incluyen tanto la prueba funcional, como la obtención de la Utilidad prevista, que debe poner en evidencia su relevancia social.

Lo antes expuesto expresa que la estrategia didáctica elaborada para el diseño de redes inalámbricas de sensores potencialmente cumple con las expectativas planteadas. Su efectividad fue comprobada a través de su aplicación en un curso de capacitación para profesionales [12], tres cursos optativos y un curso de maestría.

## 3. APLICACIONES Y RESULTADOS

Tanto en los cursos Optativos como en la Maestría se planificó un Seminario cuyo objetivo era el diseño de una Red de Sensores, de forma independiente, utilizando la Metodología ~~antes~~ descrita en el apartado 2. Los resultados se ilustran y analizan a continuación.

**Cursos Optativos**

Como en este curso los alumnos son de pregrado, fueron los profesores que ofrecieron los diferentes Escenarios para el diseño de una red de sensores, utilizando la estrategia didáctica de diseño antes descrito. A continuación, en las figuras 2, 3 y 4 se ilustran algunos de los resultados obtenidos.




Figura 2: Competencia de natación.

(Observe: se incluyó un nodo de repetición para mitigar el efecto de la densidad del agua, un nodo para la señal de salida de los nadadores, y otro nodo para reflejar los resultados personales de cada nadador)

**Agricultura**

En este trabajo se propone una red de sensores para el área de cultivo mostrado, que contribuya a mejorar el sistema de riego.



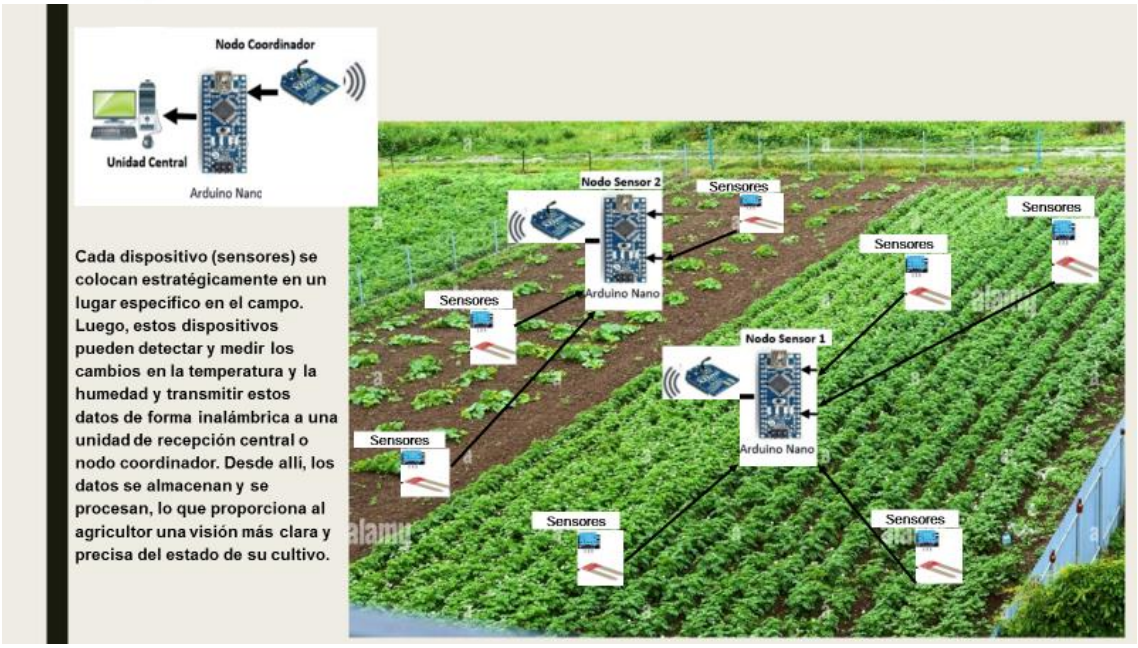



Figura 3: Sistema de riego (Observe: se ajuntó a la demanda del cultivo).




Figura 4: Control de un estacionamiento.(Observe la previsiónde posibles incidentes)

Los trabajoslos realizados y presentados en el seminario han demostrado la *capacidad adquirida* por los alumnos en el análisis de los diversos escenarios, la relevancia social y utilidad de cada aplicación, y en la concepción del diseño topológico de las redes de sensores correspondientes. Otro aspecto a destacar es el *desarrollo de competencias* en la organización del contenido de las presentaciones y en el trabajo en equipos.

**Curso de Maestría**

En el curso de Sensores y Redes de Sensores de la Maestría de Electrónica se empleó la misma metodología, pero –al ser los alumnos ingenieros graduados– con la aspiración de alcanzar una interiorización más profunda, activa y creativa. Se les orientó además. la implementación al menos de una parte de la red diseñada.

En el curso de la Maestría son los participantes de cada equipo quienes determinan la aplicación cuya red de sensores van a diseñar, de acuerdo a sus intereses laborales, o tesis de maestría previstas.

La experiencia de los matriculados al curso respecto a las redes de sensores es muy diversa, aunque todos trabajan en áreas de conocimiento de la electrónica. El seminario mostró que todos lograron diseñar una red inalámbrica utilizando la metodología orientada, pero la complejidad y terminación de las redes diseñadas naturalmente era diferente. A continuación, se ilustrarán algunas, acompañadas con el comentario de sus autores.

- Sistema de Monitoreo Remoto de Pacientes (figura 5)

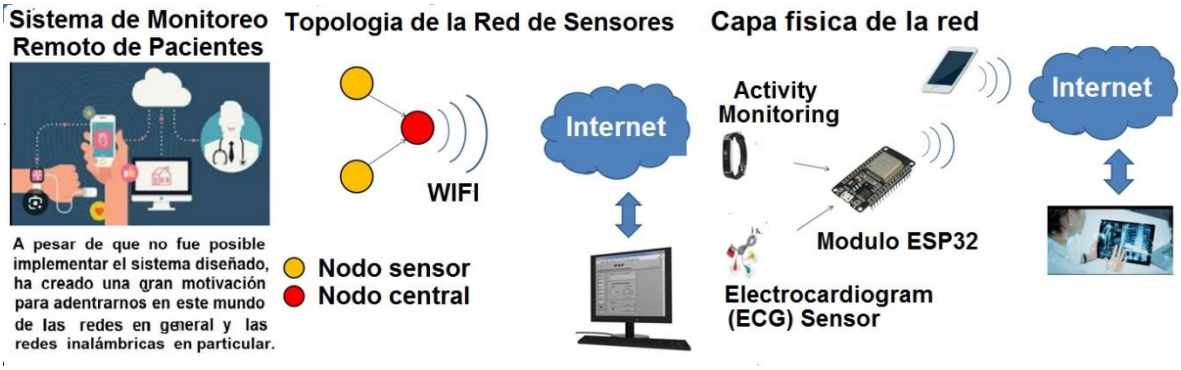



Figura 5: Sistema de Monitoreo Remoto

*Comentario de los autores:*

"A pesar que no fue posible implementar el sistema diseñado, ha creado una gran motivación para adentrarnos en este mundo de las redes en general y las inalámbricas en particular". (los autores)

- Caso de Estudio: Diseño de una Red de Sensores para la monitorización de Presión y Caudal en la Fuente de abasto Ariguanabo (ver figuras 6 y 7).




Figura 6: Título del trabajo y solicitud de Aguas de La Habana

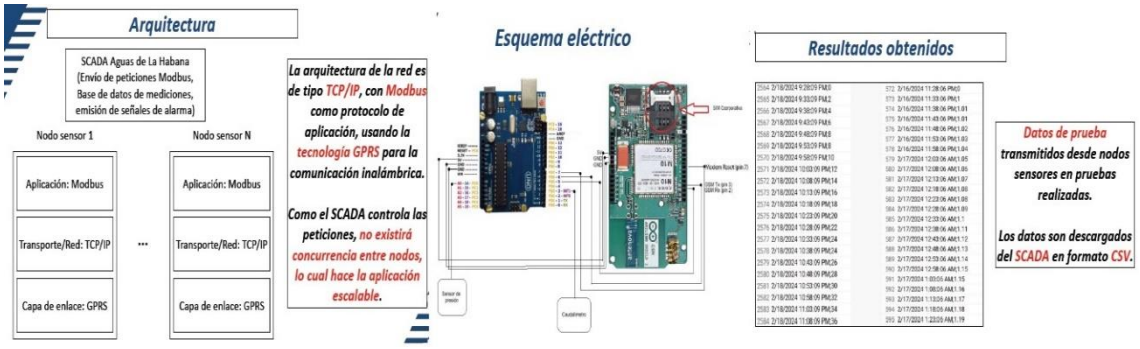



Figura 7: Episodios del trabajo

*Comentario:*
Al terminar la exposición quedó evidente que el diseño excelente que se presentó es fruto de meses de trabajo anterior, o sea, realizado antes de que sus autores hubieran oído de la Metodología de diseño impartido dentro del curso de la Maestría, lo que motivó el siguiente intercambio:

*Pregunta de los profesores:* ¿Cómo valorarían ustedes la Metodología impartida en el curso como diseñadores de esta aplicación?

*Respuesta de los autores:* Teniendo en cuenta nuestra experiencia vivida podemos decir que:

*"Esta Metodología es el camino de la vida"*

- Diseño de una red de sensores básica para el estudio de la marcha
  Las figuras 8 y 9 ilustran el trabajo desarrollado y los resultados alcanzados.

Preparación | Medición tri-direccional del movimiento | Diseño topológico de la red

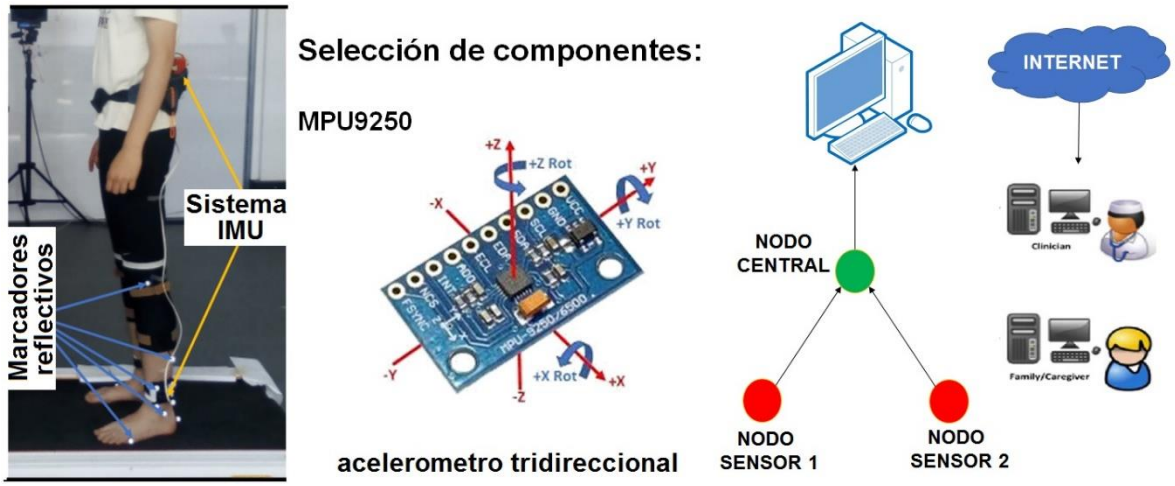



Figura 8: Trabajo preparativo




Figura 9: La red diseñada y la comprobación de su funcionamiento.

*Comentario:*

El equipo que realizó este trabajo tiene cuatro miembros: dos de ellos cuentan con alta y mediana experiencia, mientras los otros casi no tenían experiencia previa en este campo. Sin embargo, todos trabajaron de forma organizada y armoniosa en las diferentes partes con que se conformó la aplicación, hasta en la programación de la red y su montaje para la demostración en vivo.

*Pregunta de los profesores:* ¿Cómo valorarían ustedes la Metodología impartida en el curso después del diseño y montaje de esta aplicación?

*Respuestas:*

i. Es una metodología de pensamiento muy abierto, que hace que el diseñador se sienta libre, en cualquier escenario. A la vez, hace pensar en las implicaciones de cada decisión.

ii. Desde el inicio supimos que para cumplir los objetivos del trabajo uno de los retos a resolver era la medición tri-direccional del movimiento. Se encontró la solución, gracias a la amplia explicación del principio de operación y funcionamiento de los sensores de aceleración impartido durante el curso.

iii. La programación no fue nada fácil. Por eso pedimos una pequeña prorroga.

iv. Por suerte, nos dieron la prórroga. Porque mientras trabajamos en la puesta a punto, se nos ocurrió –buscando la mayor utilidad previsible– que esta red debería formar parte de un sistema IoT que permita el almacenamiento de Datos Masivos, cuyo análisis con IA pudiera detectar afectaciones del sistema óseo del paciente a través de los datos de la marcha, antes que provocara afectaciones definitivas más difíciles de tratar. Para brindar esta posibilidad ayer mismo se realizaron los arreglos a la red ya diseñada.

## 4. VALORACION DE LA METODOLOGIA DE DISEÑO

La valoración de la metodología de diseño presentada se fundamentará en el cumplimiento de sus aspiraciones: promover la visión sistémica, la integración de conocimientos, lograr el desarrollo individual de capacidades y competencias profesionales –teniendo en cuenta factores afectivos, sociales y cognitivos– y sembrar las bases para su auto-preparación y actuación creativa. Sin embargo, en la apreciación de su alcance se debe tener en cuenta la diferencia entre un curso optativo de pregrado y un curso de maestría

Los resultados alcanzados en la aplicación de esta metodología de diseño basada en una estrategia didáctica confirman que la búsqueda de la relevancia social y utilidad para un escenario especifico, produjeron connotados efectos emocionales, de responsabilidad y previsión, como en el caso del ″Diseño de una red de sensores para el uso eficiente de un estacionamiento″ (ver figura 4), donde se tuvieron en cuenta hasta los posibles incidentes contra los cuales habría que prevenir. La contemplación objetiva y creativa del Escenario, teniendo en mente la Utilidad y apoyado con la visión sistémica de la red, conllevó a incluir en el diseño, nodos autónomos adicionales, con funciones que no estaban previstos en el

planteamiento original, mejorando la calidad de la red, como en el caso de la ″Competencia de natación″ (ver figura 2).

Todos los alumnos (de pregrado o de la maestría) llegaron a la concepción topológica de la red de sensores, y precisar los requisitos que dicha red debe cumplir. Estos resultados confirman la efectividad de esta metodología de diseño, y su aplicabilidad en ambos tipos de cursos. La diferencia esencial entre los dos tipos de cursos se manifiesta a través de la eficacia de la metodología.

Como en los cursos optativos los estudiantes solo llegan hasta la concepción de la red, ellos desarrollan capacidades para el análisis de los escenarios, su relevancia social y utilidad, el manejo de las unidades autónomas y sensores de la red y de concebir el diseño topológico. Mientras competencias solo desarrollan en la organización del contenido de las presentaciones y en el trabajo en equipos. Sin embargo, ambos (capacidades y competencias) contribuyen a su formación profesional.

Los alumnos de la maestría son ingenieros graduados, trabajadores de diferentes centros de trabajo, por lo que las redes de sensores que proponen a diseñar son del interés de algún centro de trabajo, y cuenta con cierto apoyo material, para implementar al menos una parte del diseño. Por tanto, ellos realizan el ciclo completo de la metodología, como se ilustra en el ″Caso de Estudio: Diseño de una Red de Sensores para la monitorización de Presión y Caudal en la Fuente de abasto Ariguanabo″ (ver figuras 6 y 7) o en ″Diseño de una red de sensores básica para el estudio de la marcha″ (ver figuras 8 y 9). La eficacia de la metodología se refleja en ambos ejemplos a través de la visión sistémica, la integración de conocimientos, la auto-preparación y actuación creativa, el desarrollo individual de capacidades y competencias profesionales para prever los retos y resolverlos.

Basándose en lo antes expuesto, se considera que la metodología presentada es un recurso de diseño eficiente y eficaz.

**Valoración de los participantes de la Maestría**

- Citas textuales: ″Esta Metodología es el camino de la vida″
  ″ Es una metodología de pensamiento muy abierto que hace que el diseñador se sienta libre, en cualquier escenario. A la vez, hace pensar en las implicaciones de cada decisión″.
- Resumen de la Encuesta

| **Aspectos a valorar** | **Alto** | **Medio** | **Bajo** |
|---|---|---|---|
| Grado de satisfacción con el curso | 12 **(100%)** | | |
| Atención recibida | 12 **(100%)** | | |
| Contribución a su formación profesional | 11 **(92%)** | 1 | |
| Contribución a su formación personal | 11 **(92%)** | 1 | |
| **Señale que captó más su atención**<br>Sensores, principios físicos y su gestión para las redes de sensores<br>La metodología didáctica para el diseño e implementación de redes<br>Las actividades conjuntas (opinión de 7 alumnos)<br>▪ Actualidad del taller y seminario<br>▪ Aplicaciones de IoT, Industria 4.0 e IoTM<br>▪ Nivel de los trabajos presentados | | | |
| Sugerencias, para la asignatura en el futuro<br>Incluir variantes de simulaciones para los que no tienen la posibilidad de montar | | | |

Figura 10: Resumen de la encuesta (en forma de tabla)

**Valoración de los alumnos de los cursos optativos**

- Resumen de la Encuesta

| Aspectos a valorar | Alto | Medio | Bajo |
|---|---|---|---|
| Grado de satisfacción con el curso | 23 **(92%)** | 2 | 0 |
| Atención recibida | 25 **(100%)** | 0 | 0 |
| Contribución a su formación profesional | 23 **(92%)** | 2 | 0 |
| Contribución a su formación personal | 21 **(84%)** | 4 | 0 |

**Sugerencias, para la asignatura en el futuro**

Incluir actividades prácticas 12 alumnos

**Otras observaciones**

- Llamó mi atención que esta asignatura nos ha hecho profundizar en temas poco conocidas por nosotros
- Dar las clases de la misma manera
- ¡Que se mantenga esta Optativa!
- ¡Muchas gracias!
- Curso agradable y enriquecedor. Motivante y bien diseñado. No me arrepiento ni un minuto en haberlo escogido.
- La forma de impartir la signatura es acertada, me gustaría que siga con esta dinámica.
- El aula es un lugar agradable, donde se fomentan los debates, y el raciocinio del porqué de las cosas

Figura 11: Resumen de la encuesta (en forma de tabla)

Teniendo en cuenta el justo reclamo de los estudiantes por las actividades prácticas, en el curso optativo recién impartido se incluyó la implementación práctica de un nodo sensor, con recursos propios. Un ejemplo de ellos se muestra en la figura 12.

*Equipo 6: Detector de presencia*




Figura 12: Etapas de trabajo del Detector de presencia.

**REFERENCIAS**

[1] «ANX-PR/CL/001-01 GUÍA DE APRENDIZAJE. Redes Inalámbricas de Sensores», Universidad Politécnica de Madrid, 1S_2023-24. https://www.upm.es › publico › guías › GA_12TG (accedido mayo, 25, 2024).

[2] «Guía docente de la asignatura REDES INALAMBRICAS DE SENSORES» Universidad Politécnica de Cartagena; https://autentica.upct.es › apps › guías docentes (accedido may 25, 2024)

[3] «Repositorio Institucional de Documentos. Redes de sensores electrónicos», Universidad Zaragoza, https://zaguan.unizar.es › files › guia-60945-es (accedido may 25, 2024)

[4] B. Bravo: ″IDAS: una metodología de enseñanza centrada en el estudiante para favorecer el aprendizaje″ Didactic Resources • Rev. Bras. Ensino Fís. 44, 2022 https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0326

[5] Gargallo López, B.; Jiménez Rodríguez, M. A; Martínez Hervás,; Giménez Beut, J. A;.Pérez Pérez, C. (2017). Métodos centrados en el aprendizaje, implicación del alumno y percepción del contexto de aprendizaje en estudiantes universitarios. Educación XX1, 20(2), 161-187, doi: 10.5944/educXX1.15153

[6] Francisco Mora Teruel: ″Neuroeducación; Solo se puede aprender aquello que se ama″ 2013; Edición en formato digital 2014: Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2014

[7] Islas Torres, C. (2021). Conectivismo y neuroeducación: transdisciplinas para la formación en la era digital. CIENCIA *ergo-sum*, *28*(1). http://doi.org/10.30878/ces.v28n1a11

[8] Meza, L., y Moya, M. (2020). TIC y Neuroeducación como recurso de innovación en el proceso de enseñanza y aprendizaje. *Rehuso*, *5*(2), 85-96. Recuperado de: https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Rehuso/article/view/1684

[9] W. Casasola, «El papel de la didáctica en los procesos de enseñanza y aprendizaje», *Revista Comunicación.*, vol. 29, n.º 1, pp. 38-51, jun. 2020, Disponible en: http://dx.doi.org/10.18845/rc.v29i1-2020.5258.

[10] «Estrategias Creativas en la Enseñanza Universitaria», (Estudio científico interno de profesores de la Universidad de Barcelona). Documento en formato pdf http://www.ub.edu/sentipensar/pdf/saturnino/estrategias_creativas_universitaria.pdf (accedido junio 2022)

[11] DB. Mata, y M. García, «Desarrollo de competencias comunicativas en la formación de profesionales de inglés», *Revista Referencia Pedagógica.*, vol. 10, n.º 2, pp. 121-133, may-ago. 2022, ISSN 2308-3042.

[12] A. Nagy, A. Polanco, D. Henrriquez, y TA. Morales, «Experiencia y resultados del curso de capacitación semipresencial sensores y redes de sensores», *Revista Telemática.*, vol. 4, n.º 20, pp. 78-379 ene. 2021, ISSN: 1729-3804

**sobre los autores**

**Agnes S. Nagy**, Licenciada en Física (1972, UH), Especialista en Microelectrónica (1982, CUJAE), Doctor en Ciencias Técnicas (1998, CUJAE), Miembro de Mérito de la ACC. Profesora Auxiliar, Consultante del Centro de Investigaciones en Microelectrónica CIME de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE. ORCID: 0000-0001-5046-0820.

Alicia Polanco Risquet, Graduada en 1981 de Ingeniera Eléctrica en la CUJAE, Especialista en Microelectrónica, CIME/CUJAE 1985, Doctor en Ciencias Técnicas CIME/CUJAE, 2001. Investigadora Titular, Profesora Auxiliar, Consultante del Centro de Investigaciones en Microelectrónica CIME de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE. ORCID: 0000-0001-5189-3492.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA DE ENTRADA PARA AMPLIFICADOR DE POTENCIA DE RF

**Investigador Auxiliar MSc Enrique Romero Mustelier[1], MSc Reinier Quiala Llorens[2], Investigador Auxiliar MSc Yosvany González Mandado[3]**

[1,2,3] CIDP "Grito de Báire", Santa Ana, #711 entre 47 y reforma, Nuevo Vedado, Plaza, La Habana
[1]e-mail: enromero@nauta.cu
[2]e-mail: reinierqll87@gmail.com
[3]e-mail: yosvanyg@yahoo.com

**RESUMEN**

La presente investigación es una contribución al análisis de los principales aspectos teóricos y prácticos de un sistema de control para la mejora de la linealidad de la potencia de salida en amplificadores de RF (APRF) ante variaciones de la potencia de entrada; a su vez posibilita la protección del amplificador ante señales de gran nivel a su entrada. El control diseñado puede ser escalable en frecuencia con el cambio de algunos componentes. Se presentan las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento del sistema. Se exponen análisis y cálculos de los diseños, así como ejemplos numéricos y validaciones prácticas en 2 bandas de frecuencias diferentes: 20 a 500 MHz (con amplificador de potencia de 200W) y 0.9 – 2.6 GHz (preamplificador de 0dBm), manteniendo en ambos casos linealidad de +/- 1dB y un rango dinámico de 10dB y mayor. El software MATHCAD fue empleado en la solución de las ecuaciones.

**PALABRAS CLAVES:** Control Automático de Nivel, Amplificadores de Potencia de Radiofrecuencias, Linealidad de amplificadores, atenuadores de potencia.

**ABSTRACT**

The present research is a contribution to the analysis of the main aspects of a theoretical and practical for the design of a control system for the improvement of the linearity of the output power in a RF amplifier to input power variations; in addition, allows the protection of the amplifier to high entry-levels signal. The control designed can be scalable in frequency with the change for some components. Math equations governing behavior are presents, are exposed analysis and calculations of the design, as well as numerical Examples and practical validations in 2 different frequency bands: 20-500 MHz (200W power amplifier) and 0.9-2.6GHz (0dBm preamplifier), keeping in both cases linearity of +/- 1dB. A dynamic range of 10dB and more. The MATHCAD software was used in the solution of the equations.

**KEY WORDS:** Automatic Level Control, Radio Frequency Power Amplifiers, Linearity amplifier, Power´s attenuators.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el surgimiento de las telecomunicaciones hasta la actualidad se han desarrollado un conjunto de tecnologías que permiten una mayor transmisión de datos. El auge de las mismas ha potenciado la investigación y desarrollo de APRF [1]; paralelamente a ello, estos dispositivos de radiofrecuencia (RF) también han estado en perfeccionamiento constante para cumplir con las especificaciones de las tecnologías emergentes. Los amplificadores de potencia son la parte principal en un sistema de telecomunicaciones, garantizando la cobertura de los enlaces establecidos de todos sus servicios. Las exigencias de diseño de los mismos (mayor: eficiencia, potencia, ancho de banda y linealidad) determinan que estos sean los elementos más críticos en cualquier sistema de comunicaciones. Si bien constituye una gran meta diseñar amplificadores de gran ganancia, más exigente lo es, que se protejan y conserven sus parámetros de salida en toda la banda de trabajo [2].
La linealización por retroalimentación directa es una de las técnicas para corregir la distorsión asociada con la insuficiente linealidad de los amplificadores de potencia [3]. Un sistema de control automático de nivel (CAN) (conocido como ALC por siglas en inglés) es un conjunto de circuitos electrónicos

dispuestos para mantener casi constante los niveles de señal de RF a la salida del sistema de amplificación de potencia en toda la banda de frecuencia [4,5] cuando varíen las amplitudes de la excitación de RF a la entrada. Los sistemas de CAN se emplean en los amplificadores de potencia de radiofrecuencias donde las amplitudes de las señales deben ser constantes, definiendo y conservando la eficiencia total del sistema ver Fig. 1.

## 2. ANÁLISIS TEÓRICO DE SISTEMA DE CONTROL POR POTENCIA DE ENTRADA

El sistema de APRF con CAN está compuesto por la interconexión de dos tarjetas Fig. 1.

- Tarjeta de medición y atenuación controlada.
- Tarjeta de control.

El sistema de APRF con CAN está configurado según el diagrama en bloques que se muestra a continuación:

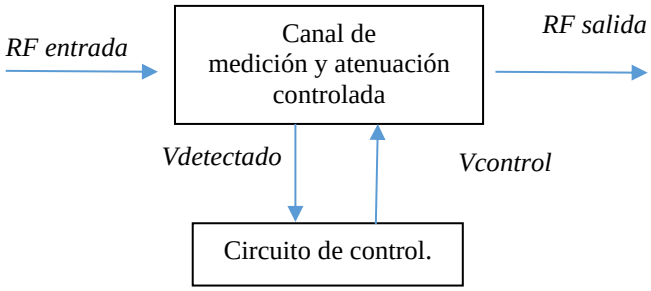



Figura 1: Diagrama general funcional de control de nivel por potencia entrada APRF con CAN.

El esquema funcional del canal de medición y atenuación controlada se muestra en la Fig. 2.

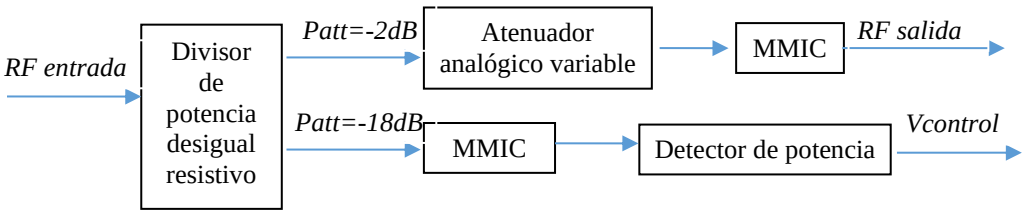



Figura 2: Esquema funcional de canal de medición y atenuación controlada.

El canal está compuesto por tres bloques fundamentales:

- Trayecto de atenuación de radiofrecuencias.
- Trayecto de medición de potencia.
- Circuito de control.

El sistema basa su funcionamiento en medir una muestra de la señal de entrada y acondicionar un voltaje (negativo) necesario para controlar de forma automática la atenuación de un dispositivo atenuador de potencia. El sistema posibilita además que el control sea asumido desde una señal externa (ejemplo un microcontrolador).

### Modelación matemática de circuitos del canal de medición y atenuación controlada

El trayecto de atenuación de radiofrecuencias está conformado por un atenuador de potencia resistivo (2dB de atenuación), un atenuador analógico variable (MAAVSS0006) y un amplificador monolítico a circuito integrado (MMIC de sus siglas en inglés). La ecuación (1) determina la potencia de salida ($Psalrf\,(dBm)$):

$$Psalrf(dBm) = Pentrf(dBm) - PAtt(dB) + GAtmmic(dB) \quad (1)$$

Dónde:

$Pentrf(dBm)$: Potencia de entrada.
$PAtt(dB)$: Atenuación de potencia de atenuadores resistivo y de control analógico.
$GAtmmic(dB)$: Ganancia de MMIC del canal de medición y atenuación controlada.

$$PAtt(dB) = AtDv(dB) - ((a + b(-(f * Vx - g * Vn) + e) + c(y(-(f * Vx - g * Vn) + e)^2) + d(y(-(f * Vx - g * Vn) + e)^3) + Atins(dB)) \quad (2)$$

$AtDv(dB)$ : Atenuación de divisor resistivo.
$Atins(dB)$ : Atenuación por pérdidas de inserción del MAAVSS0006.
$Vx$: Tensión de salida del detector AD8361.
$Vn$: Tensión de control de potencia desde un comando externo (CPU).

Constantes: Valores de los coeficientes de cada variable empleada en la ecuación.

$a$ = -169.4931
$b$ = -315.6312
$c$ = -166.1388
$d$ = -26.8519
$e$ = 1.33333
$f$ = 0.533334
$g$ = 1

El controlador o regulador lo constituye el circuito integrado MAAVSS0006. Este dispositivo cambia su resistencia (atenuación) por medio de la variación de un voltaje de control. En la Fig. 3 se muestra la característica transferencial (*Frecuencia vs Voltaje de Control*) del atenuador MAAVSS0006 según hoja de datos [6]:

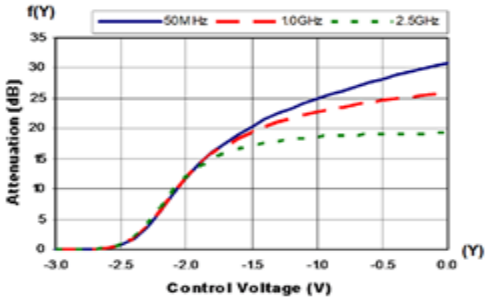



Figura 3:1 Característica atenuación vs frecuencia del MAAVSS0006 ofrecida por el fabricante.

El trayecto de medición de la potencia está conformado por el divisor de potencia resistivo con 18 dB de atenuación, un MMIC y el detector de nivel de RF (RMS), y le corresponde la expresión (3) para determinar la potencia de salida ($Psaldet(dBm)$del detector de RF:

$$Psaldet(dBm) = Pentrf(dBm) - AtDv1(dB) + GDtmmic(dB) + Gad(dB) \quad (3)$$

Dónde:

$AtDv1(dB)$ : Atenuación de divisor resistivo.
$GDtmmic(dB)$: Ganancia de MMIC de trayecto de medición de potencia.

$Gad(dB)$: Ganancia de detector.

El diagrama en bloques del circuito de control se muestra en la Fig. 4, dispone de dos señales de entrada ($Vdet\ y\ Vcontrol\ externo$ ) donde se acondiciona los niveles detectados en el sensor de RF para conformar adecuadamente la tensión de control ($Vcontrol$) hacia el atenuador analógico variable MAAVSS0006, con ello se minimizan las variaciones de amplitud de los niveles de potencia en todo el rango de frecuencias ante una variación de los niveles de la potencia de entrada, la ecuación que describe su comportamiento se observa en (4).

$$Vcontrol = \sqrt{(10^{(Pentrf(dBm)-AtDv1(dB)+GDtmmic(dB)+Gad(dB))/10} * Zsal)} \quad (4)$$

Dónde:

$Zsal$: Impedancia de salida del trayecto de RF.

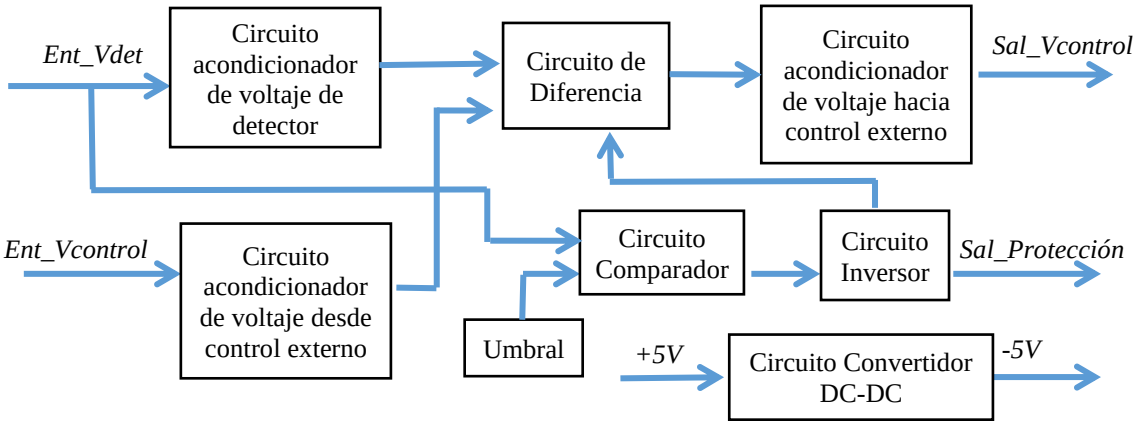



Figura 4: Diagrama general funcional en bloque del circuito de control.

La Fig. 5, muestra el esquema eléctrico de un amplificador operacional de diferencia como modelo simplificado para el análisis de las señales implicadas en el proceso de control (dos señales de entrada y una señal de salida). Estas señales son niveles de corriente continua, por lo tanto, aplicamos el principio de obtener a la salida (Vsal) la diferencia entre las tensiones de entrada (V2 y V1), adecuación del nivel e inversión de polaridad.

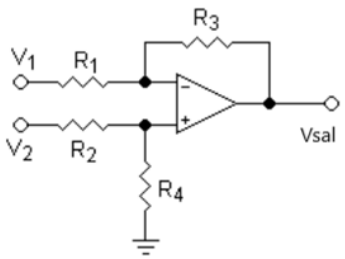



Figura 5: Esquema genérico del circuito eléctrico de un amplificador operacional de diferencia con su expresión de tensión de salida.

$$V_{sal} = V_2\left(\frac{(R_3+R_1)*R_4}{(R_4+R_2)*R_2}\right) - R_1 * \left(\frac{R_3}{R_1}\right) \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que:

$$V2 = Vdet = Vx$$
$$V1 = Vctrol\ externo = Vn$$
$$Vsal = Sal\ Vcontrol$$

$Vsal$: Tensión de salida de control (hacia el atenuador analógico, MAAVSS0006).

La Tabla 1, muestra las señales implicadas en el análisis del CAN. Para su análisis matemático son inicializadas las señales empleadas según sus valores.

Tabla 1: Posibles regímenes de trabajo para el análisis de las señales en el bloque de CAN.

| Nro. | $Vdet$ | $Vcontrol$ externo | $Vcontrol$ MAAVSS0006 | Regímenes de trabajo |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Vx < 1 | 1 < Vn < 2 | -2 < y < - 3 | Rango RF estable |
| 2 | Vx > 1 | 1 < Vn < 2 | y < - 2 | Sobre excitación |

Para comprender la tabla anterior:
Variando la tensión (*Vn)* se establece la potencia de salida del APRF (0$V_{DC}$ para $P_{sal}$ máxima y hasta 2$V_{DC}$ para $P_{sal}$ mínima), rango 100% hasta 75% de la $P_{sal}$ máx.

*Vcontrol*: Establece la tensión nominal de trabajo (-2.15Vdc) para el atenuador MAAVSS0006.

**Modelación matemática del sistema de APRF con CAN en el software MATHCAD**

A continuación, se modela un ejemplo de la formulación matemática de todo el sistema de control de nivel de potencia de salida con un rango dinámico de (10dB) de potencia en entrada.

Datos:
PentdBm: $-8,0.1..6$ (rango de valores de potencia de entrada en (dB))
Vn: 1
*Gv*: 1.1697 (veces)
Gmmic(dB): 19 (dB)
Gad(dB): 8 (dB)
Zsal: 50 (Ω)
AtinsdB: 3.5 (dB)
AtDvdB: 2 (dB)
AtDvldB: 18 (dB)
*r* : 2.636

Donde:
Gmmic(dB): Ganancia de MMIC.
Gad(dB): Ganancia de detector.
Gv: Ganancia (en veces) del último amplificador operacional que adecua la tensión de control del MAAVSS0006.
Zsal: Impedancia en todos los puertos de entrada y salida.
PentdBm: Rango de potencia de entrada (dB).
r: Coeficiente de ecualización del circuito.
*AtinsdB*: Perdidas por inserción del MAAVSS0006 (dB).
*AtDvdB:* Valor de atenuación (dB).
*AtDv1dB*: Valor de atenuación (dB).

**Desarrollo de la formulación**

Todos los parámetros formulados en las ecuaciones están en función del rango de valores de la potencia de entrada ($PentdBm$).

Valor de la potencia de salida ($P_{sal1}$), del detector AD8361.

$$P_{sal1}(P_{entdBm}) = P_{entdBm} - AtDv_{1dB} + G_{mmicdB} + G_{addB} \quad (6)$$

$$P_{salv1}(P_{entdBm}) = 0.001 * 10^{\frac{P_{sal1}(P_{entdBm})}{10}} \quad (7)$$

Valor de la tensión de salida ($V_x$), del trayecto de medición de potencia.

$$V_x(P_{entdBm}) = \sqrt{(P_{salv1}(P_{entdBm}) * Z_{sal})} \quad (8)$$

Función transferencial del diferenciador ($k_v$):

$$k_v(P_{entdBm}) = e + (f * V_x(P_{entdBm}) - g * V_n) \quad (9)$$

Valor de la tensión de control (y):

$$y(P_{entdBm}) = -[r - (k_v(P_{entdBm}) * G_v)] \quad (10)$$

Función transferencial ($At_{dB}$), del MAAVSS0006:

$$At_{dB}(P_{entdBm}) = \left(a + b * \left(y * (P_{entdBm})\right) + c * (y * (P_{entdBm})^2) + d * (y * (P_{entdBm})^3)\right) + AtinsdB \quad (11)$$

Valor de la potencia de salida ($P_{saldBm}$), del trayecto de atenuación de radiofrecuencias:

$$P_{saldBm}(P_{entdBm}) = P_{entdBm} + G_{mmicdB} - At_{dB}(P_{entdBm}) - AtDv_{dB} \quad (12)$$

La Fig. 6, muestra la representación gráfica del comportamiento de la potencia de salida en función de la potencia de entrada.

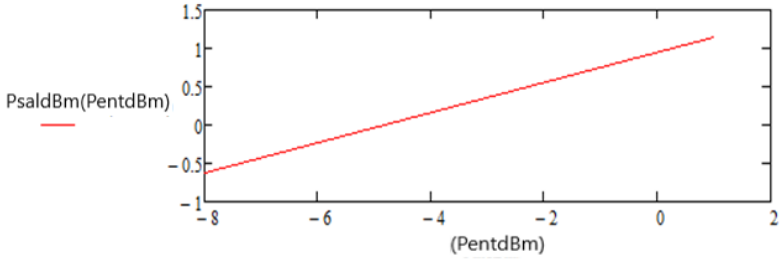



Figura 6: Gráfica de respuesta del sistema en función de potencia de entrada.

Los valores de la potencia de salida (*PsaldBm(PentdBm)*) varían entre (-0.617 y 1.153) dBm.
Con la regulación del valor de la ganancia del último amplificador operacional inversor (Gv) se obtiene el valor de tensión requerido. El resto de los elementos sirven para acondicionar los voltajes a través de amplificadores lineales.
Se realizó un modelado matemático del comportamiento del sistema fuera del espacio de diseño (para potencias de entrada entre 0dBm y + 6dBm) y sus resultados se observan en la Fig. 7.

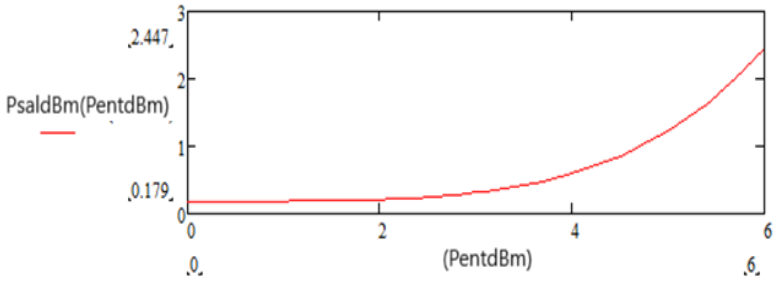



Figura 7: Gráfica de respuesta del sistema en función de potencia de entrada.

Puede observarse como se incrementa la pendiente de la potencia a la salida al superarse los 3dBm de potencia de entrada, cuyo valor de tensión superaría la referencia restablecida (umbral de sobre excitación) en el comparador, la tensión de control en el atenuador activo MAAVSS0006, establecería la mayor atenuación (no menos de 20dB) al paso de la RF.
Las ecuaciones desarrolladas se corresponden con las funciones de los bloques que componen los circuitos eléctricos de la tarjeta de control y ALC, teniendo en cuenta los valores de: atenuación, tensiones y potencias.
El sistema posibilita la protección por exceso de potencia entrada con la implementación de comparadores de niveles, donde sus niveles de salida inciden en el atenuador analógico llevando a niveles elevados su atenuación.
La modelación matemática del sistema de control de nivel de potencia de salida se demuestra variando un parámetro por cada análisis [7]. El CAN actúa según la variación de los siguientes parámetros:

- Potencia de entrada.
- Control externo para variar potencia.

## 3. RESULTADOS DE SISTEMA DE CONTROL PARA FRECUENCIAS DE 0.9-2.6 GHz

Para la comprobación de los resultados matemáticos teóricos se construyeron 2 dispositivos en dos bandas de frecuencias diferentes, los cuales fueron medidos y caracterizados.
Los parámetros técnicos del amplificador y el detector determinan el rango de frecuencia de trabajo del sistema de control, característica que fue validada con el diseño y construcción de 2 sistemas (20 - 500 MHz y 0.9 - 2.6GHz)

**Sistema de control por potencia de entrada de 0.9 - 2.6GHz y potencia de salida de 0dBm.**

Los componentes del sistema se muestran en la Fig. 8. Para esta banda de frecuencias el detector de potencia empleado fue el LTC-5532ES6 (300MHz – 7.0GHz).

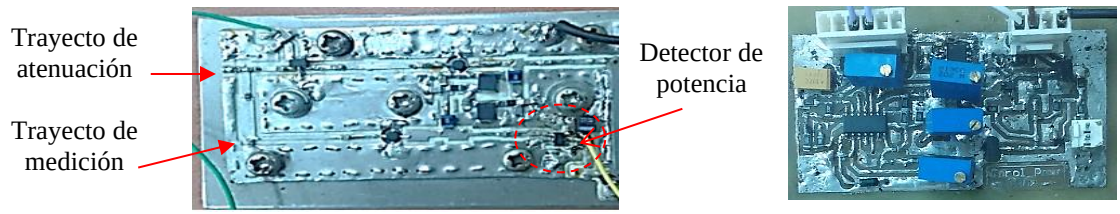



Figura 8: Fotos de partes componentes del sistema de control por potencia de entrada (derecha: trayectos de medición y atenuación; izquierda: control de voltaje para atenuador analógico).

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del sistema para potencias de entrada desde -10dBm hasta 2dBm, Fig. 9.

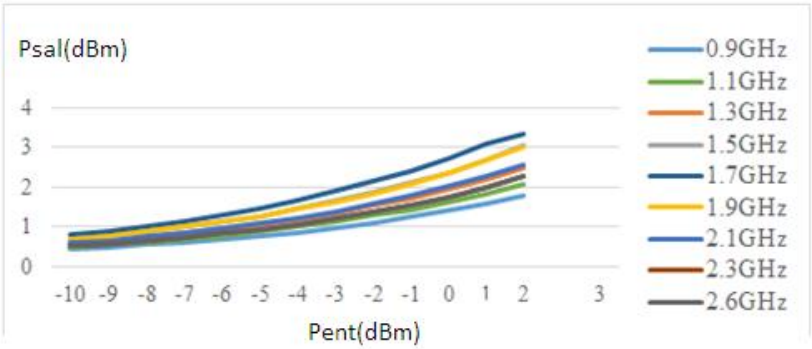



Figura 9: Fotos de partes componentes del sistema de control por potencia de entrada.

Las mediciones (117 puntos de potencia de salida con variaciones de potencia de entrada desde -10dB hasta 2dBm distribuidos en 9 frecuencias) concluyen que el sistema en la banda de trabajo logra una linealidad en potencia menor a 1dB para el 62.5% de las mediciones (25% entre 1.1dB y 1.17dB y 12.5% entre 1.18dB y 1.25dB).

**Sistema de control por potencia de entrada para amplificador de 20 -500MHz y potencia 200W.**

Un 2do prototipo fue construido Fig. 10, como parte de un amplificador de potencia.

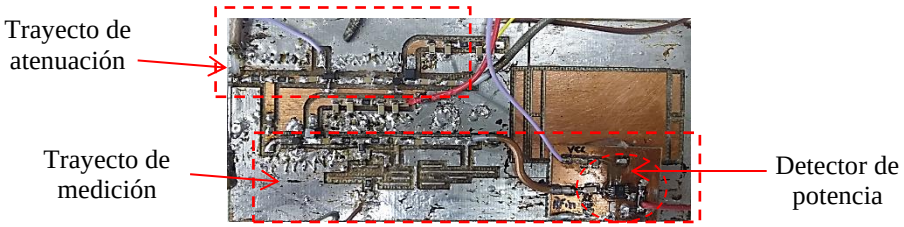



Figura 10: Fotos de partes componentes del sistema de control para frecuencias de 20-500MHz.

El amplificador fue medido en la frecuencia de 300MHz sin control de potencia y con el control propuesto. Los resultados se exhiben en la Fig. 11.

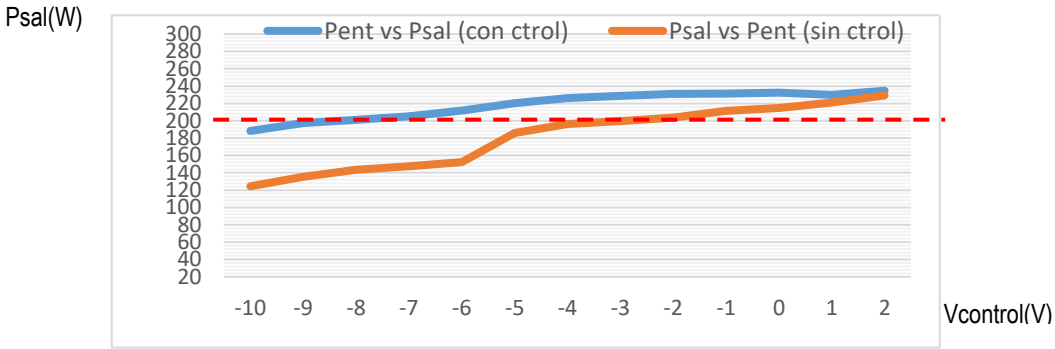



Figura 11: Gráfica de medición de potencia de salida en función de voltaje de control para frecuencia de 300MHz

El análisis de las mediciones concluye que, sin sistema de control, solo el 46.15% de los puntos de potencia se ajustan a los 200W, mientras que con el sistema de control ajusta un 84.62%. Para los puntos

de potencia mayores a 195W el porciento con control aumentó al 92.30% y sin control a 53,84%. El rango dinámico de ajuste es de 12dB (15.8 veces).
La linealidad del amplificador con control, entre valor mínimo y máximo, es de 0.85dB. Se aproxima a los resultados obtenidos en la modelación matemática donde ante una variación de la potencia de entrada de 10dB a la salida la variación no supera los 1,5dB.

**Cálculo de desviación estándar (σ):**

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (13)$$

Dónde:

$n$: Cantidad de mediciones (13)

$x_i$: Valor de medición *i*.

$\bar{x}$ : Valor de media aritmética.

Cálculo de media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (14)$$

La media aritmética de la potencia de salida **sin** control fue de 181,94W y su desviación estándar de 34.77. La media aritmética de la potencia de salida **con** control fue de 218,32W y su desviación estándar de 15.05.

## 4. CONCLUSIONES

El desarrollo matemático fue implementado y desarrollado de forma práctica en dos sistemas de control diferentes (dos bandas de frecuencias y potencias diferentes). Los resultados obtenidos sin control y con control, mejoran significativamente la linealidad de los APRF antes variaciones de la potencia de entrada de 12dB (desde -10dBm hasta +2dBm) de RF, además de proteger el mismo cuando sobrepasa el umbral de la potencia de entrada (+2dB). Esta solución puede implementase en otras bandas de frecuencias y con ligeras modificaciones en los amplificadores construidos. Un trabajo futuro de los autores está encaminado a incluir en el sistema de control las variaciones de la potencia de salida.

## 5. REFERENCIAS

[1] HERNÁNDEZ PORTILLA, Pedro Luis; ROMERO MUSTELIER, Enrique; GONZÁLEZ MANDADO, Yosvany, "Diseño, simulación y construcción de amplificadores de potencia en banda L con transistores de electrones de alta movilidad de nitrito de galio". Revista Telemática, 2018, vol17, núm. 3, pp 1-10.
[2] Introduction to RF Power Amplifier Design and Simulation. ResearchGate, 13 mayo de 2019. https://www.researchgate.net/publication/328124468_Introduction to RF Power Amplifier Design and Simulation.
[3] GREBBENNIKOV, Andrei. "RF and Microwave transmitter design". New Jersey. John Wiley & Sons. 2011.
[4] ZOLFAGHARI, A; DARABI, H; JENSEN, H; LEETE, J. "Transmitter development for cellular integrated circuits". IEEE Communications Magazine, 2008, vol 46, núm 9, pp 146-152.
[5] M. R, Elliott; T, Montalvo "A Polar Modulator-transmitter for GSM/EDGE", IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2004, vol. 39, número 12.
[6] Hoja de datos de atenuador de MAAVSS0006 (MACOM).
[7] ZOZAYA, Alfonso; BERTRAN, Eduard. "Análisis de las principales técnicas de linealización de amplificadores de potencia en RF (parte 2)". Revista INGENIERÍA UC, 2005, vol. 12, no 2, p. 42-48.

[8] POGGI, Peter J.," Applications of high efficiency techniques to the design of RF Power Amplifier and amplifier control circuits in tactical radio equipment."Proceedings of MILCOM'95. IEEE, 1995. p. 743-747.

[9] MUÑOZ RIERA, Luis, "Pre-distorsionador digital utilizando Análisis de Componentes Principales para la linealización de amplificadores de potencia, 2020.

Tesis maestría

[11] NIUBO ALEMÁN, Thaimí, "Corrección del desequilibrio I/Q, modelado, linealización de amplificadores de potencia y su implementación en FPGAs". Tesis Doctoral. Citedi-IPN, Tijuana B:C México, junio de 2016.

[12] MONTOYA VILLEGAS, Katherine. "Estudio comparativo de modelos de comportamiento de amplificadores de potencia RF", Tesis Doctoral. Citedi-IPN. Junio 2015.

[13] FLORES HERNÁNDEZ, Leonardo, "Diseño de un sistema de linealización de comportamiento para un amplificador de potencia de LTE", Tesis de doctoral, Instituto Tecnológico de Tijuana, México, 2021.

[14] MATAS GONZÁLEZ, Iván. Pre distorsión de amplificadores de potencia con FPGA y módulo DPD, Tesis de Maestría, departamento de teoría de señales y comunicaciones. Escuela técnica superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, 2023.

**Sobre los autores**

**Enrique Romero Mustelier**

**ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-0521-1141

Ingeniero Radioelectrónico en ITM (2010), Máster en Telecomunicaciones y Telemática en UTH "José Antonio Echevarría" (2020); Investigador Auxiliar del Grupo de Radio y Antena del CIDP "Grito de Báire". Perfil de trabajo orientado en la investigación y desarrollo de sistemas de transmisión y amplificadores de potencia de radiofrecuencia y microondas.

Profesor Asistente de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría.

Participación en eventos científicos: 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 54 aniversario dela CUJAE, 20 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 58 Aniversario de la CUJAE, XVIII Convención y Feria Internacional Informática 2022, XIX Convención y Feria Internacional Informática 2024 (ponente). Publicación en Telemática: "Diseño, simulación y construcción de amplificadores de potencia en banda L con transistores de electrones de alta movilidad de nitrito de galio".

**Reinier Quiala Llorens**

**ORCID:** https://orcid.org/0009-0006-6642-6292

Ingeniero Radioelectrónico en ITM (2010), Máster en Electrónica en UTH "José Antonio Echevarría" (2017). Actualmente Investigador Auxiliar de Grupo de Radio y Antenas del Centro de Investigación y Desarrollo "Grito de Báire". Perfil de trabajo orientado en la investigación y desarrollo de dispositivos pasivos de RF y amplificadores de potencia de radiofrecuencia y microondas.

**Yosvany Gonzales Mandado**

**ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-0521-1141

Graduado en Radioelectrónica (1991) en ITM, Máster en Electrónica en UTH "José Antonio Echevarría" (2006). Actualmente Investigador Auxiliar y Jefe de Grupo de Radio y Antenas del Centro de Investigación y Desarrollo "Grito de Báire". Perfil de trabajo orientado en la investigación y desarrollo de sistemas de transmisión, antenas y amplificadores de potencia de radiofrecuencia y microondas.

Participación en eventos científicos: 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 54 aniversario dela CUJAE, 20 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 58 Aniversario de la CUJAE, XVIII Convención y Feria Internacional Informática 2022, XIX Convención y Feria Internacional Informática 2024

(ponente). Publicación en Telemática: “Diseño, simulación y construcción de amplificadores de potencia en banda L con transistores de electrones de alta movilidad de nitrito de galio”.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# CONFIGURACIÓN DE UNA RED DE ÁREA LOCAL CON ALTA DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA

**Clayret Echenique Quintana[1], Ernesto Alejandro Gálvez Valdés[2]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2 1/2, Rpto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[2]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2 1/2, Rpto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[1]e-mail: cechenique@uci.cu

**RESUMEN**

La alta disponibilidad en las infraestructuras permite que los sistemas puedan funcionar sin interrupciones. El presente artículo describe como se configura una red de área local con alta disponibilidad de infraestructura partiendo del diseño modular propuesto por Cisco, utilizando los módulos para separar funciones de la red, facilitando su implementación y administración. El diseño y la configuración se hizo con la herramienta de simulación de redes Cisco Packet Tracer en su versión 8.2.2.0400. La red se compone de routers Cisco 1941, switches Catalyst 2960 y servidores con conexiones redundantes para minimizar fallos; OSPF como protocolo de enrutamiento dinámico y EtherChannel para agrupar enlaces Ethernet, mejorando la redundancia y el rendimiento.

**PALABRAS CLAVES:** alta disponibilidad, configuración de redes Cisco, diseño de redes modulares, EtherChannel, OSPF.

## CONFIGURING A HIGH-AVAILABILITY LOCAL AREA NETWORK INFRASTRUCTURE

**ABSTRACT**

High availability in infrastructure allows systems to operate without interruptions. This article describes how to configure a local area network with high infrastructure availability based on the modular design proposed by Cisco, using modules to separate network functions, facilitating its implementation and administration. The design and configuration was done with the Cisco Packet Tracer network simulation tool in version 8.2.2.0400. The network is made up of Cisco 1941 routers, Catalyst 2960 switches and servers with redundant connections to minimize failures; OSPF as a dynamic routing protocol and EtherChannel for bundling Ethernet links, improving redundancy and performance.

**KEY WORDS:** high availability, Cisco network configuration, modular network design, EtherChannel, OSPF.

## INTRODUCCIÓN

Los servicios de seguridad están jerárquicamente interrelacionados. La disponibilidad es el primer requisito de seguridad, ya que sin ella no se pueden aplicar otros servicios como la confidencialidad, integridad, autenticación y no repudio. Cada uno de estos servicios depende del anterior para poder funcionar correctamente (1).

La alta disponibilidad (High Availability, HA por sus siglas en inglés) pretende mantener a los sistemas críticos funcionando 24 horas, por los 7 días de la semana, los 365 días al año, sin interrupciones. Las interrupciones pueden ser previstas (para mantenimiento) o imprevistas (fallos, desastres, etc.). Las métricas clave son el tiempo medio entre fallos (MTTF) y el tiempo medio de recuperación (MTTR). El objetivo es maximizar el MTTF y minimizar el MTTR para reducir el tiempo de inactividad. Estos sistemas pueden alcanzar hasta un 99.999% de disponibilidad, lo que equivale a solo 5 minutos de inactividad al año (1).

Las entidades que buscan la máxima disponibilidad deben ser capaces de tolerar fallos, contar con sistemas redundantes para los componentes esenciales del negocio y realizar una mayor inversión en cuanto a personal, procesos y servicios. Esto es necesario para minimizar el riesgo de inactividad (1).
La presente investigación tiene como objetivo, de manera sencilla a través de Cisco Packet Tracer, herramienta de simulación de redes, diseñar y configurar una red de alta disponibilidad que garantice la resiliencia y continuidad de los servicios.

## REDES DE ALTA DISPONIBILIDAD

La alta disponibilidad, es la capacidad que tienen las aplicaciones y los datos de mantenerse operativos para los usuarios sin interrupciones, debido a su carácter crítico. Como ejemplo, se pueden mencionar los sistemas y servicios de aviación, sanitarios, bancarios, de comercio electrónico, militares, etc, que cualquier interrupción puede causar pérdidas económicas, materiales o humanas (1).
Uno de los factores más importantes son los ambientes redundantes en las conexiones y en los dispositivos (2). En los sistemas de red esto permite recuperarse ante un fallo de la manera rápida, para brindar un servicio activo. La redundancia se puede denotar como un respaldo y de conjunto con la alta disponibilidad, ofrecer el servicio en un tiempo determinado con la capacidad de solucionar fallas o caída del sistema (2), (3).
El diseño de un servicio de alta disponibilidad oculta a los usuarios los efectos de fallos de un elemento de configuración. Estas soluciones se hacen para alcanzar los niveles de disponibilidad acordados y para usar técnicas de tolerancia a fallos, resistencia y recuperación reduciendo el número de incidentes e impacto sobre los mismos (4).
Los principios claves para el diseño de una red de alta disponibilidad son (5):

- **Eliminar puntos únicos de falla**: Se identifican y eliminan mediante redundancia y tolerancia a fallas en todos los niveles del sistema.
- **Adoptar redundancia**: Se tienen múltiples instancias de datos y componentes de aplicación y así el sistema continúa funcionando incluso si falla alguno de sus componentes.
- **Implementar equilibrio de carga y gestión de tráfico**: Distribuir las solicitudes de tráfico para evitar instancias sobrecargadas.
- **Monitorear y alertar**: Identifica las causas, desencadena procesos de recuperación automatizados y mantiene la alta disponibilidad.
- **Planificar y probar fallas**: planifica y prueba escenarios de falla para comprobar la disponibilidad en diferentes condiciones.

### Diseño de red modular

El diseño modular de redes separa las funciones de la red, facilitando su implementación y administración. La arquitectura empresarial de Cisco utiliza módulos para diseñar redes grandes y escalables; incluyendo acceso, distribución, servicios, centro de datos y perímetro empresarial. Este tipo de diseño proporciona alta disponibilidad, seguridad integrada y facilidad para expandir la red según las necesidades empresariales (6).
Los módulos en la arquitectura empresarial describen cómo el diseño modular separa la red en varios módulos funcionales. Cada módulo tiene un propósito específico y se encarga de diferentes funciones. Este enfoque modular facilita la implementación, la administración y la resolución de problemas en redes grandes y escalables (6).

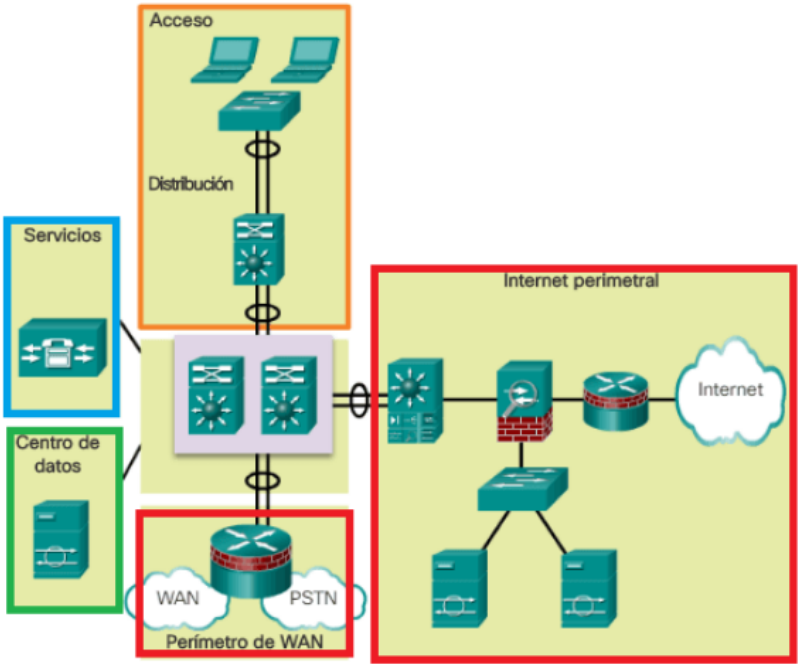



Figura 1: Módulos de la arquitectura empresarial. Fuente: (6)

Cada bloque de la **Figura 1**, está representado por (6):

- **Acceso y distribución**: También conocido como "bloque de distribución", es el componente fundamental del diseño de campus (Naranja).
- **Servicios**: Incluye servicios como controladores inalámbricos centralizados, servicios de comunicaciones unificadas y gateways de políticas (Azul).
- **Centro de datos**: Anteriormente llamado "granja de servidores", administra y mantiene sistemas de datos cruciales para las operaciones comerciales (Verde).
- **Perímetro empresarial**: Comprende el perímetro de Internet y el de WAN, proporcionando conectividad a servicios externos de voz, video y datos (Rojo).

## DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED

En el diseño representado en la Figura 1, se utilizaron:

- Tres routers Cisco 1941, conectados a través de cable serial. Los Router2 y 3 se conectan al Router1 para proporcionar redundancia. Este último enlaza a la red con un proveedor de servicios de Internet.
- Cuatro switch Catalyst 2960. Los Switch0 y 1 se conectan entre ellos con un doble enlaces de cable cruzado, ya que, distribuyen el mayor tráfico de la red. Además, están enlazados con cable recto a los Routers2 y 3 para balancear la carga y añadir redundancia a las conexiones. Los Switch2 y 3 son los distribuidores de las subredes, a estos se conectan los dispositivos terminales.
- Los dos servidores (DNS y HTTP), tienen también conexiones redundantes con los conmutadores para minimizar pérdida de datos en caso de un fallo en la red y las cinco PCs son para comprobar las configuraciones.

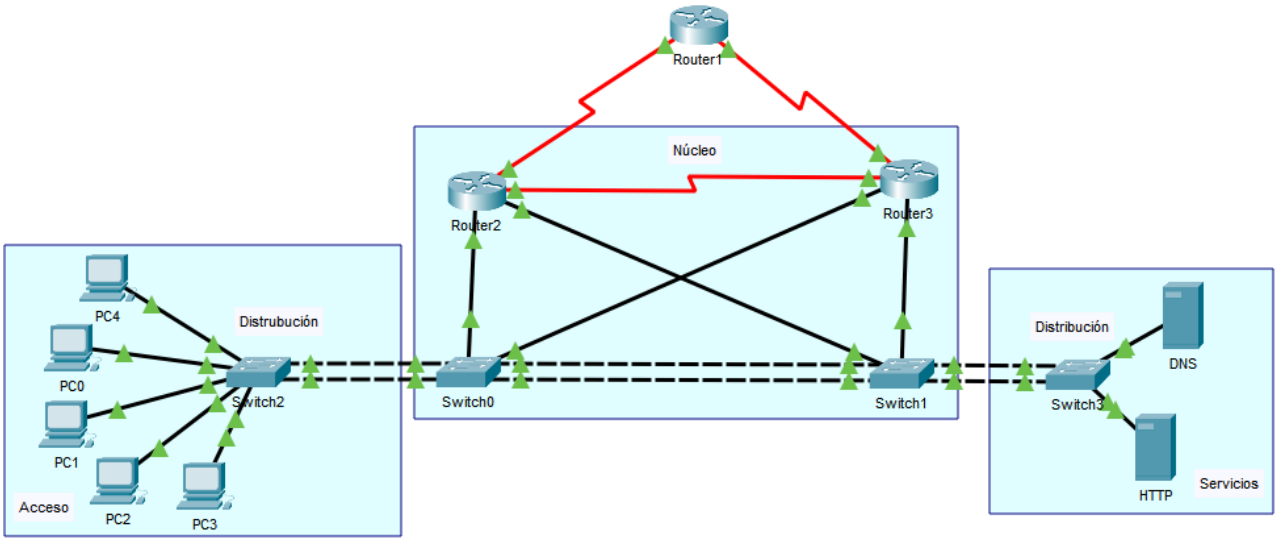



Figura 2: Diseño de la red de alta disponibilidad

### Protocolos

**OSPF** (Open Shortest Path First) es un protocolo de enrutamiento dinámico en redes IP. Cada router tiene el estado de los enlaces, lo que hace que tenga una visión completa de las topologías de la red. Utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular la ruta más corta entre dos enrutadores.
En caso de fallas en el enlace o cambios en la topología de la red, OSPF actualiza las rutas, lo que reduce la interrupción del servicio y minimiza el tiempo de inactividad. Es un protocolo escalable y puede manejar redes grandes y complejas. Ofrece características de seguridad sólidas, los enrutadores pueden verificar la autenticación de los paquetes de enrutamiento, lo que ayuda a prevenir ataques de envenenamiento de rutas. Calcula rutas precisas al considerar factores como el costo de la ruta y la carga de la red. Esto puede dar como resultado un rendimiento mejorado y una mejor utilización del ancho de banda. Permite la segmentación de una red en áreas, lo que puede mejorar la escalabilidad y el rendimiento al reducir la cantidad de información de enrutamiento que deben intercambiar los enrutadores. OSPF generalmente es un protocolo recomendado para redes de alta disponibilidad debido a su rápida convergencia, escalabilidad y seguridad.

**EtherChannel** es una tecnología desarrollada por Cisco que agrupa varios enlaces Ethernet físicos en un único enlace lógico. Este se utiliza para aumentar el ancho de banda, incrementando la capacidad total de transmisión y mantener el rendimiento óptimo de la red. Proporciona redundancia y mejora la tolerancia a fallos entre dispositivos como switches, routers y servidores, distribuyendo el tráfico de manera uniforme entre los enlaces disponibles, mejorando la eficiencia y evitando la sobrecarga de estos (7), (8).

El Protocolo de Configuración Dinámica de Host (**DHCP**) se puede utilizar en redes de alta disponibilidad debido a que asigna automáticamente direcciones IP y otros parámetros de red simplificando la gestión y configuración, especialmente en entornos con muchos dispositivos. Reduce errores humanos de la configuración manual de los dispositivos. En caso de fallo de un servidor DHCP, se puede conservar las direcciones IP actuales, evitando interrupciones. Es una herramienta esencial para mantener la alta disponibilidad y el rendimiento óptimo en redes complejas.

## CONFIGURACIÓN DE LA RED

### Direccionamiento de la red

En la configuración de red se utilizó la distribución IP que se muestra en la **Tabla 1**. Para las interfaces de los routers no están definidas (N/D) las puertas de enlaces.

Tabla 1: Direccionamiento IP de la red

| Dispositivo | Interfaz | Identificador de red | Dirección IP/Máscara | Puerta de enlace Predeterminada |
|---|---|---|---|---|
| **Router1** | Se0/1/0 | 172.26.1.0 | 172.26.1.1/30 | N/D |
| | Se0/1/1 | 172.26.2.0 | 172.26.2.1/30 | N/D |
| **Router2** | Se0/0/0 | 172.26.1.0 | 172.26.1.2/30 | N/D |
| | Se0/0/1 | 172.26.3.0 | 172.26.3.1/30 | N/D |
| | Gig0/0 | 172.26.4.0 | 172.26.4.254/24 | N/D |
| | Gig0/1 | 172.26.5.0 | 172.26.5.254/24 | N/D |
| **Router3** | Se0/0/0 | 172.26.2.0 | 172.26.2.2/30 | N/D |
| | Se0/0/1 | 172.26.3.0 | 172.26.3.2/30 | N/D |
| | Gig0/0 | 172.26.4.0 | 172.26.4.254/24 | N/D |
| | Gig0/1 | 172.26.5.0 | 172.26.5.254/24 | N/D |
| **DNS** | NIC | 172.26.5.0 | 172.26.5.1/24 | 172.26.5.254/24 |
| **HTTP** | NIC | 172.26.5.0 | 172.26.5.2/24 | 172.26.5.254/24 |
| **PCs** | NIC | 172.26.4.0 | DHCP | 172.26.4.254/24 |

**Configuración de las interfaces de los routers**

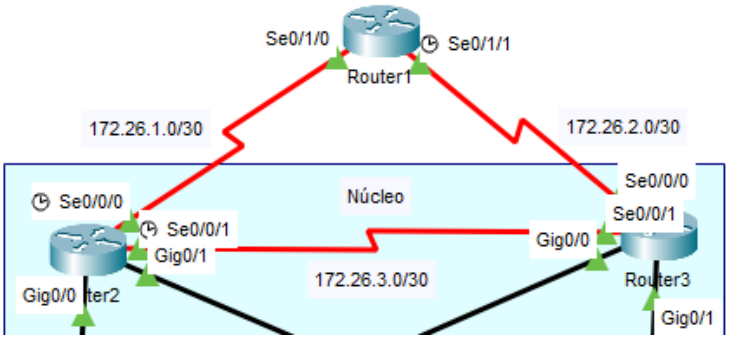



Figura 3: Distribución de interfaces de los routers

Para que exista comunicación entre los routers es necesario que cada una de las interfaces tengan configurada una dirección IP y la máscara de red.

**Comando:** `Router(config)#interface` ***<nombre de la interfaz>***
`Router(config-if)#ip address` ***<IP> <máscara>***

```
!
interface Serial0/1/0
 ip address 172.26.1.1 255.255.255.252
!
interface Serial0/1/1
 ip address 172.26.2.1 255.255.255.252
 clock rate 2000000
```

Figura 4: Configuración de las interfaces del Router1

```
!
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 172.26.4.254 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 172.26.5.254 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/0/0
 ip address 172.26.1.2 255.255.255.252
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/0/1
 ip address 172.26.3.1 255.255.255.252
 clock rate 2000000
!
```

Figura 5: Configuración de las interfaces del Router2

```
!
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 172.26.4.254 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 172.26.5.254 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/0/0
 ip address 172.26.2.2 255.255.255.252
!
interface Serial0/0/1
 ip address 172.26.3.2 255.255.255.252
!
```

Figura 6: Configuración de las interfaces del Router3

**Configuración del enrutamiento**

En este caso, el enrutamiento se hace con OSPF, utilizando el identificador (ID) 10 y área única (0) en cada router. El identificador de red (network) se encuentra especificado en la **Tabla 1** y la wildcard se obtiene de la máscara de red invertida.

**Comando:** `Router(config)#router ospf <ID>`
`Router(config-router)#network <ID de red> <wildcard> área <ID del área>`

```
!
router ospf 10
 log-adjacency-changes
 network 172.26.1.0 0.0.0.3 area 0
 network 172.26.2.0 0.0.0.3 area 0
!
```

Figura 7: Configuración del enrutamiento en el Router1

```
!
router ospf 10
 log-adjacency-changes
 network 172.26.1.0 0.0.0.3 area 0
 network 172.26.3.0 0.0.0.3 area 0
 network 172.26.4.0 0.0.0.255 area 0
!
```

Figura 8: Configuración del enrutamiento en el Router2

```
!
router ospf 10
 log-adjacency-changes
 network 172.26.1.0 0.0.0.3 area 0
 network 172.26.2.0 0.0.0.3 area 0
 network 172.26.5.0 0.0.0.255 area 0
!
```

Figura 9: Configuración del enrutamiento en el Router3

**Configuración del DHCP**

El DHCP se configuró para no tener que asignar direcciones IP a las computadoras de la red de Acceso de forma manual, así se facilita el trabajo del administrador de red.

**Comando:**
```
Router(config)#ip dhcp pool <nombre del pool>
Router(dhcp-config)#network <ID de red> <máscara de la red>
Router(dhcp-config)#default-router <puerta de enlace>
Router(dhcp-config)#dns-server <IP del servidor DNS>
```

```
!
ip dhcp pool X
 network 172.26.4.0 255.255.255.0
 default-router 172.26.4.254
 dns-server 172.26.5.1
!
```

Figura 10: Configuración del DHCP en el Router2

**EtherChannel**

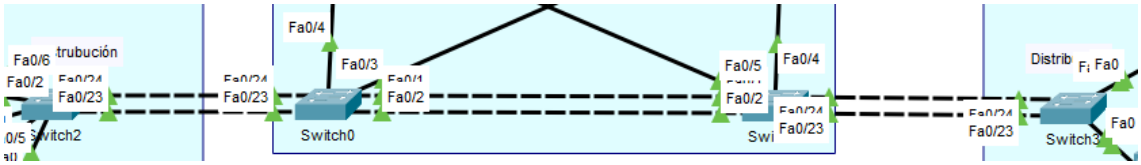



Figura 11: Distribución de las interfaces de los switches

La distribución de EtherChannel en los switches se muestra en la **Tabla 2**. El protocolo LACP permitirá agrupar los puertos físicos en un único canal lógico para ponerse de acuerdo en el envío de paquetes.

Tabla 2: Distribución de puertos en los switches

| Dispositivo | Grupo | Protocolo | Interfaces |
|---|---|---|---|
| **Switch0** | 1 | LACP | Fa0/1-2 |
| | 2 | | Fa0/23-24 |
| **Switch1** | 1 | | Fa0/1-2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 2 | | Fa0/23-24 |
| **Switch2** | 2 | | Fa0/23-24 |
| **Switch3** | 2 | | Fa0/23-24 |

**Comando:**
```
Switch(config)#interface range <ID de las interfaces>
Switch(config-if-range)#switchport mode trunk
Switch(config-if-range)#channel-protocol lacp
Switch(config-if-range)#channel-group <ID del grupo> mode active
Switch(config-if-range)#no shutdown
```

```
interface FastEthernet0/1
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 1 mode active
!
interface FastEthernet0/2
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 1 mode active
!
interface FastEthernet0/23
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
interface FastEthernet0/24
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
```

Figura 12: Configuración de EtherChannel en Switch0

```
interface FastEthernet0/1
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 1 mode passive
!
interface FastEthernet0/2
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 1 mode passive
!
interface FastEthernet0/23
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
interface FastEthernet0/24
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
```

Figura 13: Configuración de EtherChannel en Switch1

```
interface FastEthernet0/23
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
interface FastEthernet0/24
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
```

Figura 14: Configuración de EtherChannel en Switch2

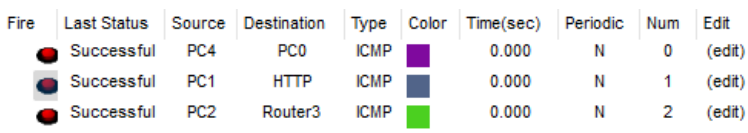
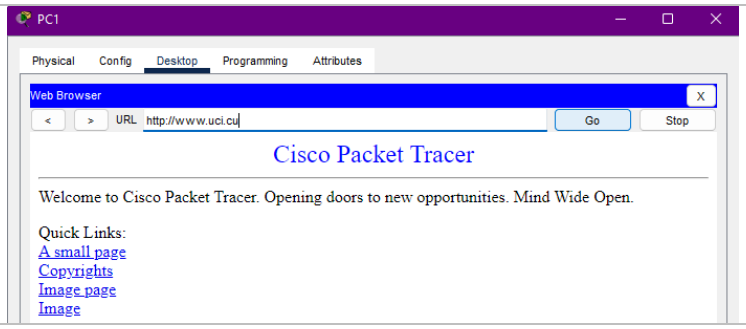
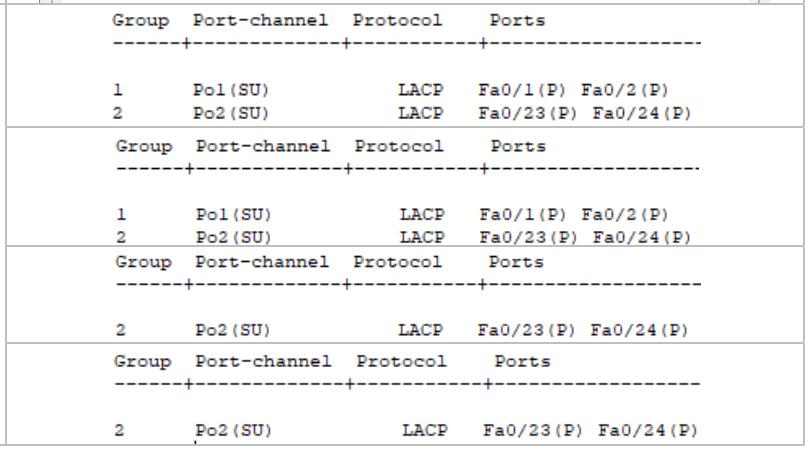
```
interface FastEthernet0/23
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
interface FastEthernet0/24
 switchport mode trunk
 channel-protocol lacp
 channel-group 2 mode active
!
```

Figura 15: Configuración de EtherChannel en Switch3

**VERIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN**

Para verificar las configuraciones se crearon los escenarios de prueba que se detallan en la **Tabla 3**:

Tabla 3: Verificación del funcionamiento de la red

| | |
|---|---|
| -Conectividad entre las PCs de la red (ping)<br>-Conectividad entre las redes de Acceso y Servicios (ping)<br>-Conectividad entre cualquier dispositivo y un enrutador (ping) |  |
| -Acceso a los servicios de la red (navegador) |  |
| -Funcionamiento de EtherChannel |  |

**CONCLUSIONES**

Una vez concluida la presente investigación se puede decir que: la alta disponibilidad de la infraestructura permite que los usuarios hagan uso de los recursos de la red sin interrupciones, aumentando la calidad y la tolerancia a fallo en los servicios; el diseño propuesto crea enlaces redundantes para garantizar la conexión de extremo a extremo en caso de que se dañe algún enlace o dispositivo de interconexión; los

protocolos que fueron configurados son altamente recomendables en redes de este tipo, aunque en redes complejas o de alta disponibilidad de servicios se sugieren estudiar protocolos más específicos.

**REFERENCIAS**

1. Seguridad y Alta Disponibilidad (GRADO SUPERIOR) - Jesús Costas Santos - Google Libros. En Línea. [Accedido 20 August 2024]. Disponible en: https://books.google.com.cu/books
2. *Redes Cisco*. USERSHOP, [no date]. ISBN 978-987-663-024-5. Google-Books-ID: BlWt8dygHb4C
3. CASTILLO ALTAMIRANO, Jimmy Arturo. Diseño de una red de alta disponibilidad y redundancia con la finalidad de garantizar la conectividad de la UNMSM.
4. Glosario. Online. [Accedido 20 de agosto 2024]. Disponible en: https://www.ccn-cert.cni.es/publico/seriesCCN-STIC/series/400-Guias_Generales/401-glosario_abreviaturas/index.html?n=43.html
5. La guía definitiva para la arquitectura de alta disponibilidad | AppMaster. En Línea. [Accedido 20 de agosto 2024]. Disponible en: https://appmaster.io/es/blog/guia-de-arquitectura-para-alta-disponibilidad
6. WALTON, Alex. Arquitectura de Red Empresarial Cisco. *CCNA desde Cero*. Online. 30 de enero 2018. [Accedido 20 de agosto 2024]. Disponible en: https://ccnadesdecero.es/arquitectura-red-empresarial-cisco/
7. Configuración de EtherChannel en Switches Catalyst 4500/4000, 5500/5000 y 6500/6000 que funcionan con el software del sistema CatOS - Cisco. Online. [Accedido 20 de agosto 2024]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/lan-switching/etherchannel/10024-6.html
8. WALTON, Alex. Funcionamiento de EtherChannel » CCNA desde Cero. *CCNA desde Cero*. Online. 13 enero 2020. [Accedido 20 de agosto 2024]. Disponible en: https://ccnadesdecero.es/funcionamiento-etherchannel/

**Sobre los autores**

Clayret Echenique Quintana. Profesor Instructor de Redes de Datos del Departamento de Infraestructura Tecnológica de la Facultad de Ciberseguridad de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Graduada de Ingeniería en Ciencias Informáticas en el 2020 en la propia universidad. Ha participado como ponente en eventos nacionales e internacionales relacionados con las redes de computadoras y la seguridad informática, tales como: CIVITEC 2020, Ciberseguridad 2023 e Informática 2024. Actualmente imparte clases al segundo año de Ingeniería en Ciberseguridad.

Ernesto Alejandro Gálvez Valdés. Estudiante de pregrado de tercer año de la carrera Ingeniería en Ciberseguridad. Alumno ayudante de Estructura de Datos. Ha participado en los eventos base de la Jornada Científica Estudiantil 2024 organizada por la FEU en la universidad.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# AMENAZAS AL SERVIDOR DHCP. ATAQUE DHCP SPOOFING EN UNA RED DE ÁREA LOCAL

**Ernesto Alejandro Gálvez Valdés[1], Clayret Echenique Quintana[2], Halexy Velázquez Delgado[3]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2 1/2, Rpto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[2]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2 1/2, Rpto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[3]Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños Km 2 1/2, Rpto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba

[1]e-mail: agalvez@estudiantes.uci.cu

**RESUMEN**

El servidor DHCP gestiona direcciones IP e información de su configuración en redes principalmente complejas de administrar. Este protocolo por no tener un sistema de autenticación se han identificado una serie de amenazas comunes, incluyendo ataques a servidores no autorizados, inanición de DHCP y suplantación. La presente investigación aborda sobre las principales amenazas y posibles medidas para protegerse ante ataques y se detalla un caso práctico de ataque de spoofing, explicando cómo se pueden interceptar mensajes DHCP y modificar la configuración de red de un cliente.

**PALABRAS CLAVES:** amenazas al servidor DHCP, ataques al servidor DHCP, servidor DHCP, ataque DHCP Spoofing.

# DHCP SERVER THREATS. DHCP SPOOFING ATTACK A LOCAL AREA NETWORK

**ABSTRACT**

The DHCP server manages IP addresses and configuration information in networks that are mainly complex to manage. This protocol, by not having an authentication system, has identified a series of common threats including attacks on unauthorized servers, DHCP starvation, and spoofing. This paper addresses the main threats and possible measures to protect against attacks, and details a practical case of a spoofing attack, explaining how DHCP messages can be intercepted and the network configuration of a client can be modified.

**KEY WORDS:** DHCP server threats, DHCP server attacks, DHCP server; DHCP Spoofing attack.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento y configuración de parámetros de IP en una red pequeña en relativamente fácil. Al disponer de una red grande con equipamiento heterogéneo, la administración, asignación de direcciones IP, la configuración de equipos, mantenimiento y gestión se convierte en una tarea compleja. Cualquier cambio en la configuración de la red conlleva un excesivo tiempo para ejecutar la tarea (1).

Por otra parte, en entorno de dispositivos móviles, la asignación puede resolverse con direcciones IP estáticas, conlleva la asociación fija de una dirección IP al mismo equipo, para evitar conflictos, y la imposibilidad de reutilizarla si un portátil no está conectado a la red local. Este es el mismo problema que presentan en el entorno de trabajo de los proveedores de servicios de internet (ISP, por sus siglas en inglés); o se dispone de un sistema de asignación dinámica y flexible, o se dispone de una dirección IP distinta para cada host, algo difícil de lograr debido a la cantidad de dispositivos conectados a Internet (1).

A raíz de esta situación surge el servidor DHCP, ante la necesidad de gestionar direcciones IP e información de configuración general de la red. Los datos que proporciona este servidor a los clientes son: dirección IP, máscara de red, puerta de enlace, IP del servidor DNS, dirección de difusión, tiempos de concesión, etc. (1). Sin embargo, el aspecto de la seguridad no se consideró a fondo durante su fase de diseño. Como resultado, tiene varias vulnerabilidades muy lucrativas para muchos atacantes (2).

Por ejemplo, dado que no existe un mecanismo de autenticación para DHCP, este es vulnerable a los ataques que impiden que los hosts obtengan una dirección IP del servidor DHCP. En el ataque de servidor DHCP no autorizado, el atacante configura un servidor DHCP en la red y proporciona a los hosts parámetros de configuración falsos (3). Esto puede causar interrupciones en la red, desvíos, denegación o ataque al servicio.

La presente investigación pretende exponer cuáles son las amenazas y ataques más comunes a los servidores de DHCP y muestra un caso práctico de un ataque spoofing.

## 2. PROTOCOLO DE CONFIGURACIÓN DINÁMICA DE HOST

El protocolo de configuración dinámica de host (DHCP, por sus siglas en inglés) que se basa en la arquitectura cliente-servidor que proporciona configuración de parámetros a los hosts de Internet. DHCP consta de dos componentes: un protocolo para entregar parámetros de configuración específicos y un mecanismo para la asignación de direcciones IP a los hosts (4).

DHCP admite tres mecanismos para la asignación de direcciones IP (4):

- **Asignación automática**: asigna una dirección IP permanente a un cliente.
- **Asignación dinámica**: asigna una dirección IP a un cliente por un período de tiempo limitado (o hasta que el cliente explícitamente renuncia a la dirección).
- **Asignación manual**: La dirección la asigna el administrador de red y se utiliza DHCP simplemente para transmitir la dirección asignada al cliente.

**Funcionamiento básico de un servidor DHCP**

El protocolo DHCP maneja distintos tipos de paquetes de los cuales es necesario implementar/reconocer estos seis: DHCPDISCOVER, DHCPOFFER, DHCPREQUEST, DHCPACK, DHCPNACK, DHCPRELEASE y DHCPDECLINE (4).

DHCP funciona sobre UDP exclusivamente, para servidor (puerto 67) y para cliente (puerto 68). La Figura 1, muestra el procedimiento para obtener una dirección IP, un cliente debe intercambiar los siguientes mensajes con el servidor (4):

- DHCPDISCOVER, enviado por el cliente. Se trata de un mensaje UDP multicast que es recibido por los servidores DHCP.
- DHCPOFFER, enviado por el/los servidores, donde ofertan varias direcciones IP, sobre las que el cliente debe escoger.
- DHCPREQUEST, enviado por el cliente, que es un mensaje UDP (puede ser unicast o multicast) para solicitar una dirección específica.
- DHCPACK, enviado por el servidor, confirmando esa IP.

Existen otros mensajes como DHCPNACK, DHCPRELEASE y DHCPDECLINE, que son necesarios para implementar/reconocer. DHCPDECLINE se envía por el cliente para rechazar una dirección IP ofertada, por ejemplo, por estar ya en uso (4).

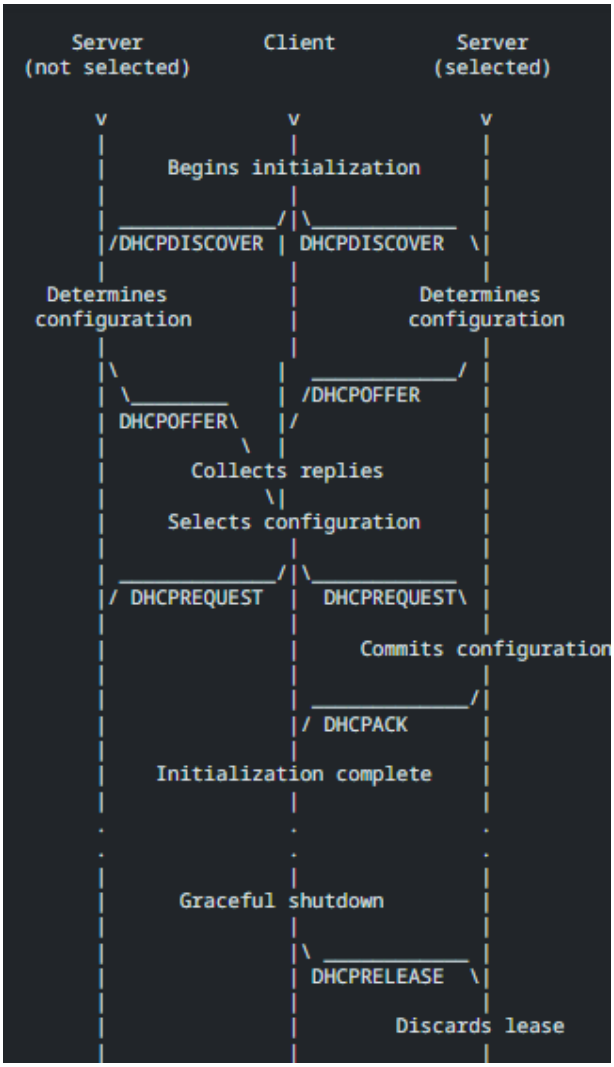



Figura 1: Intercambio de mensajes entre DHCP cliente y servidores al asignar una nueva dirección de red (Tomado de RFC 2131).

**Ataques más comunes al servidor DHCP**

DHCP es un protocolo que no incluye un mecanismo de autenticación, por lo que es vulnerable a disímiles ataques. Estos provocan que los clientes obtengan información falsa de los parámetros configurados en la red por parte del servidor o que accedan a recursos de la red y produzcan fallos en el DNS si se envían paquetes relacionados con la actualización de estado de las autorizaciones (5). A continuación, se describen los ataques más comunes al servicio DHCP y algunas recomendaciones de cómo evitarlos[1]:

Servidores DHCP no autorizados

Un servidor DHCP no autorizado se puede configurar para asignar parámetros de configuración de IP, causando interrupciones en la red, desvíos, denegación de servicio o ataques de intermediario. Para evitar este tipo de amenazas se debe utilizar la indagación DHCP, función que filtra los mensajes DHCP en función del puerto de origen y la dirección MAC del remitente. También se puede utilizar la seguridad de puertos, restringiendo el número de direcciones MAC.

[1] Disponible en: Cómo proteger su red de las amenazas comunes de DHCP (linkedin.com)

Inanición de DHCP

Este ataque agota el grupo de direcciones IP disponibles de un servidor DHCP mediante el envío de un gran número de solicitudes DHCP con direcciones MAC falsificadas, impidiendo que los clientes de red legítimos obtengan direcciones IP y accedan a la red. Para evitarlo se debe utilizar la indagación DHCP, característica que limita la velocidad de solicitudes DHCP por puerto. Otra solución podría ser mediante la inspección ARP dinámica, función que valida los paquetes ARP en función de la base de datos de indagación.

Suplantación de DHCP

Este ataque intercepta y modifica los mensajes DHCP entre un servidor DHCP y un cliente de la red. El suplantador modifica los parámetros de configuración IP asignados a un cliente de red. Esto permite al atacante redirigir el tráfico de red, realizar ataques de intermediario o robar información confidencial. Para evitarlo se debe utilizar la protección de origen de IP, función que verifica la dirección IP de origen de los paquetes en función de la base de datos de indagación DHCP. También utilizando la autenticación DHCP, se puede verificar la identidad y la integridad de los mensajes DHCP mediante firmas digitales.

Clientes DHCP no autorizados

Es un dispositivo que se conecta a una red sin permiso y obtiene una dirección IP del servidor. Un cliente DHCP no autorizado puede consumir recursos de red, introduciendo vulnerabilidades de seguridad o interferir con otros dispositivos de red. Para evitar estos incidentes se debe utilizar el filtrado de direcciones MAC para denegar las solicitudes en función de la dirección MAC del dispositivo, y controlar el acceso a la red con políticas de seguridad.

Ataques de retransmisión DHCP

Este ataque explota el agente de retransmisión DHCP y puede eludir las medidas de seguridad del servidor DHCP o del segmento de red donde se encuentra el agente de retransmisión. Por ejemplo, un atacante puede utilizar un agente de retransmisión para inyectar mensajes DHCP maliciosos o acceder a segmentos de red restringidos. Para evitar este tipo de ataques se utiliza la autenticación de retransmisión DHCP, función que verifica la identidad e integridad de los mensajes con firmas digitales, y utilizando reglas de firewall para controlar el flujo de tráfico entre los segmentos de red.

## 3. ATAQUES DHCP SPOOFING

Los ataques del tipo DHCP spoofing implican la interceptación de mensajes de tipo DHCPDISCOVER, (ver figura 2). Puede cambiar la dirección de la puerta de enlace, dar su propia dirección y realizar el llamado ataque "man-in-the-middle", donde un atacante puede leer, insertar y modificar mensajes entre dos usuarios o sistemas (6).

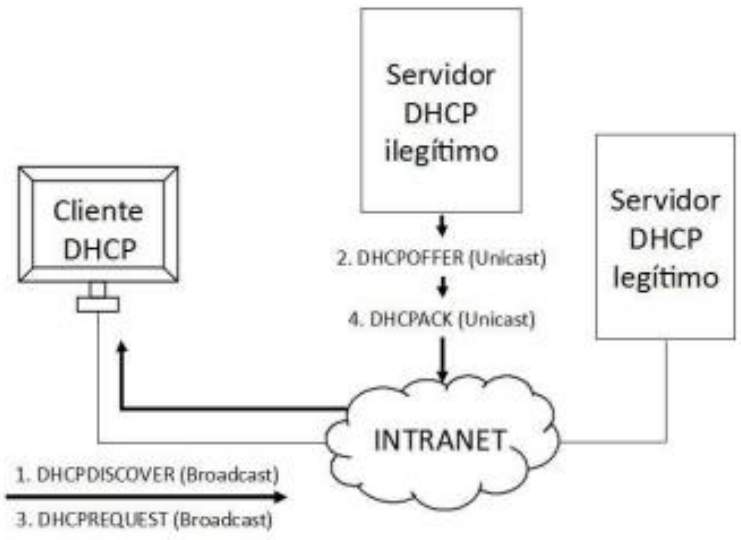



Figura 2: Ataque del tipo DHCP spoofing (6).

A continuación, se muestra cómo hacer una suplantación DHCP, a través de un host de la red. Para ellos se hace uso de un entorno virtualizado con ayuda del hipervisor de tipo 2 VirtualBox en su versión 7.0.14 y el sistema operativo Ubuntu 20.04. Se creó una red interna conectada con adaptador solo anfitrión en la que uno de los hosts tendrá configurado el servidor DHCP con isc-dhcp-server y los otros hosts harán función de clientes DHCP.

Existe un atacante que ha instalado y configurado un servidor DHCP con una configuración especialmente manipulada, indicando que dirección IP debe asignarse al cliente y en particular que la dirección IP del atacante debe ser indicada como puerta de enlace predeterminada.

Si el cliente solicita configuración mediante DHCP, es posible que el atacante intercepte al DHCP legítimo y logre capturar la puerta de enlace predeterminada del cliente, forzándola a utilizar como puerta de enlace predeterminada al atacante.

El atacante desea aplicar una técnica DHCP Spoofing sobre el cliente. Para ello puede identificar la dirección IP del cliente mediante el DNS local (nslookup), utilizando nbtscan, o cualquier otro método.

En este caso el atacante instala **isc-dhcp-server**, una solución para gestionar servidores DHCP, ejecutar en el terminal el siguiente comando para la instalación:

- `$ sudo apt-get install isc-dhcp-server`

Para configurar el servidor DHCP, el atacante debe utilizar datos conocidos, como la IP del cliente, la MAC, la subred, el DNS, etc. La configuración de los parámetros se realiza mediante la edición del fichero **dhcpd.conf**, en la terminal se accede al fichero con el siguiente comando:

- `$ sudo nano /etc/dhcp/dhcpd.conf`

La sección “subnet” define la subred, máscara, puerta de enlace predeterminada de la red, servidor de nombres, difusión, rango de direcciones a asignar, etc. Se ha especificado también como dominio “dhcp.spoofing”. En particular, se ha especificado como puerta de enlace para el cliente, la dirección IP del atacante mediante el parámetro:

- `option routers 192.168.1.124`

Y se ha forzado que se asigne la IP 192.168.1.198 a la MAC del cliente, respetando la configuración que asignó inicialmente el DHCP legítimo de la red … hardware ethernet

- `AA:BB:CC:22:33:44 fixed-address 192.168.1.198 ...`

Una vez configurado, el atacante inicia el servicio de DHCP con el comando

- `$ systemctl start isc-dhcp-server`

Estaría iniciado. Para simular la condición de carrera, en un entorno controlado puede obligarse al cliente a volver a solicitar configuración mediante DHCP. Para ello, el cliente libera la dirección IP asignada, ejecutar en el terminal del cliente el comando:

- `$ sudo dhclient -r`

Luego solicita nuevamente una dirección IP:

- `$ sudo dhclient -v`

Si el atacante “gana la carrera” al servidor DHCP legítimo de la red, se asignarán los parámetros de configuración DHCP preconfigurados.
El cliente ha obtenido la dirección IP “correcta” y se le ha asignado como puerta de enlace predeterminada la dirección IP del atacante. Note que el dominio “dhcp.spoofing”, a modo de referencia respecto a la configuración inicial. A partir de este punto, el cliente enviará los paquetes destinados a Internet al atacante, dado que se le ha indicado que la dirección IP 192.168.1.124 es su puerta de enlace predeterminada.

**Medidas de seguridad para protegerse de un ataque de spoofing**

- En redes pequeñas se recomienda deshabilitar el DHCP y configurar la IP fija (5).
- Habilitar el registro de auditoría en todos los servidores DHCP para comprobar los archivos de registro de auditoría y supervisar si el servidor DHCP recibe de los clientes un número de solicitudes de concesión alto (5).

- Configurar DHCP Snooping, esta es una técnica característica de los switch CISCO que establece que puertos del switch pueden o no responder a consultas DHCP, los cuales van a ser identificados como confiado y desconfiado (5).
- Utilizar la herramienta Server APP para autenticar al usuario antes de realizar una llamada a la red remota. Cuando el conducto recibe un paquete de descubrimiento DHCP de un cliente, envía un mensaje al cliente para permitirle pasar con éxito la autenticación de la APLICACIÓN (es decir, ingresar el PIN de la tarjeta SecurID). Si el cliente se autentica a través de la aplicación, le proporciona una dirección IP temporal con un corto tiempo de arrendamiento. Si intenta renovar la dirección de arrendamiento, la solicitud se rechaza y se realiza una llamada desde la red remota al servidor DHCP real. El cliente obtiene una dirección del servidor DHCP y puede usar la dirección falsa para el siguiente cliente (5).

## 4. CONCLUSIONES

En este estudio, se investigaron las amenazas y ataques más comunes a los servidores DHCP y se describió un caso práctico de un ataque de suplantación (spoofing) en una red LAN. El objetivo fue entender cómo operan estos ataques y desarrollar estrategias para mitigar sus efectos. A través de un análisis detallado y la simulación de un ataque de spoofing, se logró identificar medidas de seguridad efectivas para proteger las redes contra estas vulnerabilidades. Los resultados destacan la importancia de la autenticación y la vigilancia en la gestión de servidores DHCP para prevenir interrupciones y compromisos de seguridad en las infraestructuras de red.

## REFERENCIAS

1. LÓPEZ, Julio Gómez. *Administración de Sistemas Operativos. Un enfoque práctico. 2ª Edición*. Ra-Ma Editorial, 2011. ISBN 978-84-9964-410-3.
2. ABDULGHAFFAR, AbdulAziz, PAUL, Sumit Kumar and MATRAWY, Ashraf. An Analysis of DHCP Vulnerabilities, Attacks, and Countermeasures. In: *2023 Biennial Symposium on Communications (BSC)*. Online. July 2023. p. 119–124. [Accedido: 8 de enero de 2024]. DOI 10.1109/BSC57238.2023.10201458.
3. TOK, Mevlut Serkan and DEMIRCI, Mehmet. Security analysis of SDN controller-based DHCP services and attack mitigation with DHCPguard. *Computers & Security*. En línea. 1 de octubre de 2021. Vol. 109, p. 102394. [Accedido: 8 de junio de 2024]. DOI 10.1016/j.cose.2021.102394.
4. DROMS, Ralph. RFC 2131: *Dynamic Host Configuration Protocol* En Línea. Request for Comments. Internet Engineering Task Force, 1997. [Accedido: 9 de junio de 2024].
5. VIVAS, Tejada and ALEXANDER, Jeison. Simulación de ataque de denegación de servicio DoS en una red LAN. En línea. 25 de enero de 2024. [Accedido: 9 de junio de 2024]. Available from: https://hdl.handle.net/20.500.12494/54219
6. CRUZ, Josué Cirilo, LÓPEZ, Arturo Zúñiga, CRUZ, Carlos Avilés and CORTEZ, Juan Villegas. ANÁLISIS DE ATAQUES DE RED DEL TIPO DHCP SPOOFING, TCP SYN FLOOD Y PAQUETES MALFORMADOS. *Pistas Educativas*. En Línea. 28 de febrero de 2018. Vol. 39, no. 128. [Accedido: 8 de junio de 2024]. Available from: https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1171

### Sobre los autores

**Ernesto Alejandro Gálvez Valdés**. Estudiante de pregrado de tercer año de la carrera Ingeniería en Ciberseguridad. Alumno ayudante de Estructura de Datos. Ha participado en los eventos base de la Jornada Científica Estudiantil 2024 organizada por la FEU en la universidad.

**Ing. Clayret Echenique Quintana**. Profesor Instructor de Redes de Datos del Departamento de Infraestructura Tecnológica de la Facultad de Ciberseguridad de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Graduada de Ingeniería en Ciencias Informáticas en el 2020 en la propia universidad. Ha participado como ponente en eventos nacionales e internacionales relacionados con las redes de computadoras y la seguridad informática, tales como: CIVITEC 2020, Ciberseguridad 2023 e Informática 2024. Actualmente imparte clases al segundo año de Ingeniería en Ciberseguridad.

**Halexy Velázquez Delgado.** Estudiante de pregrado de tercer año de la carrera Ingeniería en Ciberseguridad. Alumno ayudante de Estructura de Datos. Ha participado en los eventos base de la Jornada Científica Estudiantil 2024 organizada por la FEU en la universidad. Estuvo dentro de los primeros puestos del evento internacional CTF 2024.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS USANDO LA TECNOLOGÍA RIDGE GAP WAVEGUIDE EN LA BANDA DE 28 GHz

**Primer Autor (Julián Valdés Santiuste)[1], Segundo Autor (María del Carmen Guerra Martínez)[2]**

[12]Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Echeverría", Calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda CP 19390 Marianao, La Habana, Cuba
[1]e-mail: jvaldess233256@gmail.com
[2]e-mail: mariagm@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La tecnología Gap Waveguide constituye una alternativa para las líneas de transmisión convencionales empleadas en el diseño de antenas en la banda de ondas milimétricas. En comparación con otras líneas empleadas en sistemas de microondas, con estas guías se obtienen valores de eficiencia superiores, con el consecuente aumento en la ganancia de la antena, debido a que en la mayoría de los casos esta tecnología no utiliza sustrato. Además, por sus características físicas tiene mayor resistencia a las radiaciones solares. Estas dos ventajas son muy útiles en las comunicaciones satelitales porque las mismas operan en condiciones extremas de radiación solar y con baterías que limitan la vida útil del satélite. El presente trabajo está dirigido al diseño de un arreglo de antenas de ranura de 2X2 elementos para aplicaciones satelitales en la banda 28 GHz con polarización circular, empleando la variante Ridge Gap Waveguide. El elemento simple del arreglo consiste en una estructura con terminación en una L rotada $45^0$ y una ranura en la placa superior rotada $45^0$. Se obtiene una ganancia máxima de 12.7 dBi y un ancho de banda con polarización circular del 100 %.

**PALABRAS CLAVES:** Gap Waveguide, arreglo de antenas, banda de 28 GHz, polarización circular.

# DESIGN OF ANTENNA ARRAY USING RIDGE GAP WAVEGUIDE TECHNOLOGY IN THE 28 GHz BAND

**ABSTRACT**

The Gap Waveguide technology is an alternative to conventional transmission lines used in the design of antennas in the millimeter wave band. Compared to other lines used in microwave systems, with these guides higher efficiency values are obtained, with the consequent increase in antenna gain, due to the fact that in most cases this technology does not use substrate. In addition, due to its physical characteristics, it is more resistant to solar radiation. These two advantages are very useful in satellite communications because they operate in extreme conditions of solar radiation and with batteries that limit the useful life of the satellite. The present work is aimed at the design of a 2X2 element slot antenna array for satellite applications in the 28 GHz band with circular polarization, employing the Ridge Gap Waveguide variant. The single element of the array consists of a 45° rotated L-terminated structure and a 45° rotated top plate slot. A maximum gain of 12.7 dBi and a 100% circularly polarized bandwidth is obtained.

**KEY WORDS:** Gap Waveguide, antenna array, 28GHz-band, circular polarization.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el incremento en las redes de los usuarios, las aplicaciones y los servicios se ha acentuado la saturación de la parte inferior del espectro radioeléctrico. Además el estándar de comunicaciones móviles 5G supone un gran cambio con respecto al estándar 4G, fundamentalmente en lo referente a velocidad, latencia y tiempos de respuesta pero requiere del uso de frecuencias de operación muy elevadas para alcanzar sus máximas tasas de transmisión de datos y baja latencia [1]-[2]. Esta situación ha aumentado la demanda de los sistemas de comunicaciones móviles por satélite en las últimas décadas impulsando la

investigación hacia bandas de frecuencia cada vez más altas, capaces de permitir mejoras tanto en la cobertura como en la capacidad de los servicios de banda ancha. Para implementar estos sistemas, se requiere del diseño de antenas terrestres de gran ganancia, alineadas con los satélites para maximizar la conectividad y la transferencia de datos [3].

Sin embargo, para poder trabajar a frecuencias tan grandes se necesitan grandes cambios en el diseño y fabricación de las antenas. En primer lugar, es necesario que el tamaño de estas nuevas antenas sea más pequeño, ya que su tamaño es inversamente proporcional a la banda de frecuencia de funcionamiento [4].

En segundo lugar, hay que tener en cuenta la miniaturización que sufren los dispositivos y que dificultad se genera durante su ensamblaje. Puesto que, como se trabajará con dispositivos más pequeños, funcionando a mayores frecuencias, a veces es difícil asegurar un buen ensamblado y sellado de las piezas que componen el sistema [5].

La tecnología Gap Waveguide (GW) se presenta como una solución factible a la hora de diseñar antenas en bandas milimétricas. Sus principales ventajas radican en la capacidad para evitar el contacto directo, que es la principal fuente de pérdidas, y en la sencillez de su proceso de fabricación. Esta tecnología se basa en el uso de estructuras periódicas que emulan las propiedades de un conductor magnético perfecto, evitando que el campo se fugue a través de los laterales de la guía [6]-[8]. Esta tecnología presenta menores pérdidas que la microcinta e incluso que las guías de onda con sustrato integrado (Substrate Integrated Waveguide por sus siglas en inglés, SIW) [9]. Además, las pérdidas en alguna de sus topologías son equiparables a las de las guías de onda convencionales [10].

## 2. TECNOLOGÍA GAP WAVEGUIDE

El concepto GW creado en el año 2009 por el Profesor Kildal se basa en el control de la propagación de ondas electromagnéticas a través de una región comprendida entre dos placas metálicas situadas en paralelo, que se pueden modelar idealmente como dos conductores eléctricos perfectos (PEC). De acuerdo con las ecuaciones de Maxwell, la propagación a través de este tipo de estructuras es independiente de la distancia entre las dos superficies eléctricas conductoras. Sin embargo, si se quiere emular el comportamiento de una guía de onda, se debe evitar la propagación a través de las paredes laterales de la guía. Para ello, idealmente, se debería situar un conductor magnético perfecto (PMC) a una distancia de la placa superior (PEC) menor que λ/4 [6].

La configuración se presenta en la Figura 1 en la que se sitúa en la placa inferior un tramo estrecho de conductor eléctrico y dos conductores magnéticos, uno a cada lado, permitiendo la propagación exclusivamente por el tramo de conductor eléctrico, y evitando la propagación a través de los conductores magnéticos.

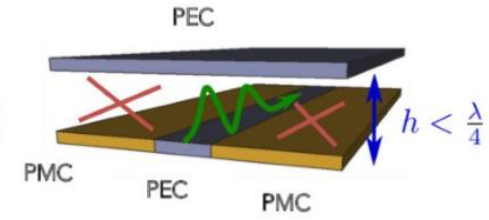



Figura 1: Configuración de la guía con conductores PEC y PMC.

Los conductores PEC y PMC no existen en la naturaleza. El aluminio por su buena conductividad se utiliza como una aproximación a un conductor PEC. Para conseguir un comportamiento similar al de un PMC se utilizan estructuras periódicas que generan las condiciones de contorno equivalentes a un PMC, en un rango de frecuencias dado. En la Figura 2 se muestra una de las estructuras periódicas más utilizadas en la actualidad para generar un comportamiento similar al de un PMC y sus parámetros de

configuración. Se basa en el uso de pines, se conoce como cama de pines (en inglés bed of nails) y se seleccionó como la estructura periódica a utilizar en esta investigación.

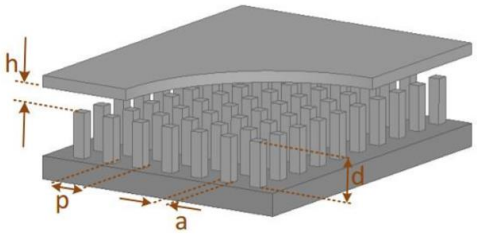



Figura 2: Estructura periódica formada por pines.

La banda de bloqueo se define como el ancho de banda donde no se propaga ningún modo a través de la estructura de pines, de tal forma que emula el comportamiento de una pared metálica en una guía rectangular convencional [6].

Los pines tienen dimensiones concretas para que puedan actuar como una pared, y así conducir la señal en la dirección deseada. Típicamente, esta cama de pines suele ser uniforme, del mismo tamaño y con un período fijo. La altura debe de ser de $\lambda/4$ para crear una región de alta impedancia, y la placa se comporte como un conductor magnético perfecto [4].

El límite inferior de la banda de bloqueo definido por d, debe ser aproximadamente $\lambda/4$ para transformar un corto-circuito (PEC) en un circuito abierto (PMC). El límite superior de la banda de bloqueo está definido por la frecuencia a la cual d + h es aproximadamente $\lambda/2$. En ambos casos el período de los pines p debe ser lo suficientemente pequeño para permitir un ancho de banda adecuado, generalmente, debe ser menor que $0.25\lambda$. La separación h es un parámetro importante que afecta considerablemente el tamaño de la banda de bloqueo, como se mencionó anteriormente, debe ser menor que $\lambda/4$.

Las variantes de GW, más utilizadas, con estructuras periódicas de pines son las siguientes: Ridge Gap Waveguide (RGW), Groove Gap Waveguide (GGW), y Microstrip Gap Waveguide (MGW), como se pueden ver en la Figura 3.

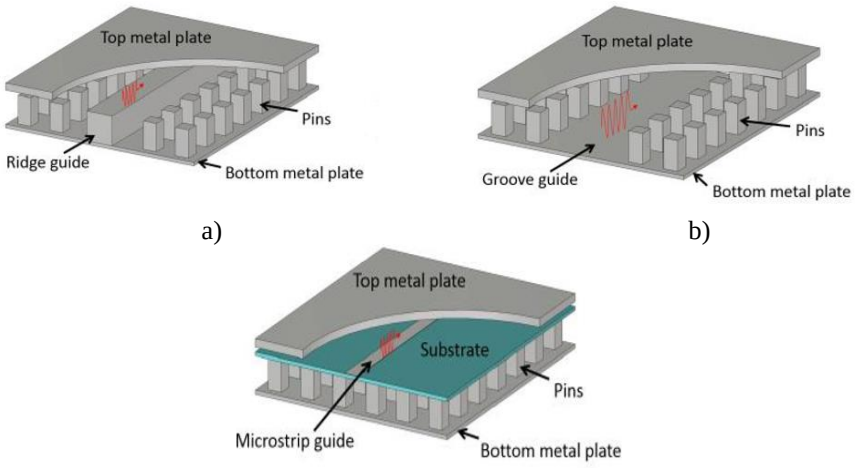



Figura 3: Variantes de la tecnología GW: a) RGW, b) GGW, c) MGW.

De las tres variantes, la MGW es la menos empleada debido a que está formada por una capa de microcinta sobre un sustrato eléctrico que reduce la eficiencia. La GGW se constituye por dos columnas

de pines entre las cuales se propaga el campo eléctrico. Es un concepto muy similar a las guías de ondas tradicionales, y en él se transmiten los modos transversal eléctrico (TE) o transversal magnético (TM). Por su parte, la RGW se compone de un nivel metálico situado en el centro cuya misión es propagar el campo eléctrico en el espacio de aire existente entre él y la placa metálica superior. El modo de propagación en este caso es el cuasi transversal electromagnético (cuasi-TEM) [11]. Esta última variante es usualmente utilizada en las antenas de ranura empleadas en los sistemas de radar, estaciones terrestres y comunicaciones satelitales.

Este trabajo propone el diseño de un arreglo de antenas de ranura con polarización circular, empleando la tecnología RGW, para su utilización en comunicaciones satelitales en la banda de 28 GHz (26.5 - 29.5 GHz). Para el elemento simple se tomó como referencia el diseño de la antena más simple desarrollada en el artículo [12] adaptada para la banda de 28 GHz. La polarización circular se obtiene mediante dos brazos en L rotados, por la acción conjunta de la perpendicularidad y la diferencia de longitud de $\lambda/4$ existente entre los brazos. El arreglo se diseñó con cuatro ranuras radiantes cuadradas rotadas $45^0$. Todas las simulaciones se realizaron con la herramienta CST Studio Suite 2021.

## 3. DISEÑO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Para el estudio de la alimentación del arreglo de antenas se simula el comportamiento de una guía usando la tecnología RGW. La simulación se hace con una estructura de dos puertos conectados por el nivel metálico con la que se obtiene información de los parámetros S de ambos puertos y del guiado de la energía a lo largo del nivel.

La parametrización de los pines y el diagrama de dispersión con la banda de bloqueo se observa en las Figuras 4 y 5. Los pines son prismas con base cuadrada de lado a y altura ph, la separación entre el pin y la placa superior se denota por g, g + ph representa la separación entre las placas paralelas y el parámetro p representa la periodicidad, debido a que el pin con dimensiones p x p x (g + ph) se replica infinitamente en el plano. La banda de bloqueo contiene completamente la banda de 28 GHz (26.5 - 29.5 GHz).

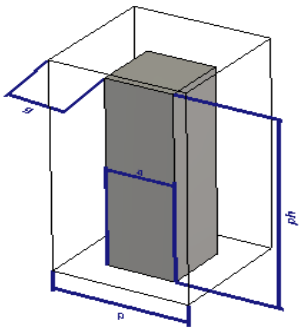



Figura 4: Dimensionamiento del pin.

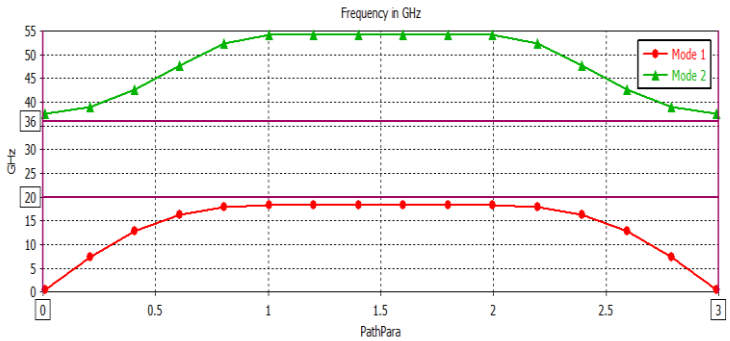



Figura 5: Diagrama de dispersión del pin diseñado.

Para formar la guía RGW es necesario incluir un nivel metálico entre los pines de la superficie de la banda de bloqueo, con el objetivo de guiar la señal a lo largo de un camino establecido. La introducción de este nivel permite la propagación de un modo cuasi transverso electromagnético (cuasi-TEM) entre la misma y la placa metálica superior. Para la demostración de este comportamiento se modeló una estructura compuesta por el nivel metálico y cuatro hileras de pines a ambos lados.

En las Figuras 6 y 7 se presentan la geometría de la línea RGW diseñada, así como su diagrama de dispersión. En esta última se puede verificar la aparición de modos de propagación adicionales que no estaban en la estructura infinitamente periódica, esto sucede porque la estructura no tiene periodicidad en la dirección del eje y, sino que solo considera cuatro pines a cada lado. También se observa la existencia de un modo de propagación en el intervalo de frecuencias suprimidas por la estructura de banda de bloqueo.

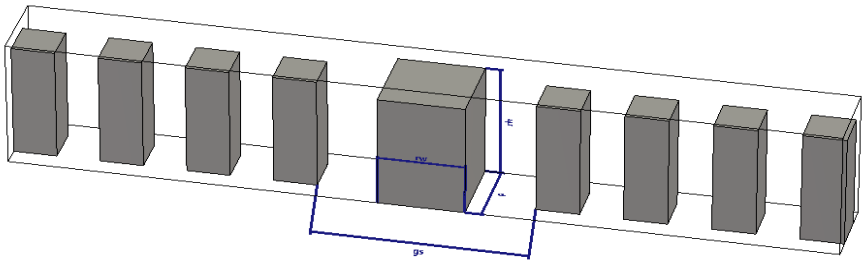


Figura 6: Sección transversal de la estructura RGW.

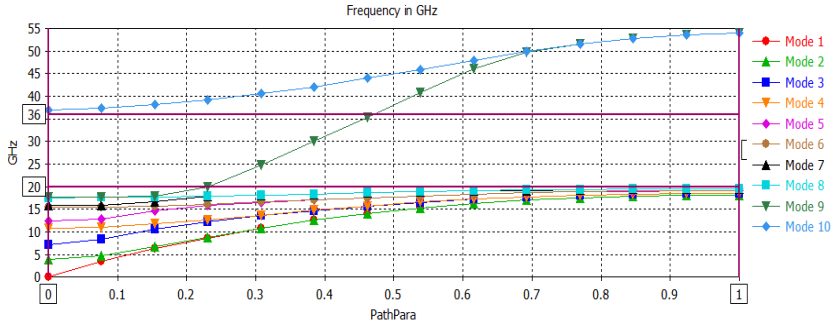



Figura 7: Diagrama de dispersión de la línea de transmisión RGW.

En la Figura 8 se aprecia que el coeficiente de reflexión ($S_{11}$) alcanza valores inferiores a -15 dB en toda la banda de 28 GHz, garantizando así un buen acoplamiento. También se observa que el coeficiente de transmisión ($S_{21}$) toma valores muy próximos a 0 dB, lo cual demuestra que apenas hay reflexiones en el puerto de alimentación y que se garantiza una alta transferencia de potencia. Como se evidencia en la Figura 9, la radiación en la línea de alimentación para la frecuencia de 28 GHz apenas sobrepasa la primera fila de pines, logrando el confinamiento del campo.

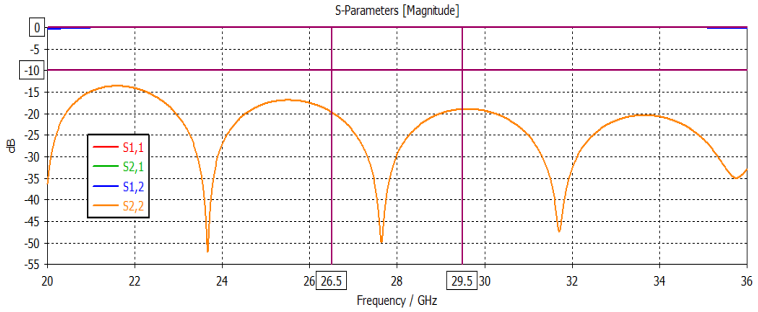



Figura 8: Coeficientes de reflexión y transmisión de la línea RGW para 28 GHz.

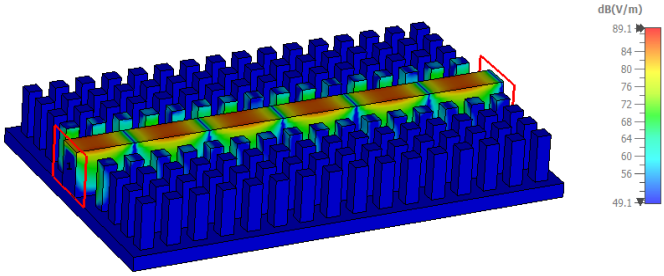
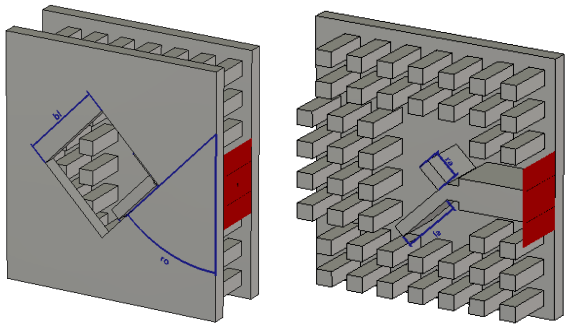



Figura 9: Distribución de campo eléctrico a lo largo de la línea RGW para 28 GHz.

## 4. DISEÑO DEL ELEMENTO SIMPLE DEL ARREGLO DE ANTENAS

La estructura del elemento simple del arreglo de antenas se presenta en la Figura 10. La placa base contiene la cama de pines y el nivel metálico que termina en dos brazos ortogonales entre si rotados $45^0$ con una diferencia de longitud de aproximadamente $\lambda/4$. En la placa superior se coloca una ranura radiante cuadrada rotada para mantener la alineación con los brazos ortogonales de la placa inferior. La energía se propaga desde el espacio de aire entre la línea de transmisión y la placa superior hasta la ranura radiante.



a) b)

Figura 10: Estructura del elemento simple: a) Elemento simple, b) Estructura interna.

La polarización circular se logra mediante la combinación de perpendicularidad y diferencia de longitud entre los brazos al final de la línea de transmisión. Esto permite que la diferencia de fase entre los brazos sea de $90^0$ y por lo tanto una distribución del campo eléctrico entre ellos en cuadratura. Con la excitación de la corriente de superficie en la placa superior se genera el patrón de radiación en espiral mostrado en la Figura 11.

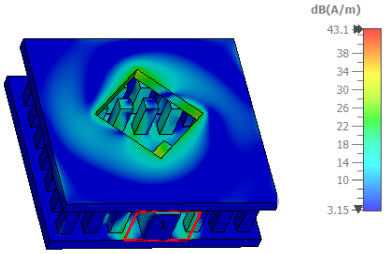



Figura 11: Patrón de radiación en espiral.

Los resultados de la simulación se muestran en las Figuras 12, 13 y 14. Se aprecia que para el elemento simple el ancho de banda que cumple con una relación axial inferior a 3 dB y con $|S_{11}| < -10$ dBi es de 3 GHz desde 26.5 hasta 29.5 GHz. Se observa un patrón de radiación bien definido y un valor de ganancia máxima de 7.42 dBi.

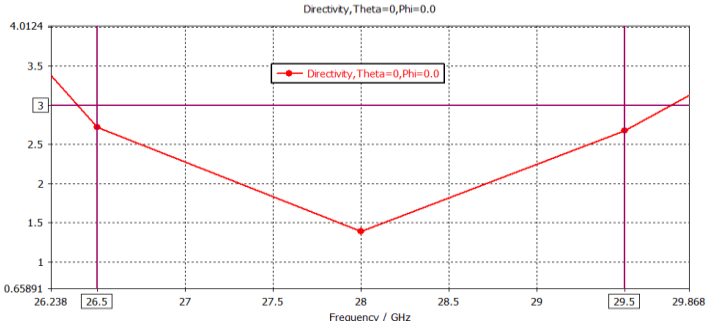



Figura 12: Relación axial del elemento simple.

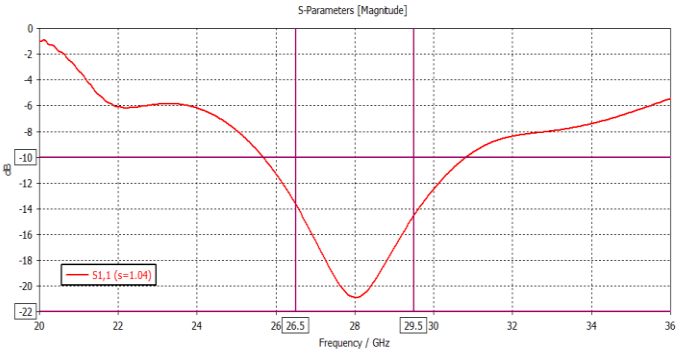
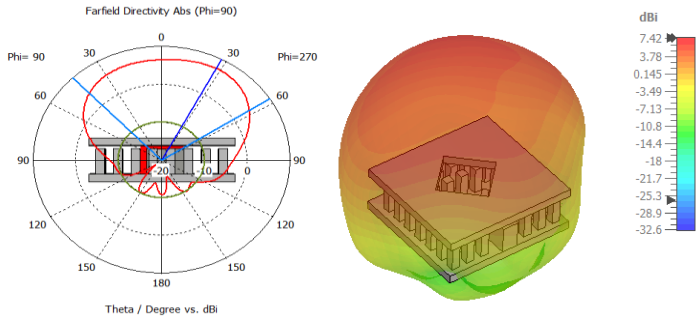



Figura 13: Coeficiente de reflexión del elemento simple.

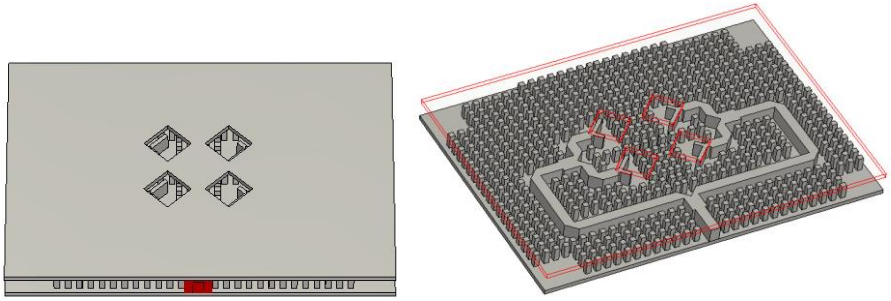



a) b)

Figura 14: Patrón de radiación del elemento simple: a) Coordenadas polares, b) 3D y ganancia.

## 5. DISEÑO DEL ARREGLO DE ANTENAS DE 2X2

El arreglo de antenas de 2X2 y su estructura interna se muestran en la Figura 15. En el divisor de potencia de cuatro vías, que se diseña utilizando una unión en T, cada vía termina en un diseño idéntico al del elemento simple. La parte derecha es $\lambda/2$ más larga que la izquierda, para resolver la diferencia de fase de $180^0$ entre el lado derecho y el lado izquierdo.



a) b)

Figura 15: Estructura del arreglo de antenas: a) Arreglo de antenas de 2X2, b) Estructura interna.

En las Figuras 16 y 17 se observa el coeficiente de reflexión y la relación axial respectivamente. Se aprecia un ancho de banda común del 100% de la banda de 28 GHz para; la operación y polarización circular.

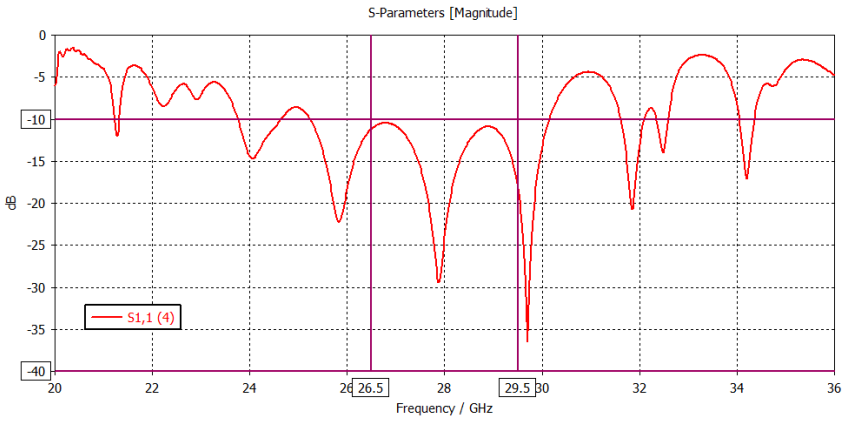



Figura 16: Ancho de banda de parámetros S del arreglo de antenas de 2X2.

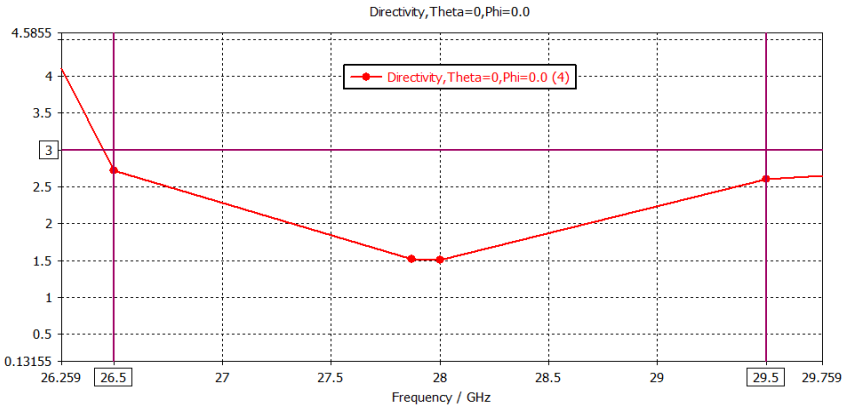



Figura 17: Ancho de banda de relación axial del arreglo de antenas de 2X2.

El patrón de radiación en 3D se muestra en la Figura 18 y los patrones de radiación en 2D se muestran en las Figuras 19 y 20. Un lóbulo principal bien definido, representa una mejora en la directividad con respecto a la obtenida para el elemento simple. Se consigue una ganancia de 12.7 dBi y la polarización circular se logra debido a la distribución del campo eléctrico en cuadratura de los brazos ortogonales, en cada elemento simple.

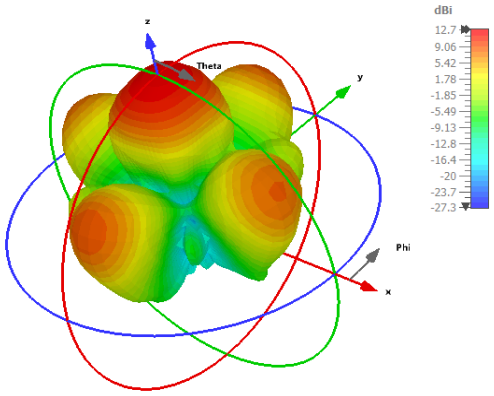



Figura 18: Patrón de radiación del arreglo de antenas de 2X2 en 3D.

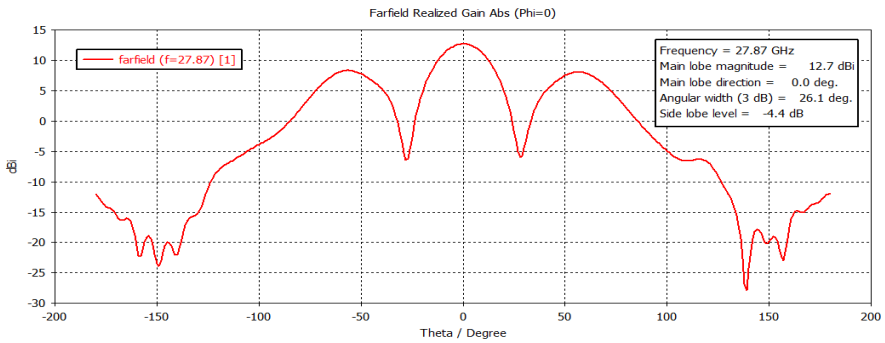



Figura 19: Patrón de radiación del arreglo de antenas de 2X2 en 2D (Phi=0).

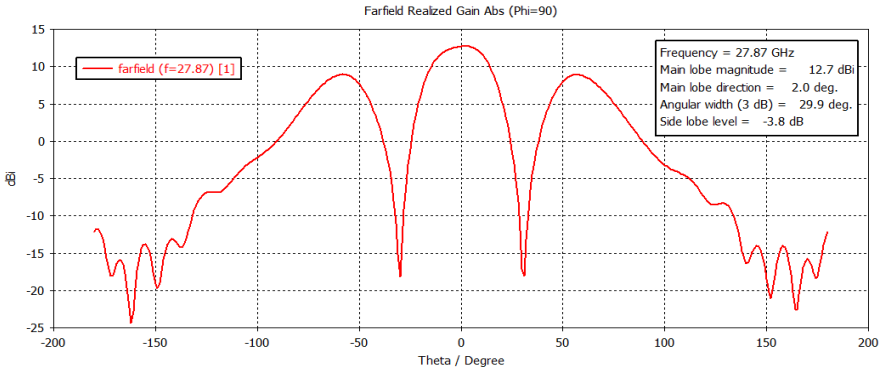



Figura 20: Patrón de radiación del arreglo de antenas de 2X2 en 2D (Phi=90).

Finalmente, en la Tabla 1 se resumen los valores de los parámetros de diseño del arreglo.

Tabla 1: Parámetros de diseño.

| Parámetro | Descripción | Valor (mm) | Parámetro | Descripción | Valor (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| g | Espacio de aire (gap) | 0.4 | sr | Separación entre ranuras | 2.43 |
| ph | Altura del pin | 3.25 | la | Largo brazo izquierdo | 4 |
| a | Ancho del pin | 1 | ra | Largo brazo derecho | 1.5 |
| p | Período entre pines | 2.0 | aw | Ancho de los brazos | 0.77 |
| rh | Altura del nivel | 3.25 | ah | Altura de los brazos | 3.25 |
| rw | Ancho del nivel | 1.05 | s | Separación entre los brazos ortogonales del sistema de alimentación y la ranura | 1.04 |
| gs | Ancho del Groove | 5 | pl | Largo de las placas | 69.08 |
| bl | Largo de la ranura | 6 | pw | Ancho de las placas | 50.35 |
| ro | Ángulo de rotación de la ranura | $45^0$ | ph | Altura de las placas | 1 |

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un arreglo de antenas basado en la tecnología GW para comunicaciones satelitales en la banda de 28 GHz. Con esta investigación se busca mostrar, a través de los resultados, el estudio y la validación de la tecnología RGW como una opción viable para el diseño de antenas. La estructura simple se compone por una ranura cuadrada rotada $45^0$ que se excita mediante una línea RGW terminada en una L rotada $45^0$. Esta estructura presenta una ganancia de 7.42 dBi y ancho de banda de polarización circular del 100%. Con el fin de elevar la ganancia obtenida con el elemento simple manteniendo el ancho de banda de polarización circular, se diseña un arreglo de 2 × 2 que aumenta la ganancia de la antena en 5.28 dB, siendo el valor final de 12.7 dBi. A través de la utilización de esta técnica se logran disminuir las pérdidas que presentan las líneas de microcinta y las guías de onda con sustrato integrado y se obtiene un recurso que integrado con los sistemas de comunicaciones actuales solucionaría problemas que hoy no están resueltos dentro de las comunicaciones inalámbricas.

**REFERENCIAS**

1. GONZÁLEZ GUERRERO, Juan Antonio. "Antena de alta ganancia con red de alimentación en Ridge Gap Waveguide para comunicaciones móviles 5G de muy alta velocidad a 38 GHz". Director: José Luis Masa Campos. Tesis de master, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.
2. FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Sara. "Estudio de redes en guía de onda tipo gap basadas en estructuras con taladros simétricos deslizados (Glide-Symmetric) y su aplicación a dispositivos 5G a 26 GHz Director: José Luis Masa Campos. Tesis de fin de grado, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.
3. GÁLVEZ HUERTAS, Raquel. "Diseño de filtros en tecnología Gap Waveguide para aplicaciones en la banda de Ondas Milimétricas". Director: Vicente Enrique Boria Esbert. Tesis de fin de grado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2022.
4. MAYOR, Bryan. "Antena monopulso en banda Ka con tecnología Gap Waveguide". Director: Miguel Ferrando Rocher; Stephan Marini. Tesis de fin de grado, Universidad de Alicante, Alicante, 2021.
5. TORRES GUAITA, Ignacio. "Elementos Radiantes para Antenas desarrolladas en Tecnología Gap Waveguide". Director: Alejandro Valero Nogueira. Tesis de master, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2020.
6. OLLÉ DÍAZ, Daniel. "Diseño de Redes de Alimentación Corporativas de Bajas Pérdidas en Tecnologías Groove Gap Waveguide y Ridge Gap Waveguide para agrupaciones de antenas de doble banda orientadas a aplicaciones SATCOM". Director: Alfonso Tomás Muriel Barrado. Tesis de master, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2020.
7. YULIYANOV KARADALIEV, Denis. "Red de distribución para Agrupación de Antenas Basadas en GAP Waveguide". Director: Iñigo Ederra Urzainqui. Tesis de fin de grado, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2022.
8. MARTÍN TRUEBA, Alejandro Juan. "Red de alimentación en tecnología Gap Waveguide para antena de alta ganancia de un sistema radar embarcado de detección de basura espacial a 94 GHz". Director: José Luis Masa Campos. Tesis de master, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.
9. GRIGORYAN KHNKOYAN, Gor. "Diseño de un filtro en la banda de 20 GHz para un diplexor integrado en una antena para SATCOM". Director: Mariano Baquero Escudero. Tesis de fin de grado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2022.
10. ÁLVAREZ PÉREZ, Alejandro. "Redes de alimentación en tecnología Ridge Gap Waveguide para antenas planas de bajas pérdidas". Director: José Luis Masa Campos. Tesis de fin de grado, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.
11. GIL LUCÍA, Óscar. "Diseño de una antena espiral en banda S para navegación integrada sobre una antena Gap Waveguide en banda Ka para comunicaciones". Director: Adrián Tamayo Domínguez. Tesis de master, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2022.
12. PÉREZ-QUINTANA, Dayan; TORRES-GARCÍA, Alicia; EDERRA, Iñigo; BERUETE, Miguel. "Compact Groove Diamond Antenna in Gap Waveguide Technology with Broadband Circular Polarization at Millimeter Waves". *IEEE Access*. DOI: 10.1109/TAP.2020.2996364.

**Sobre los autores**

**Julián Valdés Santiuste**, Ingeniero en Ciencias Informáticas e Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. ETECSA, se desempeña como Especialista B Ciencias Informáticas en la Dirección de Infraestructura y Microinformática. E-mail: jvaldess233256@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1771-9858. Intereses de investigación incluyen: uso, instalación y configuración sistemas operativos GNU/Linux, programación, identificación de sistemas de comunicación inalámbrica, diseño y simulación de antenas.

**María del Carmen Guerra Martínez**, Ingeniero en Telecomunicaciones, Master en Ciencia, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Habana, Cuba, se desempeña como Profesora, es Asistente, y pertenece al Grupo de Comunicaciones Inalámbricas. E-mail: mariagm@tele.cujae.edu.cu, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1989-4414. Intereses de investigación: identificación de sistemas de comunicación inalámbrica y estudio de las limitaciones para la infraestructura para la 6G, modelación de sistemas físicos MIMO.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DE LA DECORRELACIÓN DE LA EMISIÓN SECUNDARIA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO BIESTÁTICO Y LA DIFERENCIA DE TIEMPO DE ARRIBO DE LAS SEÑALES.

**Dr. C. José A. Rodríguez Rojas[1] Nelson Chávez Ferry[2]. Hugo Rodríguez Rodríguez[3]**
[1]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" [2]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" [3]ITM "José Martí"
[1]e-mail:joserojas280957@gmail.com,[2]e-mail:nelson@tele.cujae.ed.cu, [3]e-mail:

**Resumen.**
El objetivo de este trabajo consiste en determinar el ángulo biestático a partir del cual se puede obtener muestras aleatorias independientes y su grado de correlación en dependencia de la distribución espacial de los puntos receptores y la diferencia de tiempo de arribo cuando se emplea un sistema multiestático a través del análisis y simulación de la correlación de la emisión secundaria en función del ángulo biestático teniendo en cuenta la longitud base entre el transmisor y el receptor y el ángulo entre ellos. Además, se realza un análisis exhaustivo de la función de correlación espacial y temporal de las fluctuaciones de la señal de un blanco de radar en un SRME compuesto por un transmisor y dos receptores. En este trabajo se obtuvo, además, las expresiones aproximadas que permiten determinar el coeficiente de correlación y las condiciones aproximadas de alta y baja correlación espacial y temporal de las fluctuaciones de los ecos de amplitudes complejas a la entrada de los receptores de un Sistema de Radares Multiestático, SMRE.
Palabras claves: Radar biestático, ángulo biestático, sistema de radar multiestático

ANALYSIS OF SECONDARY EMISSION DECORRELATION AS A FUNCTION OF BISTATIC ANGLE AND SIGNAL ARRIVAL TIME DIFFERENCE.

Summary.
The objective of this work is to determine the bistatic angle from which independent random samples can be obtained and their degree of correlation depending on the spatial distribution of the receiver points and the arrival time difference when a multistatic system is used through the analysis and simulation of the correlation of the secondary emission as a function of the bistatic angle taking into account the base length between the transmitter and the receiver and the angle between them. In addition, a comprehensive analysis of the spatial and temporal correlation function of the signal fluctuations of a radar target in a SRME composed of a transmitter and two receivers is performed. In this work, the approximate expressions that allow determining the correlation coefficient and the approximate conditions of high and low spatial and temporal correlation of the fluctuations of the complex amplitude echoes at the input of the receivers of a Multistatic Radar System, SMRE, were also obtained.

Keywords: Bistatic radar, bistatic angle, multistatic radar system.

## 1 INTRODUCCIÓN

Una de las exigencias más relevantes de la Teoría Detección de blancos de radar por análisis y clasificación de la emisión celular DRACEC es la obtención de muestras aleatorias independientes de gran tamaño para poder desarrollar el método de detección en el espacio de los momentos a partir de su distribución gaussiana o normal de estos, exigencia difícil de realizar dado el tiempo sumamente grande para su obtención y procesamiento por lo que es necesario a través de sistemas de radares multiestático y esto solo es posible si se logra determinar el ángulo biestático a partir del cual se puede obtener muestras aleatorias independientes.[1][2][3][4]

## 2 Marco Teórico

### 2.1Determinación de la zona de alta y baja correlación de la Emisión Secundaria en Función del Ángulo Biestático.

La correlación desigual a cero entre estaciones es posible solo cuando el ángulo entre las estaciones receptoras y el blanco es pequeño mientras que la correlación temporal desigual a cero puede ser

mantenida durante un breve intervalo de tiempo. Cada centro de dispersión se caracteriza por el radio vector $\rho_i$ y el vector de velocidad $v_i$ , y por amplitud compleja $b_i$.**[5]**

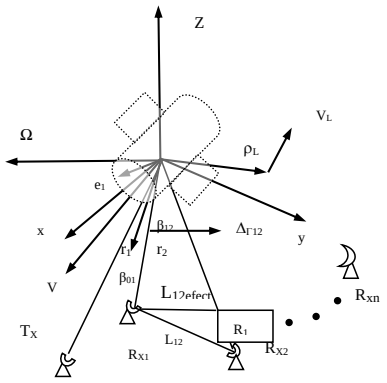



**Figura 1 Análisis de la correlación espacio temporal de los ecos de un blanco en rotación**

Sea en el sistema multiestático SMRE Fig. 1 compuesto por un transmisor $T_x$ y dos receptores $R_{x1}$ y $R_{x2}$ en la misma ro, ri, r2 vectores unitarios y $R_0$, $R_1$, $R_2$ las distancias hasta las estaciones receptoras. La señal iluminadora será un par de pulsos con intervalo To, además se considera que diferentes centros dispersores, CDs no serán resueltos por coordenadas angulares y de distancia.

Cherniak en [5] hace un análisis exhaustivo de la función de correlación espacial y temporal de las fluctuaciones de la señal de un blanco de radar en un sistema multiestático. En este trabajo se obtuvo, además, las expresiones aproximadas que permiten determinar no solo la matriz de covarianza, sino también, el coeficiente de correlación y las condiciones aproximadas de alta y baja correlación espacial y temporal de las fluctuaciones de los ecos de amplitudes complejas, a la entrada de los receptores de este sistema y determina que la región del lóbulo principal de la función de correlación obtenida se caracteriza por pequeñas longitudes de base entre las estaciones y por pequeños ángulos de rotación del blanco que pueden expresarse como:

$$\beta_{12} \approx L_{12ef}/R_1 << 1 \; ; \; \Omega T_0 << 1 \qquad (1)$$

Comentado [D1]:

donde:

$T_0$- intervalo de tiempo de observación.

$\Omega$- velocidad angular de giro del blanco alrededor de su centro de masa.

$L_{12efect}$- longitud base efectiva entre dos estaciones receptoras.

$R_1$- Distancia de la estación hasta el blanco en el instante inicial de tiempo.

$\beta_{12}$- ángulo entre la dirección del blanco y las estaciones receptoras.

Dado que, en la realidad, el número y la ubicación de los centros dispersores, las fases y amplitudes de las señales dispersadas son desconocidas a priori, el empleo directo de las relaciones obtenidas en [4] es raramente posible. Sin embargo, en muchos casos es suficiente estimar las fronteras de las regiones de alta y baja fluctuación de la correlación. Como elemento para establecer esta frontera sirve el módulo del coeficiente de correlación y su argumento.

Las ecuaciones aproximadas para los módulos y fase de los coeficientes de correlación espacial $R_{12}$ y temporal $R_{kk}$ descritas y argumentadas en [4] corresponden con las expresiones:

$$|R_{12}| \approx |R_{21}| \approx 1 - (\pi^2 k_{12}^2 l_{12}^2/6\lambda^2)(L_{12ef}^2/R_1^2) \qquad (2)$$

$$|R_{kk}| \approx 1 - (2\pi^2 k_{kk}^2 l_{kk}^2/3\lambda^2)\, cos^2(\beta_{0k}/2)\, sin^2\, \varepsilon_{kb}\, \Omega^2 T_0^2 \qquad (3)$$

donde:

$k_{11}, k_{12}$- coeficientes que determinan la diferencia entre la distribución actual de los CDs en el blanco y la distribución uniforme.

$l_{12}$- dimensiones del blanco a lo largo del vector unitario $\Delta r_{12}$.

| $\Delta r_{12}$- vector unitario dirigido desde $r_1$ a $r_2$ perpendiculares a la bisectriz de$\delta\tau \approx \frac{1}{\Delta f}\beta_{12}$

$\beta_{0k}$ - ángulo biestático entre los vectores unitarios$r_0$ y $r_k$.

$\varepsilon_{kb}$- ángulos entre el vector unitario$r_k$dirigido a la k-enésima estación y $\Omega$.

Las condiciones aproximadas de alta y baja correlación espacial y temporal son definidas en [4] y se describen a continuación:

Regiones de alta correlación:

$(L_{12ef}/R_1) \leq (0.14 - 0.24)\lambda/l_{12}$; para dos estaciones receptoras.

$(L_{12ef}/R_1) \leq (0.07 - 0.12)\lambda/l_{12}$; para dos radares monoestáticos.

$$\Omega \, sin \, \varepsilon_{kb} \, T_0 \leq 0.07 = 0.12\lambda/k_{kk} l_k \, cos(\beta_{0k}/2); \;\; (k = 1{,}2) \quad (4)$$

Con estos criterios se expresa la máxima separación admisible entre estaciones y el ángulo de rotación del blanco durante el intervalo de tiempo $T_0$, para coeficientes de correlación dados por $|R_{12}| \geq 0.95$ y $|R_{kk}| \geq 0.95$ ;$(k = 1{,}2)$.

De este modo, para mantener una alta correlación espacial de las fluctuaciones de los ecos en un SRME, el ángulo entre las direcciones desde un blanco hacia las estaciones receptoras $(L_{12ef}/R_1)$ podría no exceder unapequeña fracción (0.14-0.24) del ancho promedio del lóbulo patrón dispersión del blanco. Este ancho promedio está determinado por la dimensión de blanco a lo largo de la dirección de la línea base efectiva.

Para mantener una alta correlación temporal de las fluctuaciones de los ecos en cada estación, el ángulo de la rotación del blanco alrededor del eje perpendicular al plano biestático (que pasa a través de la estación transmisora y la receptora) durante un intervalo de tiempo $T_0$ considerado no podrá exceder una pequeña fracción (0.07-0.12) del ancho promedio del lóbulo patrón de dispersión del blanco, el cual en este caso, está determinado por la dimensiones del blanco a lo largo de dirección perpendicular a ambos ejes de rotación y la bisectriz del ángulo $\beta_{01}$.

Cuando el coeficiente de correlación de las amplitudes reales no excede (0.20-0.25), estas fluctuaciones pueden ser consideradas prácticamente como decorrelacionadas. En este caso, el módulo del coeficiente de correlación de las amplitudes complejas no es más que (0.45-0.50).

Regiones de baja correlación:

$$(L_{12ef}/R_1) \geq min[\,0.8\lambda/l_{12}; 3\lambda/\Delta\theta_y l_z; 3\lambda/\Delta\theta_z l_y]$$
$$(L_{12ef}/R_1) \geq min[\,0.4\lambda/l_{12}; 1.5\lambda/\Delta\theta_y l_z; 1.5\lambda/\Delta\theta_z l_y] \quad (5)$$

donde:

$l_{12}, l_z, l_y$– dimensiones del blanco a lo largo del vector unitario perpendicular a la bisectriz del ángulo biestático $\beta_{12}$ y a lo largo del eje $z$ y del eje $y$.

$\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z$ -rangos de incertidumbre del aspecto inicial del blanco con respecto a la rotación alrededor de los ejes x, y, z respectivamente.

La primera desigualdad relaciona el caso de una pareja de dos estaciones receptoras, mientras que, la segunda desigualdad relaciona el caso de una pareja de radares monoestáticos con independiente recepción de la señal, trabajando en una misma frecuencia. La condición de baja correlación espacial requiere que el ángulo entre las direcciones desde el blanco hacia cada pareja de estaciones receptoras debe ser no menor que 0.8 del ancho promedio del lóbulo patrón de dispersión del blanco, determinado por la dimensión $l_{12}$. En el caso de una pareja de radares monoestáticos 0.4 sería sustituida por 0.8.

Como el interés del análisis se enmarca en la región del lóbulo principal de la función de correlación, entonces, a partir de las aproximaciones presentadas en (5) y en [5] por Cherniak se puede expresar que:

$$2sen\left(\frac{\beta_{12}}{2}\right) \approx \frac{L_{12efect}}{R_1} \quad (6)$$

Sustituyendo el término izquierdo de (6) por su equivalente en (4) se obtiene la siguiente desigualdad:

$$2sen\left(\frac{\beta_{12}}{2}\right) \leq (0.14 \div 0.24)\frac{\lambda}{l_{12}} \quad (7)$$

Despejando $\beta_{12}$ se obtiene el ángulo biestático por debajo del cual se trabajará en la región de alta correlación:

$$\beta_{12} \leq 2arcsen(0.07 \div 0.112)\frac{\lambda}{l_{12}} \quad (8)$$

Para el caso cuando $l_{12} = \lambda$, $\beta_{12} \leq (8.02 \div 13.7)$

Por otra parte, se conoce de (6) que la correlación espacial decrece con el incremento de las relaciones de la longitud de base efectiva sobre la distancia del blanco, $R_1$ y de las dimensiones del blanco sobre la longitud de onda. Entonces a través de similar razonamiento se puede establecer el ángulo a partir del cual, las fluctuaciones de las amplitudes complejas de las señales a la entrada de las estaciones receptoras se encuentran en la región de baja correlación.

$$2sen\left(\frac{\beta_{12}}{2}\right) > 0.8\frac{\lambda}{l_{12}} \quad (9)$$

Despejando $\beta_{12}$ en (9) se obtiene el ángulo biestático a partir del cual se trabajará en la región de baja correlación:

$$\beta_{12} > 2arcsen\left(0.4\frac{\lambda}{l_{12}}\right) \quad (10)$$

Para el caso cuando $l_{12} = \lambda$, $\beta_{12} = 47.1^0$

Si se despeja $\beta_{12}$ a partir de la ecuación (6) se obtiene la expresión para demostrar la validez de los razonamientos anteriores.

$$\beta_{12} = 2arcsen\left(\frac{L_{12efect}}{2R_1}\right) \quad (11)$$

**2.2Análisis de la Decorrelación de la Emisión Secundaria en función del Ángulo Biestático y la diferencia de tiempo de arribo de las señales.**

Si se tiene en cuenta que, la diferencia de fase entre las señales que arriban a los puntos receptores se expresa como:

$$\Delta\phi = \omega\delta\tau \quad (12)$$

Entonces, la diferencia de camino se puede establecer en función de la diferencia de tiempo de arribo de las señales ($\delta\tau$) a la entrada de las estaciones receptoras y se expresa como: $\delta_R = \delta\tau C$, por lo que:

$$\boldsymbol{\Delta\phi = 2\pi f\frac{\delta_R}{C}} \quad (13)$$

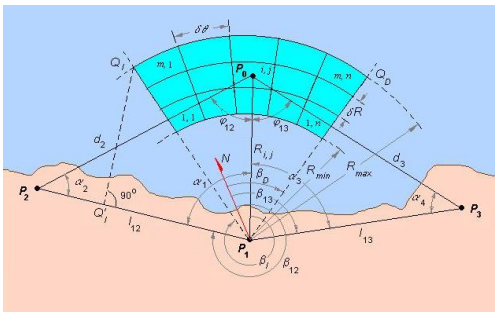



Figura 2 Ángulo Biestático en función de la diferencia de tiempo de arribo de las señales.

Como se observa de la geometría del problema Fig. 2 se conoce que:

$$\beta_{12} = arcsen\left(\frac{l_{12}sen\alpha_1}{d_2}\right) \quad (14)$$

Si $d_2$ se expresa como R-$\delta_R$ y además también, como una función de la diferencia de tiempo de arribo de las señales a la entrada de las estaciones receptoras ($\delta_R = \delta\tau C$) [2], entonces, sustituyéndola en (1)se obtiene la expresión que relaciona el ángulo biestático con la diferencia de tiempo de arribo de las señales $\delta_t$

$$\beta_{12} = arcsen\frac{l_{12}sen\alpha}{R-\delta_t C} \quad (15)$$

Donde:

$\delta_\tau$- diferencia de tiempo de arribo expresado como $\delta_t = \frac{(R\ -d_2)}{c}$.

En [1] expone que, el ancho de la envolvente del lóbulo principal de la función de correlación mutua de las señales recibidas puede ser expresado en términos de diferencia de tiempo de arribo, más conocido por sus siglas en inglés TDOA ($\delta\tau \approx \frac{1}{\Delta f}$), así como también, en términos de diferencia de camino $\delta_R = \frac{c}{\Delta f}$. Además, si se plantea que, a la región del lóbulo principal a las funciones de correlación le corresponde pequeñas longitudes de base entre las estaciones y pequeños ángulos de rotación del blanco [4,35]. Entonces, para las condiciones anteriores es válido establecer para las regiones de alta y baja correlación la comparación entre los resultados obtenidos en (8) y (10), los cuales son comparables con los obtenidos en la expresión (2), a partir de que$\delta\tau \approx \frac{1}{\Delta f}$.

Si los valores de $Lefect = l_{12}sen\alpha_1$según geometría del problema,$R_1$y $\delta\tau \approx \frac{1}{\Delta f}$ se sustituyen en (15) se tiene una nueva expresión:

$$\beta_{12} = arcsen\frac{Lefect}{R_1-\frac{1}{\Delta f}C} \quad (16)$$

Por ejemplo, para Δf = 700khz, entonces, los valores obtenidos β=9.57$^0$ yβ=56,7$^0$, son comparables con los obtenidos en el ejemplo de la expresión (1) y se encuentran dentro del rango establecido en (8) y (10) para las regiones de alta y baja correlación respectivamente.

Como se aprecia de (15), si se sustituye $\delta_t = \frac{(R\ -d_2)}{c}$ se llega nuevamente a la expresión (14), lo que confirma su correspondencia con la geometría del problema. Por otra parte, con la expresión (16) se determina la relación del ángulo biestático con respecto a la TODAy se establece el ángulo biestático a partir del cual se obtiene muestras decorrelacionadas en cada una de las células resolutivas del sector de exploración si se conoce el valor de $\alpha_1$.

De la geometría del problema Fig. 2 del triángulo biestático $P_1P_0P_2$ se puede expresar:

$$\alpha_1 = \begin{cases} 360^0 + \beta_{10} - \beta_{12}, & \beta_{10} < \beta_{12} \\ \beta_{10} - \beta_{12}, & \beta_{10} > \beta_{12} \end{cases} \quad (17)$$

El parámetro $\beta_{10i}$ se conoce y se ubica dentro los límites del sector de exploración, se calcula a través de $\beta_{10i} = \beta_{10l} + (j-1)\delta\beta$, igualmente, la distancia hasta un anillo en un sector *j* dado, se determina por la expresión:$R_{1j} = R(i-1)_{1min}$

Con estas expresiones se determina el valor de $d_2^2 = R_{ij} + l_{12}^2 - 2l_{12}R_{ij}\cos\alpha_1$, que a su vez se expresa como, $d_2 = R - \delta tC$ por lo que en (8) y (10) se establece el ángulo biestático crítico calculado en la expresión (6)a partir del cual se alcanza la zona de baja correlación y su correspondencia con la TDOA.

**2.3 Análisis del tiempo de obtención y procesamiento de muestras aleatorias independientes.**

Como se explica en [2], [3], [4], [6], dentro de las exigencias en la utilización del método DRACEC, están emplear muestras *M* de gran tamaño de los parámetros de las señales reflejadas o emitidas directamente por los elementos que integran cada una de las células resolutivas de la región explorada, y las mismas no sean correlacionadas, con el objetivo de permitir el control de la probabilidad de detección y obtener un vector de clasificación o de rasgos. Ello impone en la utilización de los radares monoestático todo un reto.

Como es sabido, la muestra aleatoria se toma de gran tamaño, de forma tal que los momentos estadísticos seleccionados, que a su vez son variables aleatorias, tengan una varianza pequeña, tan pequeña como sea posible. De esta forma se garantizará una probabilidad de detección elevada, tanto mayor cuanto mayor sea *M*, como se demuestra a continuación. Tomemos de ejemplo un radar monoestático, cuya frecuencia de repetición sea de 1500 Hz y ancho del patrón de irradiación, asumiendo que la antena esta fija, iluminando de forma continua una célula resolutiva. Como se puede observar en la Fig. 3.

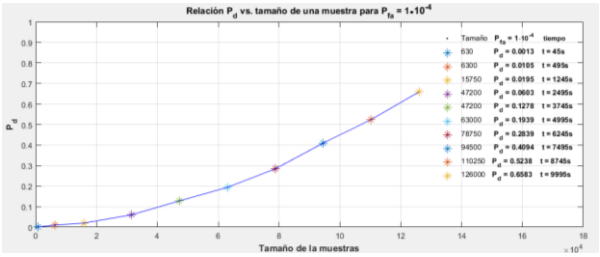



Figura 3 Relación Probabilidad de detección contra tamaño de una muestra.

Al calcular los momentos estadísticos de primer orden (media) y de segundo orden (correlación), a medida que aumenta el tamaño de la muestra la probabilidad de detección mejora, pero también aumenta el tiempo para la obtención de una muestra. Si tenemos en cuenta que para la toma de decisión se debe tomar un numero grande de *M*, por ejemplo, un 10 mil para una $P_{fa}$ de $10^{-4}$, de este análisis y desprende la importancia que tiene el análisis de la decorrelación para obtener muestras aleatorias independientes en SRME que permiten disminuir el tiempo de cálculo y obtención de los momentos estadísticos.

**3. Análisis simulación y discusión**

3.1 Análisis, simulación y discusión de la Decorrelación de la Emisión Secundaria en función del Ángulo Biestático y la diferencia de tiempo de arribo de las señales.

La matriz de ángulos biestáticos,Fig.4 cuyos valores se obtienen a partir de la sustitución de δτen (15) por la expresión $t_{ri} = \frac{R_1+R_2}{c}$ , es decir por$t_{ri} = -\frac{b_{12}}{c}\frac{sen\left(\frac{\sum\beta}{2}-\beta_{21}\right)}{sen\frac{\Delta\beta}{2}}$que no es más que el tiempo de arribo de la señal dispersada del blanco que coincide con el tiempo de muestreo para obtener las muestras aleatorias de gran tamaño en cada celda resolutiva del sector de exploración que se traduce en la matriz de ángulos biestático en función de la diferencia de tiempo de arribo y de la longitud base o longitud efectiva del radar.**[1][6].** En esta figura se muestran las simulaciones a partir de la posición real de un sistema multiestático, donde se aprecia, que para distancias de detección superiores a 6Km e inferiores a los 4Km los ángulos biestático están por encima y por debajo del ángulo crítico para la zona de alta y baja correlación respectivamente según los datos obtenidos




a) b)

Figura 4 Matriz de ángulos biestáticos de a) alta y b) baja correlación

El algoritmo de la matriz de ángulos biestáticosse muestra en la Fig.5

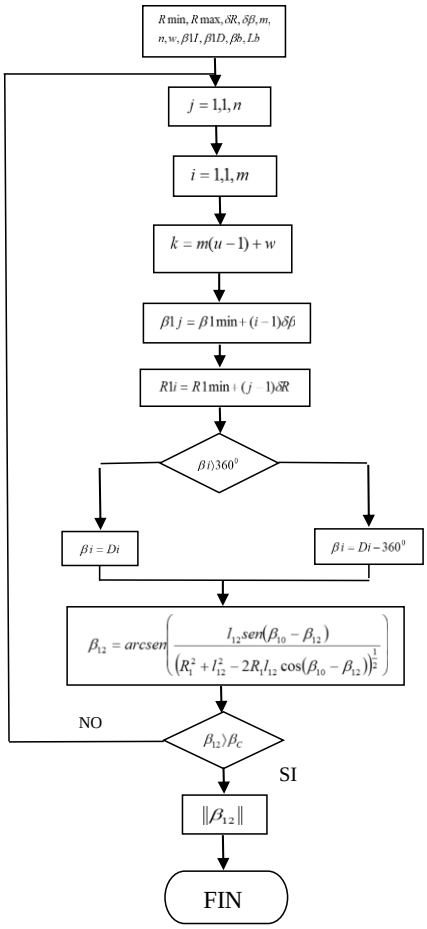



Fig.5 Algoritmo de la matriz de ángulos biestáticos

**3.2 Simulación de las zonas de alta y baja correlación de la Emisión Secundaria en Función del Ángulo Biestático.**

La simulación de las zonas de alta y baja correlación de la Emisión Secundaria en Función del Ángulo Biestático se pueden determinar mediante el algoritmo de la Fig.6

Sea $L_{efect} = 2000m$,$R_1 = 10000\ m$, entonces resolviendo según la expresión (11) se obtiene que $\beta_{12} = 11.4^0$, valor que está en el rango establecido de (8) para la región de alta correlación, que corresponde con un coeficiente de correlación de $K_{12} = 0.96$. Por otra parte, si $L_{efect} = 8000m$, $R_1 = 10000\ m$, se

obtiene que$\beta_{12} = 47.1^0$, valor que está en el rango establecido de (10) para la región de alta correlación, el cual se corresponde con el coeficiente de correlación $K_{12} = 0.15$.

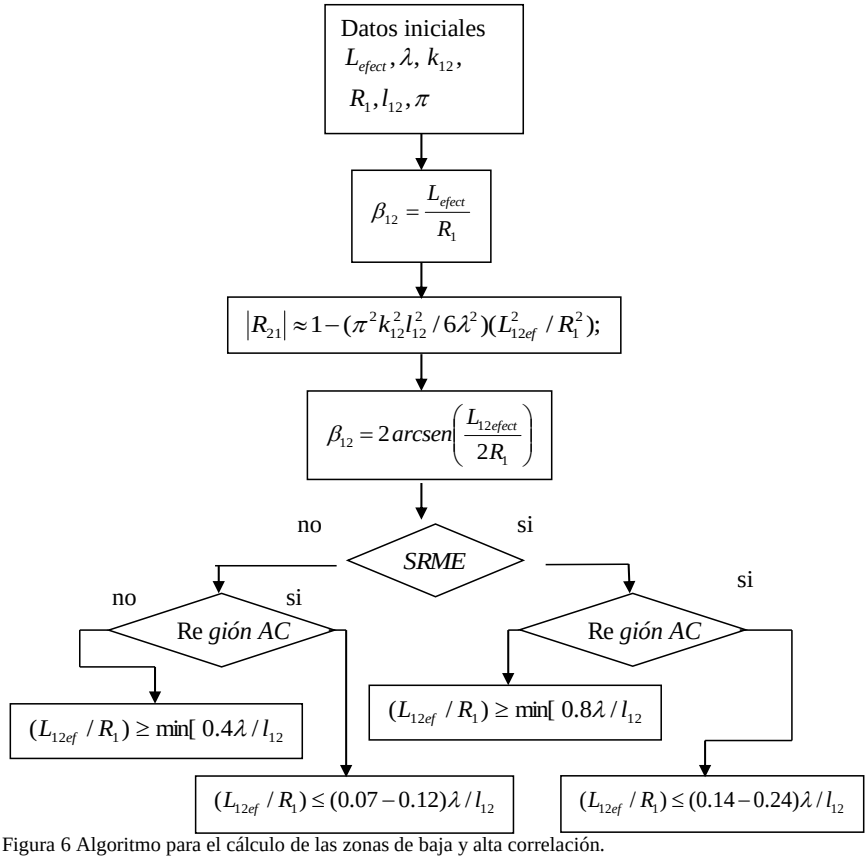



Figura 6 Algoritmo para el cálculo de las zonas de baja y alta correlación.

El Panel frontal que implementa los ángulos biestático que determinan las zonas de baja y alta decorrelación. se muestra e n la Fig.7



Figura 7. Panel frontal para los ángulos biestático que determinan las zonas de baja y alta decorrelación.

## CONCLUSIONES

Durante la investigación se determino las zonas de baja y alta correlación **la Emisión Secundaria en Función del Ángulo Biestático**, así como sus respectivas matrices las cuales dependerán de la matriz de los ángulos de arribos, y de la distancia entre las estaciones receptoras, además el ángulo biestático a partir del cual se obtendrán muestras aleatorias decorrelacionadas, además se obtuvo la relación de las probabilidades de detección contra tamaño de una muestra.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

1 Rodríguez Rojas J.A. Método de Obtención de Muestras Aleatorias de Gran Tamaño de los ecos de Radar con el Empleo de un Sistema Multiestático Centralizad Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias, ITM José Martí Ciudad de la Habana 2011.
2 Chávez Ferry Nelson, Guillen Soriano Camilo Detección por radar en el espacio de los Momentos de los parámetros de la señal dispersada Digital Processing 83, 359-366. 2019
3 Formación de la muestra aleatoria y cálculo de los momentos estadísticos para un detector DRACEC Tesis en opción del título de Master en Ciencias, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverria La Habana Cuba 2018[6]
4 Guillen Soriano Camilo, Chávez Ferry Nelson Decision Rules for Radar Detection in the Moment Space with Arbitrary Correlation Degree and Constant False Alarm Rate, Progress in Artificial Intelligence and Pattern Recongnition;7th International Workshop on Artificial Intelligence and Pattern Recognition IWAIPR 2021, Havana Cuba October 5-2021
5 Cherniak V.S. Fundaments 0f Multisite Radar System, Gordon and Breach Science Publishers, 1998.
7 Guillen Soriano Camilo, Chávez Ferry Nelson, Giorgia Rodriguez Detection of Sampling Interval and size of ramdon sample for radar detection in the moment space periodical Polytechnical Engineering and Computer Science 65(4) 302-309, 2021
8 Guillen Camilo and all Simple communication interface for radar detector in the moment space. Int, J, Eng Technol. In nov 9(4), 314-325, 2018
9 Guillen Soriano Camilo, Chávez Ferry Nelson, Bacallao Jesus Radar Detection in the Space of momento with constant false Alarm Rate Digital Signal Processing 114 103080, 2021

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Fusión de Muestras de Gran Tamaño de los Ecos de un Sistema de Radar Biestático

**Dr. C. José A. Rodríguez Rojas[1] Dr. C. Nelson Chávez Ferry[2], Alejandra Aparicio Mariño [3]**
[1]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[2]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[3] Empresa de Telecomunicaciones, ETECSA
[1]e-mail:joserojas280957@gmail.com,[2]e-mail:nelson@tele.cujae.ed.cu,
[3]e-mail: aleaparicio1115@gmail.com

Resumen
El presente trabajo es la cuarta parte (continuación) del expuesto en CITEL 2006, 2008 y 2010. En el mismo se plantea una solución al problema de la formación asociación y fusión de muestras aleatorias de gran tamaño con los ecos procedentes de la región de la superficie de la mar explorada por un sistema de radar biestático. Tomando como referencia el pulso de disparo, los tiempos de llegada de los ecos procedentes de las células en que han sido divididas la región que se explora que dependen de las coordenadas de estas células, así como las coordenadas de los puntos receptores del sistema multiestático. En el trabajo se expone el análisis que conduce a la obtención de los instantes de tiempo en que debe ser muestreada la señal a la entrada de cada punto receptor, que conlleva a la matriz de asociación, a partir de un protocolo de comunicación. Este resultado se estructura en forma de matriz, denominada de asociación, la cual constituye una imagen de la matriz espacial en la que se agrupan las células de la región explorada y sirve de base para la fusión de las muestras a nivel celular de cada uno de los puntos receptores.

*Key Words*—Sistema de Radares Multiestáticos, sincronismo

## FUSION OF LARGE ECHO SAMPLES FROM A BISTATIC RADAR SYSTEM

Abstract
This paper is the fourth part (continuation) of the work presented at CITEL 2006, 2008 and 2010. It proposes a solution to the problem of formation, association and fusion of large random samples with echoes from the sea surface region scanned by a bistatic radar system. Taking as a reference the trigger pulse, the arrival times of the echoes coming from the cells into which the region being scanned has been divided depend on the coordinates of these cells, as well as the coordinates of the receiving points of the multistatic system. The analysis that leads to obtain the time instants in which the signal must be sampled at the input of each receiver point, which leads to the association matrix, from a communication protocol, is presented in the work. This result is structured in the form of a matrix, called association matrix, which constitutes an image of the spatial matrix in which the cells of the scanned region are grouped and serves as a basis for the fusion of the samples at the cellular level of each of the receiver points.

Key Words-Multistatic Radar System, synchronism

## 1. INTRODUCCIÓN

Al adoptarse una estructura multiestática es necesario desarrollar un sincronismo en el sistema que permita acumular la energía de los blancos captada por los sensores dispersos en distintas direcciones, ya sea mediante procesamientos coherentes o no coherentes [1], [2], [3], [4], [5], [6].

En un sistema con múltiples sensores en la recepción, distribuidos espacialmente de forma irregular, la diferencia de tiempo de arribo de las señales desde un objetivo varía para cada sensor según la variación espacial del objetivo. Esto es una gran dificultad a resolver en el sistema de sincronismo para realizar la fusión de los datos en el centro de procesamiento en toda la región de observación; el problema se hace aún más complejo, cuando se emplea la teoría DRACEC [7], [8], debido a que, en la misma, la diferencia de tiempo de arribo de las señales varía también para cada una de las células resolutivas del estrobo de exploración.

## 2. MARCO TEÓRICO

El método de Detección de blancos de Radar por Análisis y Clasificación Estadística de la emisión Celular (DRACEC) constituye una de las propuestas más factibles para determinar esta línea divisoria también conocida como frontera, el mismo opera de manera completamente distinta a los métodos tradicionales. En lugar de basar la decisión sobre la presencia de un blanco en la comparación de la señal procesada con un umbral, DRACEC toma esta decisión en el espacio de los momentos de los parámetros de la señal. Este enfoque se fundamenta en un análisis estadístico que determina la frontera de decisión, permitiendo clasificar cada célula resolutiva de la región explorada como perteneciente a la clase fondo (sin blanco) o a la clase anomalía (con blanco)[1]. Para ello tiene en cuenta determinados aspectos (media, momento de segundo orden, varianza, coeficiente de correlación entre otros) de los parámetros (amplitud, fase, frecuencia, polarización entre otros) de las señales reflejadas o emitidas por el objeto de interés.

Cada célula o elemento de superficie en la región explorada por el radar genera, debido al fenómeno de emisión secundaria, un campo electromagnético a la entrada de la antena, que puede considerarse como la respuesta de esa célula. A través de un análisis estadístico de esta respuesta y utilizando muestras grandes de su amplitud, se obtiene un vector de clasificación o patrón. Las componentes de este vector, que son algunos de los momentos estadísticos de dicho parámetro, permiten clasificar la señal y asignar la célula resolutiva correspondiente a la clase fondo o a la clase anomalía[7]. Es necesario considerar las muestras de gran tamaño ya que, según el Teorema del Límite Central, cuando el tamaño de la muestra es suficientemente grande, la distribución de la media muestral tiende a ser normal, independientemente de la distribución original de los datos. Esto facilita el análisis y la interpretación de los resultados, ya que permite aplicar técnicas estadísticas paramétricas que son más robustas y precisas[8] . Además, las muestras grandes permiten obtener estimaciones más precisas de los momentos estadísticos de la señal. Esto es crucial para definir correctamente el vector de clasificación y, por ende, para la correcta asignación a la clase correspondiente. Reducen la variabilidad en las estimaciones de los parámetros estadísticos. Esto mejora la fiabilidad del análisis y la robustez del método frente a fluctuaciones aleatorias en los datos. Al tener más datos, se pueden detectar patrones y anomalías con mayor eficacia. Esto es especialmente importante en aplicaciones de radar, donde la detección precisa de blancos es fundamental para el rendimiento del sistema. De forma general considerar las muestras de gran tamaño permite optimizar mejor el umbral de decisión, lo que permite una clasificación más precisa entre las clases de fondo y anomalía [9] [10] [11].

Además de ser grandes, las muestras deben ser aleatorias. La aleatoriedad en la selección de las muestras garantiza que cada elemento de la población tenga la misma probabilidad de ser incluido en la muestra. Esto es crucial para evitar sesgos y asegurar que la muestra sea verdaderamente representativa de la población. La aleatoriedad también contribuye a la independencia de las observaciones, lo cual es un supuesto clave en muchos métodos estadísticos .

Una de las ventajas del método DRACEC es que es paramétrico, ya que los momentos siguen una distribución gaussiana, sin importar la distribución de la amplitud de la señal. Esto facilita considerablemente el problema de la indeterminación inicial, limitándolo únicamente al desconocimiento de la media y la varianza de la distribución gaussiana de los momentos para ambas clases. Una vez conocidas la media y la varianza, se puede asumir que los momentos siguen una distribución gaussiana, lo que simplifica notablemente el análisis estadístico. Sin embargo, la ventaja sólo se hará efectiva si las muestras que dieron lugar a los momentos, son estadísticamente independientes. Es decir, constituye una condición necesaria que el grupo de muestras adquiridas sea un conjunto aleatorio, o en términos estadísticos: una muestra aleatoria [12]. La media de una señal es el valor promedio de todas las muestras de amplitud de la señal procesada. En el contexto de DRACEC, la media se utiliza para determinar el comportamiento típico de la señal en ausencia de blancos (ruido) y en presencia de blancos (señal + ruido). En otro ámbito, la varianza mide la dispersión de las muestras de amplitud alrededor de la media. Es un indicador de la variabilidad de la señal. En DRACEC, la varianza ayuda a distinguir entre el ruido y la señal + ruido, ya que una mayor varianza puede indicar la presencia de un blanco[9]. Una media alta con una varianza baja indica una señal fuerte y consistente, lo que sugiere la presencia de un objeto. Por otro lado, una alta varianza puede indicar ruido o fluctuaciones en la señal [7] [13].

La media y la varianza también son esenciales para la calibración y el ajuste de los sistemas de radar. Al analizar estos parámetros, los ingenieros pueden ajustar los algoritmos de procesamiento de señales para mejorar la precisión y reducir los falsos positivos. Esto es especialmente importante en entornos complejos donde múltiples objetos pueden generar señales similares.

La importancia de la media y la varianza en el método DRACER también se extiende a la reducción del ruido. En los sistemas de radar, el ruido puede provenir de diversas fuentes, como interferencias electromagnéticas y condiciones atmosféricas. Al analizar la varianza de las señales, los sistemas de radar pueden identificar y filtrar el ruido, mejorando así la claridad y la precisión de las detecciones. Esto es especialmente útil en aplicaciones meteorológicas, donde la precisión es crucial para la predicción del tiempo y la alerta temprana de fenómenos severos. De forma general considerar la media y la varianza al seleccionar las muestras

en el método DRACEC garantiza que las muestras sean representativas y que los análisis estadísticos sean precisos y fiables[1] [12] [14] .
En resumen, el método DRACEC es una herramienta poderosa en la tecnología de radar, que utiliza análisis estadísticos avanzados para mejorar la precisión y la fiabilidad de la detección de objetos. La importancia de conocer la media y la varianza de las señales de radar no puede subestimarse, ya que estos parámetros son fundamentales para distinguir entre señales reales y ruido, calibrar los sistemas de radar, reducir el ruido y mejorar la seguridad y la vigilancia [9] [15].

Cuando la detección de Radar se hace aplicando técnicas como DRACEC que requieren muestras aleatorias de gran tamaño para efectuar la decisión en el espacio de los momentos, el tiempo de formación de las mismas puede ser prohibitivamente grande, cuando el sistema de radar utilizado es del tipo monoestático. Este es el caso de blancos puntuales que se desplazan con velocidades relativamente bajas en el fondo de la superficie marina, de tal forma que el tiempo de permanencia de los mismos en una célula resolutiva es mucho menor que el tiempo permisible para tomar una muestra aleatoria de gran tamaño necesaria para obtener la calidad necesaria de la detección.
Existen varios métodos para obtener muestras aleatorias de gran tamaño, entre ellos está el sobremuestreo de los ecos de un blanco de radar por distancia con posterior procesamiento de los datos que se implementan ya en radares meteorológicos modernizado en Cuba.

El empleo de un sistema multiestático como el propuesto en la Fig. 1 combina las posibilidades del radar activo como las del semiactivo, además conduce a un modelo estadístico del blanco diferente al asumido cuando se toma la muestra en un radar monoestático. El hecho de formar la muestra aleatoria e independiente de gran tamaño a partir de un sistema multiestático permite una distribución normal de los momentos del parámetro seleccionado que en nuestro caso la amplitud y por lo tanto una detección paramétrica.

La medición del tiempo de retardo se hace tomando como referencia, el pulso de disparo del transmisor del radar monoestático del sistema considerado, así, para la célula (i, j) tendremos, refiriéndonos a la Fig.1, que los tiempos de retardo, $t_{r1}^{(i,j)}, t_{r2}^{(i,j)}, t_{r3}^{(i,j)} \ldots t_{rm}^{(i,j)}$ de los ecos procedentes de dicha célula, medidos en los puntos $P_1$, $P_2$, y $P_3$, respectivamente, serán:

$$t_{r1}^{(i,j)} = \frac{2R_{i,j}}{c}$$

$$t_{r2}^{(i,j)} = \frac{R_{i,j} + d_2}{c} = \frac{t_{r1}^{i,j}}{2} + \left[\left(\frac{t_{r1}^{i,j}}{2}\right)^2 + \frac{l_{12}^2 - 2\cos(\beta_{i,j} - \beta_{12})}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$t_{rk}^{(i,j)} = \frac{R_{i,j} + d_k}{c} = \frac{t_{r1}^{i,j}}{2} + \left[\left(\frac{t_{r1}^{i,j}}{2}\right)^2 + \frac{l_{1k}^2 - 2\cos(\beta_{i,j} - \beta_{1k})}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

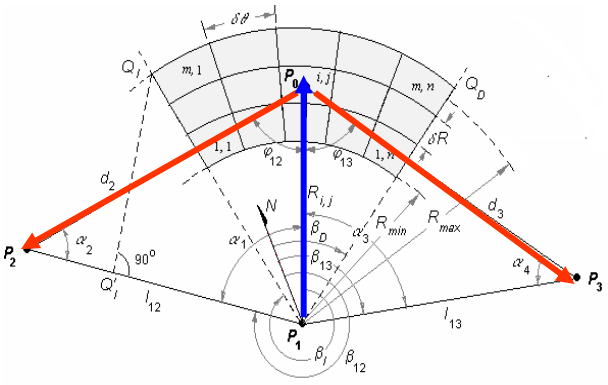



Figura. 1. determinación del tiempo de retardo de los ecos procedentes de la célula *i, j*.

A partir de la geometría de problema planteado en la Fig.1 es necesario sincronizar los instantes de tiempo de adquisición de las muestras de cada una de las células del estrobo de exploración, que más tarde serán fusionadas en un punto centralizador de toda la información [7], [8], [9].

**3. Geometría del problema para el análisis de la matriz de asociación**

El tiempo de retardo de la señal después de ser transmitida hasta llegar al punto receptor $\boldsymbol{P}_2$ desde cualquier célula resolutiva se calcula por la expresión:

$$\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{r}2}^{\boldsymbol{i,j}} = \frac{\boldsymbol{R_{i,j}} + \boldsymbol{d}_2}{\boldsymbol{c}} \tag{1}$$

donde,

$$R_{i,j} = \frac{-l_{12}\,sen(\beta_{20} - \beta_{21})}{sen(\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{2}$$

$$d_2 = \frac{-l_{12}\,sen(\beta_{10} - \beta_{12})}{sen(\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{3}$$

$$\beta_{20} = 360^0 + \beta_{21} - \arctan\frac{R_{i,j}\,sen(\beta_{10} - \beta_{12})}{l_{12} - R_{i,j}\cos(\beta_{10} - \beta_{12})} \tag{4}$$

donde,

$\beta_{12}, \beta_{21}$: constantes.
$\beta_{10}$: parámetro.
$R_{i,j}$: variable.

Análogamente, para el enésimo punto receptor no es difícil demostrar, de acuerdo a las deducciones anteriores que el parámetro desconocido $\beta_{n0}$ será igual a:

$$\beta_{n0} = 360^0 + \beta_{n1} - \arctan\frac{R_{i,j}\,sen(\beta_{10} - \beta_{1n})}{l_{1n} - R_{i,j}\cos(\beta_{10} - \beta_{1n})} \tag{5}$$

Se conoce, que el alcance mínimo $R_{\min}$ lo determina las posibilidades del radar monoestático empleado, mientras que, $R_{\max}$ tiene potencialmente como límite superior el alcance máximo del radar, entonces si:

$$R_{i\min} \le R_{i,j} \le R_{i\max} \tag{6}$$

La distancia hasta un anillo en un sector *j* dado, se calcula por la expresión:

$$R_{1j} = R_{\min} + (i-1)\delta R \tag{7}$$

Por otra parte, el parámetro conocido $\beta_{i,j}$ ubicado dentro los límites del sector de exploración, que cumple con la condición

$$\beta_I \le \beta_{i,j} \le \beta_D \tag{8}$$

se obtiene de la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\beta_{i,j}} = \boldsymbol{\beta_I} + (\boldsymbol{j}-1)\boldsymbol{\delta\beta} \tag{9}$$

Para el caso, cuando se emplee un sistema multiestático compuesto por un monoestático y dos receptores la matriz de sincronismo se calcula para cada uno de los triángulos biestáticos comprendidos.

**4. Desarrollo de la matriz de sincronismo**

Un algoritmo desarrollado a partir de los datos iniciales, tales como: dimensiones del estrobo de exploración, capacidades resolutivas del radar monoestático por azimut y distancia, así como, los ángulos y líneas bases de cada uno de las estaciones receptoras que conforman el sistema multiestático, permite realizar la simulación computacional de los instantes de tiempo en que debe ser muestreada la señal a la entrada de cada punto receptor para formar la muestra deseada sin ambigüedad espacial Fig.2. Este resultado se estructura en forma de matriz, denominada de sincronismo, la cual constituye una imagen de la matriz espacial en la que se agrupan las células de la región explorada. A cada punto receptor del sistema multiestático corresponde una matriz de sincronismo.

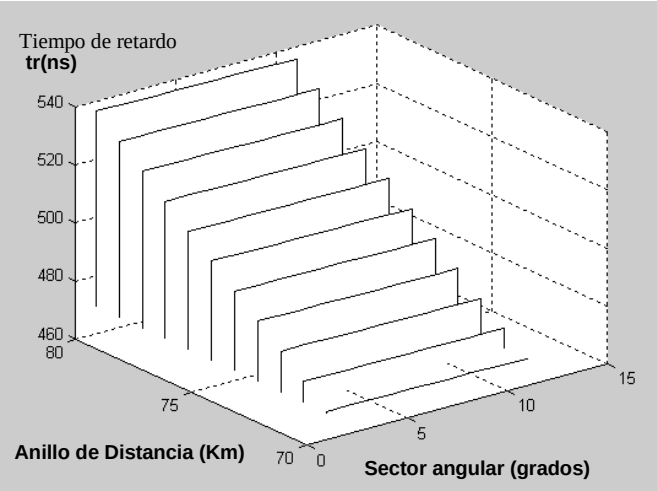



Fig.2 Representación gráfica de la matriz de sincronismo.

Columna 1 a la 5

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 469.9656 | 469.9075 | 469.8493 | 469.7912 | 469.7331 |
| 476.6320 | 476.5738 | 476.5156 | 476.4575 | 476.3995 |
| 483.2983 | 483.2401 | 483.1820 | 483.1239 | 483.0658 |
| 489.9647 | 489.9065 | 489.8483 | 489.7902 | 489.7322 |
| 496.6310 | 496.5728 | 496.5147 | 496.4566 | 496.3985 |
| 503.2974 | 503.2392 | 503.1811 | 503.1229 | 503.0649 |
| 509.9638 | 509.9056 | 509.8474 | 509.7893 | 509.7313 |
| 516.6301 | 516.5720 | 516.5138 | 516.4557 | 516.3977 |
| 523.2965 | 523.2384 | 523.1802 | 523.1221 | 523.0640 |
| 529.9629 | 529.9047 | 529.8466 | 529.7885 | 529.7304 |
| 536.6293 | 536.5712 | 536.5130 | 536.4549 | 536.3968 |

Columna 6 a la 10

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 469.6752 | 469.6173 | 469.5595 | 469.5018 | 469.4443 |
| 476.3415 | 476.2836 | 476.2258 | 476.1682 | 476.1107 |
| 483.0078 | 482.9499 | 482.8922 | 482.8345 | 482.7770 |
| 489.6742 | 489.6163 | 489.5585 | 489.5009 | 489.4434 |
| 496.3405 | 496.2827 | 496.2249 | 496.1672 | 496.1097 |
| 503.0069 | 502.9490 | 502.8913 | 502.8336 | 502.7761 |
| 509.6733 | 509.6154 | 509.5576 | 509.5000 | 509.4425 |
| 516.3397 | 516.2818 | 516.2240 | 516.1664 | 516.1089 |
| 523.0061 | 522.9482 | 522.8904 | 522.8328 | 522.7753 |
| 529.6725 | 529.6146 | 529.5568 | 529.4992 | 529.4417 |
| 536.3389 | 536.2810 | 536.2232 | 536.1656 | 536.1081 |

Fig.3 Matriz de los instantes de tiempo en que debe ser muestreada la señal a la entrada de cada punto receptor.

En la Fig.3 se muestra los resultados estructurados en forma de matriz, de los instantes de tiempo en que debe ser muestreada la señal a la entrada de cada punto receptor.

Los resultados de la simulación, muestran que en un anillo de distancia la diferencia de tiempo de un sector angular a otro en el orden de las centésimas es constante (0,57) μs y para un mismo sector angular la diferencia de tiempo entre un anillo de distancia a otro es constante hasta el orden de las milésimas (6.666) μs, tal resultado nos permite garantizar la adquisición de los datos.

El tiempo de retardo de la señal desde el punto monoestático hasta cualquiera de los puntos receptores, o lo que es lo mismo $t_{r\,sinc\,k}$ está en el orden de las decenas de μs permisible para los sistemas de adquisición actuales.

**4. Diseño experimental**

Los experimentos se realizaron en un área costera del litoral habanero la cual se escogió por garantizar una mayor cantidad de blancos a detectar a diferentes distancias de la costa tomando como fondo la superficie del mar. Los objetivos específicos en la prueba experimental se trazaron los siguientes: Obtener muestras reales de gran tamaño de blancos de radar de manera simultánea con un sistema biestático, determinar el grado de correlación de las muestras reales obtenidas en los receptores del sistema biestático, evaluar la posibilidad de la implementación del método DRACEC en sistemas reales existentes en nuestro país.

Se seleccionaron dos radares del tipo KODEN MDC-1510M uno de ellos trabaja en régimen biestático como receptor ubicado en la Playa Baracoa y en el otro como monoestático en transmisión no cooperativa en los 360º en la Marina Heminway, además, se empleó este tipo de radar por operar en la banda utilizada por otros medios radiotécnicos de interés y formar parte de los medios técnicos reconocidos por la Organización Marítima Internacional (OMI) para garantizar y asegurar la navegación marítima. Los cálculos de la zona de alcance real para los Tx y Rx se realizaron en [1] a partir de un modelo matemático de propagación de las ondas ultra cortas sobre el Mar Caribe. En estos cálculos se tuvieron en cuenta las afectaciones al alcance máximo biestático sobre el mar por factores tales como: reflexión de las ondas electromagnéticas en la superficie marina, la influencia de la curvatura de la tierra y las alturas en que se encuentran ubicadas las antenas y los blancos. Las zonas de observación de ambos sistemas se representan en las pantallas de los indicadores Fig.4 y Fig.5. La sincronización angular y temporal del sistema se garantizó utilizando la detección directa de los pulsos de sondeo elaborados por la tarjeta de sincronismo [1], [2], [3].

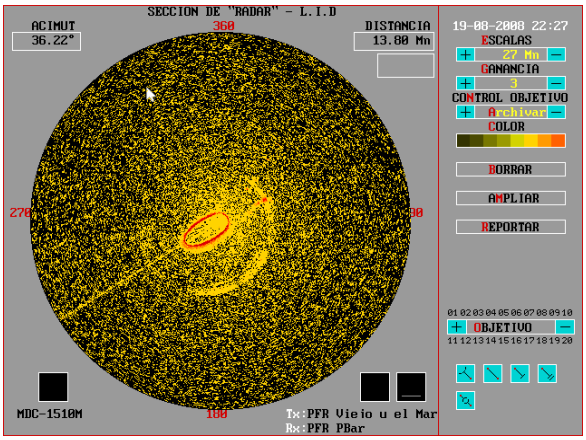



Fig.4 Indicadores de observación en el modo biestático.

Las muestras generadas representativas de las variables aleatorias se obtuvieron por medio de la simulación anteriormente realizada y experimentalmente a partir de las señales reflejadas reales obtenidos simultáneamente desde un sistema biestático compuesto por un radar monoestático y otro radar en régimen recepción. Ambas señales se procesaron con tarjetas de adquisición de datos del Sistema Automatizado de Radar Cubano, (SARAC). [3]

Las muestras simuladas y reales reflejadas adquiridas se leyeron y compararon estadísticamente a través del algoritmo de la Fig.6.

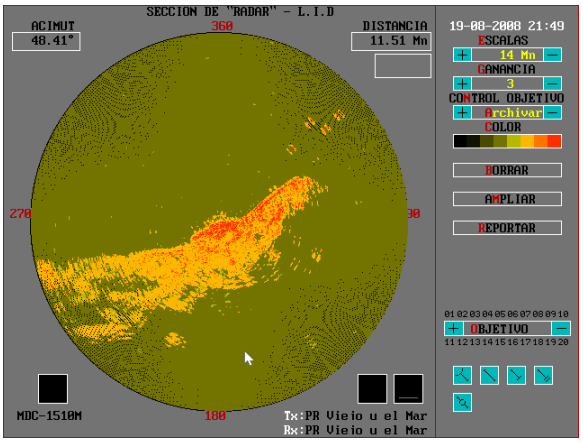



Fig.5 Indicadores de observación en el modo monoestático.

Una vez establecidos los radares en la región de posición, cada uno con sus respectivas tarjetas de adquisición de datos SARAC, con la configuración biestática anteriormente mencionada y la línea base entre ambos radares de 10 Km se fijó el Norte del radar monoestático en el acimut $348^0$ y la escala de trabajo en 14 Mn (25.2 Km) con 1330 barridos A través del instrumento virtual Fig. 6 se realizó la lectura, análisis y comparación estadística de los ficheros de datos de las señales reales adquiridas en cada una de las celdas de los barridos por distancia por los radares monoestático y biestático.

El sistema SARAC recoge 210 muestras por cada barrido de distancia correspondiendo 120 m por cada una de ellas. Para el radar en régimen biestático se establece la marca Norte en el azimut $238^0$ y la escala de trabajo en 27 Mn (50 Km) con 1320 barridos por vueltas, en este caso se guardan muestras cada 240 m.

Se adquirieron muestras de manera simultánea en ambos radares durante 20 vueltas por acuerdo, cada 5 minutos a partir de la hora señalada. En total se adquirieron de esta forma 12 grupos de muestras simultáneas que conformaron un grupo de muestras de gran tamaño, cuyos resultados se procesaron y analizaron con un programa de lectura y análisis estadísticos de las señales para el barrido seleccionado Fig.6 que permite establecer la correlación entre las muestras obtenidas desde los puntos receptores del sistema multiestático. Se estableció además que la correspondencia entre barridos se alcanza con una diferencia de 400 números de barridos entre ambos radares, por lo que, para blancos localizados en régimen monoestático en el azimut $35^0$ aparecen en el barrido No 175 y en el biestático en el barrido No 575, Fig.6

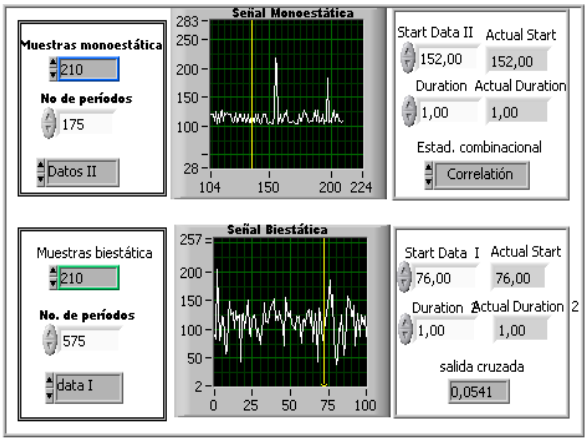



Fig.6 Representación de las muestras para un barrido de distancia del pulso de sondeo emitido en un sector dado

En la Fig.6 se muestra para un barrido de distancia del pulso de sondeo emitido en un sector dado el grado de correlación de las muestras de dos puntos receptores en la celda de del estrobo de observación.

**6 Asociación y Fusión de las muestras de la emisión celular del estrobo de exploración**

Para realizar la asociación de datos de la emisión celular del estrobo de exploración se necesita determinar el tiempo de arribo de la señal hasta los distintos puntos receptores, el retardo del sistema de elaboración del sincronismo, las coordenadas de los elementos del sistema y el método de sincronismo seleccionado.
El tiempo de arribo de las señales teniendo en cuenta la distancia entre el $i$-ésimo punto receptor y la $i, j$-ésima célula resolutiva para garantizar la asociación de los datos de las señales recibidas de los triángulos biestáticos $P_1P_0P_2$ y $P_1P_0P_3$ se determinaron en las expresiones:

$$t_{r1} = \frac{2R_{i,j}}{c}, \qquad t_{r2\,sinck} = \frac{d_2 + R_{i,j} + l_{12}}{c} \qquad t_{r3\,sinck} = \frac{d_3 + R_{i,j} + l_{13}}{c} \tag{10}$$

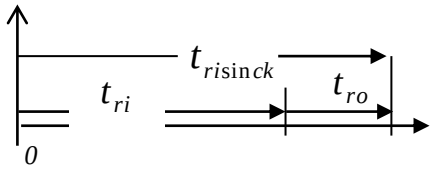
Si se tiene en cuenta lo anteriormente planteado, el tiempo de sincronismo para la asociación de los datos Fig.10 puede ser calculado por la expresión:

$$t_{ri\,sincr} = t_{ri} + t_{r0} \tag{11}$$

donde:

$t_{r0}$, tiempo de retardo de la señal hasta el punto monoestático desde cualesquiera de los puntos receptores y se calcula como $t_{r0} = \frac{l_{1i}}{c}$.

El tiempo de sincronismo $t_{ri\,sinck}$ del sistema propuesto para realizar la fusión de los datos en el centro de procesamiento en toda la región de cubrimiento no sólo depende de la ubicación de la célula resolutiva en el estrobo de exploración, si no también, de la distribución espacial de las estaciones receptoras.
De manera que al realizar la exploración en cada una de las células resolutivas del sector de observación en su conjunto se obtendrá una matriz de sincronismo de tiempo para cada pareja de estaciones receptoras [9,10].




$$\left\| t_{r\,sinck} \right\|_{m\times n} = \begin{bmatrix} t_{rk}^{(1,1)} + t_{r0}^{1,1} & \cdots & t_{rk}^{(1,j)} + t_{r0}^{1,j} & \cdots & t_{rk}^{(1,n)} + t_{r0}^{1,n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ t_{rk}^{(i,1)} + t_{r0}^{i,1} & \cdots & t_{rk}^{(i,j)} + t_{r0}^{i,j} & \cdots & t_{rk}^{(i,n)} + t_{r0}^{i,n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ t_{rk}^{(m,1)} + t_{r0}^{m,1} & \cdots & t_{rk}^{(m,j)} + t_{r0}^{m,j} & \cdots & t_{rk}^{(m,n)} + t_{r0}^{m,n} \end{bmatrix}$$

Fig.7 Matriz de los tiempos de sincronismo para la asociación de los datos del sistema propuesto.

La simulación computacional de las matrices de sincronismo y de asociación se muestra en la Fig. 8, mediante el software de programación gráfica LabView.

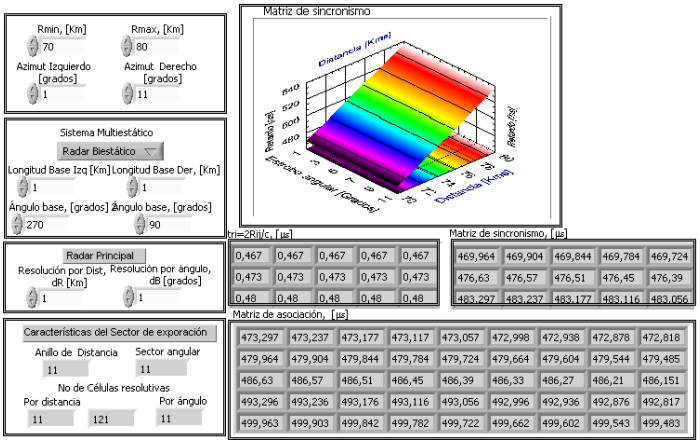



Figura 8 Simulación de la matriz de sincronismo y de asociación de un sistema multiestático.

El algoritmo Fig.9 permite fusionar las muestras en cada una de las células de la matriz de asociación y formar las muestras de gran tamaño de todos las estacionas receptoras que pertenecen al sistema multiestático propuesto.

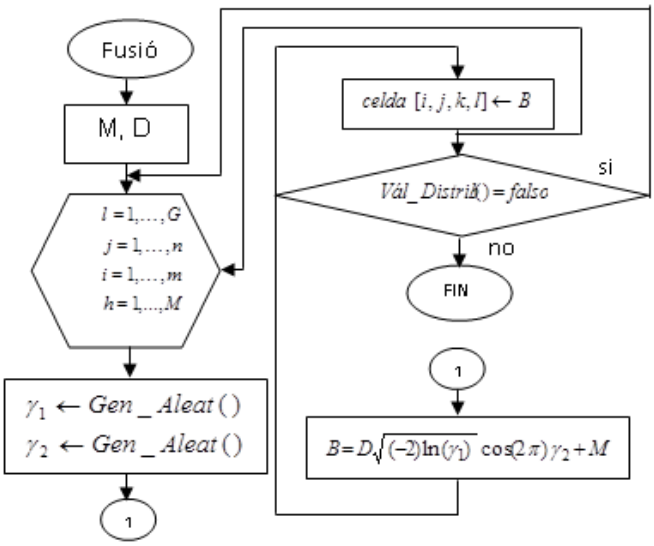



Fig. 9 Algoritmo para la fusión de las muestras de gran tamaño.

En la Fig.10 se representa la fusión de las muestras de todos las estacionas receptoras que pertenecen al sistema multiestático para cada una de las células de la matriz de asociación de datos.

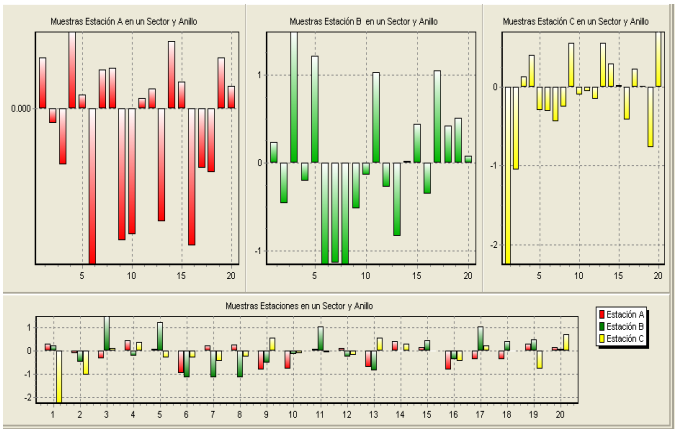



Fig.10 Representación de la fusión de las muestras de todos las estacionas receptoras que pertenecen al sistema multiestático.

## 6 CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la modelación y simulación computacional, de los instantes de tiempo en que debe ser muestreada la señal a la entrada de cada punto receptor, implementada en los softwares MatLab a partir de los datos iniciales, tales como: dimensiones del estrobo de exploración, capacidades resolutivas del radar monoestático por azimut y distancia, así como, los ángulos y líneas bases de cada uno de las estaciones receptoras que conforman el sistema multiestático. Este resultado se estructura en forma de matriz, denominada de sincronismo, la cual constituye una imagen de la matriz espacial en la que se agrupan las células de la región explorada. A cada punto receptor del sistema multiestático corresponde una matriz de sincronismo. Además, se llegó a la conclusión de que, el tiempo de sincronismo $t_{ri\sin c}$ del sistema propuesto para realizar la fusión de los datos en el centro de procesamiento en toda la región de cubrimiento, no sólo depende de la ubicación de la célula resolutiva en el estrobo de exploración, si no también, de la distribución espacial de las estaciones receptoras.

A través del panel frontal representado en la Fig. 6 se obtuvo el grado de correlación de las muestras de un barrido por distancia del pulso de sondeo emitido en un sector dado y se muestra, además, el resultado de la correlación de las muestras de dos puntos receptores en una celda del estrobo de exploración [16], [17], [18], [19].

## REFERENCIAS

1 Papoutsis, I., Barker, C. J., and Griffiths, H.D., Fundamental Performance Limitations of Radar Networks, University College London, 1st EMRS DTC Technical Conference, Edingurgh 2004.

2 Griffiths H.D., Bistatic and Multistatis Radar, University College London, http://www.iee.org/oncomms/pn/radar/Griffiths%20Shrivenham.pdf.

3 Rodríguez S. R., "Incremento de la Efectividad de la Exploración de Radar en Cuba: Procesamiento Automatizado y la Diversidad Espacial". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. ITM "Jose Martí". Ciudad de la Habana, 2007.

4 Rivera J. L., "Sincronización Directa con Procesamiento Temporal para Radares Biestático". Tesis Doctoral, ITM "José Martí ", Ciudad de la Habana 1998.

5 Chernyak, V. S., Funadamentals of Multisite Radar Systems, OPA 1998.

6 Davenport, P. V.,Using Multistatic Passive Radar for real-time detection of UFO'S in the near-earth environment, Washington, 2004.

7 Guillén Soriano C, N. C. Ferry, «Detección por radar en el espacio de los momentos: análisis de un caso particular". Informática 2016, Cuba

8. «Manual de Estadística - 6 Estimación de parámetros poblacionales», Manual de Estadística. Accedido: 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://aprendeconalf.es/estadistica-manual/08-estimacion.html

9. Guillén Soriano C, N. C. Ferry, «Determinación de la frontera de decisión y evaluación de la calidad de la detección en el método DRACEC para dos momentos de la amplitud.», 2013

10. C. Marcos Rojas y C. Guillén Soriano, Implementación en FPGA de un sistema de almacenamiento empleando memorias RAM para un detector de radar en el espacio de los momentos. 2016.

11. Guillén Soriano C, N. C. Ferry, Multivariate normal probability density function for correlated moments. 2016.

12 C. Guillén Soriano y N. Chávez "Formacion-de-la-Muestra-Aleatoria-y-Calculo-de-los-Momentos-Estadisticos-para-un-Detector-DRACEC " Tesis en opción al título en Master en sistemas digitales Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE. Cuba
13. Chávez N. "Detección y Alcance de Radar: La Alerta Temprana de Blancos en fondos Enmascarantes y una Solución al Problema ". Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencia, La Habana Cuba 2002
14 C. Guillén Soriano, C. L. Marcos Rojas, y N. Chávez Ferry, "Variantes de sistema de almacenamiento para un detector de radar en el espacio de los momentos ", Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, vol. 38, n.o 2, pp. 65-71, ago. 2017.
15 Guillén Soriano y N. Chávez, "Detección por radar en el espacio de los momentos con grado de correlación arbitrario y razón de falsa alarma constante ", 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.14580.07047.
16 Chávez N. at all "Detección de Radar por Clasificación Estadística de la Emisión Celular de la Región Observada: Incremento de la Detectabilidad empleando Muestras de Gran Tamaño", Revista de Ciencia y Tecnología del ITM "José Martí", Vol. 2, No1, 1999.
17 Chávez N. "Detección y Alcance de Radar: La Alerta Temprana de Blancos en Fondos Enmascarantes y Una Solución al Problema", Tesis de Doctor en Ciencias, ITM "José Martí", 2002.
18. Rodríguez Rojas José A. ¨ Formación de Muestras Aleatorias de Gran Tamaño con los Ecos de Radar Empleando un Sistema Multiestático Centralizado con n Puntos Receptores¨. XI Seminario Científico del ITM ¨José Martí¨. Ciudad de la Habana, enero 2007.
19 N. Chávez y J. A. Rodríguez, B. Bravo Quintana. "Formación de Muestras Aleatorias de Gran Tamaño con los Ecos de Radar Empleando un Sistema Multiestático". IV Congreso Internacional de Informática, La Habana Cuba 2008.

**Sobre los autores**

**José A. Rodríguez Rojas** es Ingeniero Radiotécnico, especialista en radar, Master en Electrónica y Doctor en Ciencias Técnicas, además posee la categoría docente de Profesor Titular en la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE

**Nelson Chávez Ferry** es Ingeniero Eléctrico, especialista en radar, posee los grados científicos de Doctor en Ciencias Técnicas y Doctor en Ciencias y la categoría docente de Profesor Titular. En la actualidad es profesor Titular en la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE

**Alejandra Aparicio Mariño e**s Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, actualmente cursa la Maestría en Sistemas de Radares en la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUMENTACIÓN SATELITAL BASADO EN TIERRA PARA EL AEROPUERTO DE SANTIAGO DE CUBA

**Ing. Yolexis Mazorra Pita[1]. Dr.C José Armando Rodríguez Rojas[2]. Ing, Liban Casas Téllez[3]**

[1] Empresa Cubana de Navegación Aérea

[2]Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverria", Cuba

[3]Empresa Cubana de Navegación Aérea

## Resumen:

El presente trabajo titulado "Diseño de un Sistema de Aumentación Satelital Basado en Tierra para el Aeropuerto Internacional Antonio Maceo Grajales de Santiago de Cuba" tiene por objetivo el estudio y diseño de un sistema de ayuda a la navegación aérea GBAS (Ground-Based Augmentation System) y posteriormente su potencial implementación en el aeropuerto de Santiago de Cuba. Se comienza con el estudio del Marco Teórico de los Sistemas de Radionavegación. Esta información se ha recopilado de fuentes académicas y oficiales de la OACI. A continuación, se desarrollan los conceptos teóricos sobre el GBAS y sus ventajas como sistema de ayuda a la navegación aérea en procedimientos de aproximación de precisión. Así mismo, se hace mención al papel actual de dicho sistema en la aviación mundial. Posteriormente, se simula en varios softwares para observar su compatibilidad magnética y viabilidad. También se analizan los equipos necesarios y la normativa aplicable para la implantación del GBAS en un aeropuerto.

Palabras claves: GBAS, radionavegación, GNSS, pseudodistancia, aumentación.

DESIGN OF A SATELLITE AUGMENTATION SYSTEM FOR SANTIAGO CUBA AIRPORT
GROUND-BASED AUGMENTATION SYSTEM FOR SANTIAGO DE CUBA AIRPORT

Abstract

The present document entitled "Design of a Ground Based Satellite Augmentation System for the Antonio Maceo Grajales International Airport of Santiago de Cuba" has as its objective the study and design of a Ground Based Satellite Augmentation System (GBAS) and subsequently its possible implementation at the Santiago de Cuba airport. It begins with the study of the Theoretical Framework of Radionavigation Systems. This information has been compiled from academic and official ICAO sources. Next, the theoretical concepts about GBAS and its advantages as a navigation aid system in precision approach procedures are developed. Also, mention is made of the current role of this system in world aviation. Subsequently, it is simulated in various software to observe its magnetic compatibility and feasibility. The necessary equipment and applicable regulations for the implementation of GBAS at an airport are also analyzed.

**Keywords:** Radionavigation; Pseudorange; Augmentation

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño de un Sistema de Aumentación Satelital Basado en Tierra (GBAS) para el Aeropuerto Internacional de Santiago de Cuba es un tema de gran importancia para la industria aeronáutica. GBAS permite mejorar la precisión y seguridad en los aterrizajes, despegues y sobrevuelos, proporcionando información precisa sobre la posición de las aeronaves en tiempo real. Las mejoras en la eficiencia y la seguridad que se logran mediante su uso hacen que sea una tecnología cada vez más importante en la aviación. En la presente investigación exploraremos los detalles del diseño de un sistema GBAS para el Aeropuerto de Santiago de Cuba, incluyendo los requisitos técnicos, operativos y regulatorios necesarios para su implementación exitosa. También se analizan los diferentes métodos de modelación y simulación computacional mediante diferentes tipos de software como Radio Mobile y Atoll, proporcionando recomendaciones para la implementación de dicho sistema en el aeropuerto.

## 2. MARCO TEORICO

Como resultado de todas las técnicas y métodos empleados a lo largo de toda la investigación se siguen una serie de pasos para completar el diseño del sistema GBAS.

Para elegir la frecuencia de operación del sistema GBAS se partió de la frecuencia del ILS y la del VOR/DME que ya opera en el aeropuerto de Santiago de Cuba. Teniendo en cuanta que estas frecuencias son 113.3 MHZ y 110.7 MHz respectivamente, podemos utilizar una frecuencia para la antena VDB de 112.100 MHz (Tabla 1), cumpliendo así los requerimientos de asignación de frecuencia asociados con el VOR e ILS.

Tabla 1 Frecuencias de los Sistemas del Aeropuerto de Santiago de Cuba

| Aeropuerto | ILS | VOR | GBAS | Compatibilidad por IM |
|---|---|---|---|---|
| Aeropuerto Antonio Maceo Grajales | 110.7 MHz | 113.3 MHz | 112.100 MHz | Compatible IM3, IM5 |

Se realizan los cálculos de los parámetros energéticos como las pérdidas básicas de transmisión en el espacio libre, cálculo de la longitud de onda, las pérdidas básicas que se calculan bajo la existencia de una visibilidad directa entre el receptor y la antena VDB, la potencia isótropa radiada equivalente y la potencia de entrada del receptor.

### 2.1Parámetros Energéticos

La recomendación de la UIT-R P.525-4 plantea que las pérdidas básicas de transmisión en el espacio libre se calculan como:

$$Lbf = 20log\ (4\pi d(m)/\lambda\ )\ (dB) \quad (1)$$

Donde ($Lbf$)representa las pérdidas básicas de transmisión en el espacio libre (dB), ($d$) distancia y ($\lambda$) longitud de onda.

La ecuación (1) también puede escribirse en función de la frecuencia y la encontramos como [1]:

$$Lbf = 32{,}4 + 20 * logf + 20 * logd(dB) \quad (2)$$

Donde ($f$) representa la frecuencia en MHz y ($d$) distancia en Km.

Las Pérdidas básicas se calculan mediante la ecuación (2), para el cálculo de este parámetro se supone que exista una visibilidad directa entre el receptor y la antena VDB [3]:

$$Lb = 42{,}6 + 20 * logf(MHz) + 20 * \log d\ (Km)\ (dB) \quad (3)$$

Para el cálculo de la PIRE la recomendación de la UIT-R M.1841 plantea la ecuación para determinar la intensidad de campo en el espacio libre. Además, se especifica que la intensidad de campo eléctrico mínima a asegurar será 215 µV/m (46,6 dB (µV/m).

$$E = 76{,}9 + PIRE - 20 * logd + H + V \quad (4)$$

Donde ($E$) representa la intensidad de campo de la señal de radiodifusión (dB), (µV/m), ($d$) distancia (Km), ($H$) corrección del diagrama de radiación horizontal, (dB) y ($V$) corrección del diagrama de radiación vertical (dB).

Los valores pertinentes de las correcciones de los diagramas de radiación horizontal y vertical se suman aritméticamente, respetando una corrección máxima de –20 dB, o el máximo de la corrección vertical, cualquiera que sea mayor. Para ángulos de elevación por encima de 45 grados, no se aplican correcciones del diagrama de radiación horizontal.

Potencia de entrada del receptor: Las intensidades de campo de la señal de radiodifusión y de la señal aeronáutica pueden convertirse en valores de la potencia a la entrada del receptor aeronáutico,

suponiendo un diagrama de radiación de antena de la aeronave sin directividad, se pueden calcular mediante las ecuaciones [1], [2]. [3].

a) para una señal de radiodifusión en la banda 87,5 - 108,0 MHz

$$Na = Ea - 118 - Ls - L(f) - La \quad (5)$$

b) para una señal aeronáutica y una señal de Tipo A1 en la banda 108 – 118 MHz:

$$Na = Ea - 118 - Ls - La \quad (6)$$

Donde: ($Na$) representa el nivel de la señal (dBm) a la entrada del receptor de abordo, ($Ea$) la intensidad de campo (dB(µV/m)) de la señal, ($Ls$) las pérdidas de la señal por dispersión (3,5 dB) , $L(f)$ las pérdidas dependientes de la frecuencia y ($La$) las pérdidas fijas del sistema de antena (9 dB)

Los valores calculados se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2 Parámetros Energéticos

| | |
|---|---|
| Pérdidas Básicas en el espacio libre | 105.89 $dB$ |
| Longitud de Onda | 2,676 $m$ |

| | |
|---|---|
| Pérdidas Básicas | 116.06 $dB$ |
| Potencia Isótropa Radiada Equivalente | 22,16 $dBw$ |
| Potencia de Entrada del Receptor. | $-84.5$ $dBm$ |

A partir de la utilización del software SENNHEISER, con la configuración escogida se demuestra en la Fig. 1 que es posible la compatibilidad por intermodulación a la entrada del receptor de las señales del GBAS, ILS y VOR teniendo en cuantas las respectivas frecuencias de cada sistema [4], [5], [6].

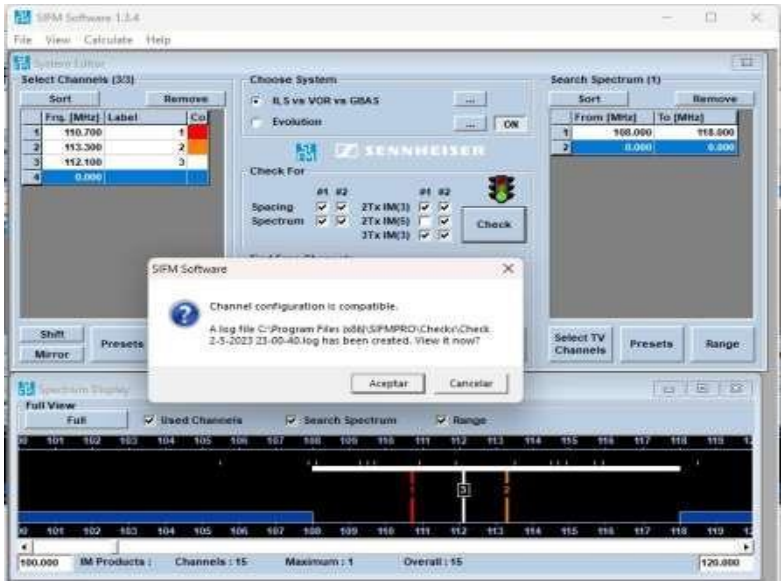



Figura 1 Simulación de la Compatibilidad Electromagnética

Partiendo de que la intensidad de campo del ILS y VOR son 32 dB (µV/m) y 39 dB (µV/m) respectivamente, se obtienen los valores de la potencia de entrada para cada sistema:

$$N_{aILS} = 32 - 118 - 3{,}5 - 9 = -98.5 dBm$$

$$N_{aVOR} = 39 - 118 - 3{,}5 - 9 = -91{,}5 dBm$$

Teniendo en cuenta todos los requisitos anteriores, se propone para realizar el emplazamiento el SmartPath SLS-4000, Fig. 2 desarrollado por Honeywell, este sigue las normas establecidas para los sistemas de aumentación y fue el primer GBAS en recibir la aprobación del diseño del sistema por parte de la Administración Federal de Aviación (FAA) de EE. UU. La estación terrestre Honeywell SmartPath SLS-4000, consta de cuatro receptores de referencia que recopilan datos de navegación de satélites GPS, un procesador que proporciona correcciones para errores de GPS, información

específica de GBAS, y una unidad de transmisión de datos VHF para transmitir datos digitales a las aeronaves. [3], [4].

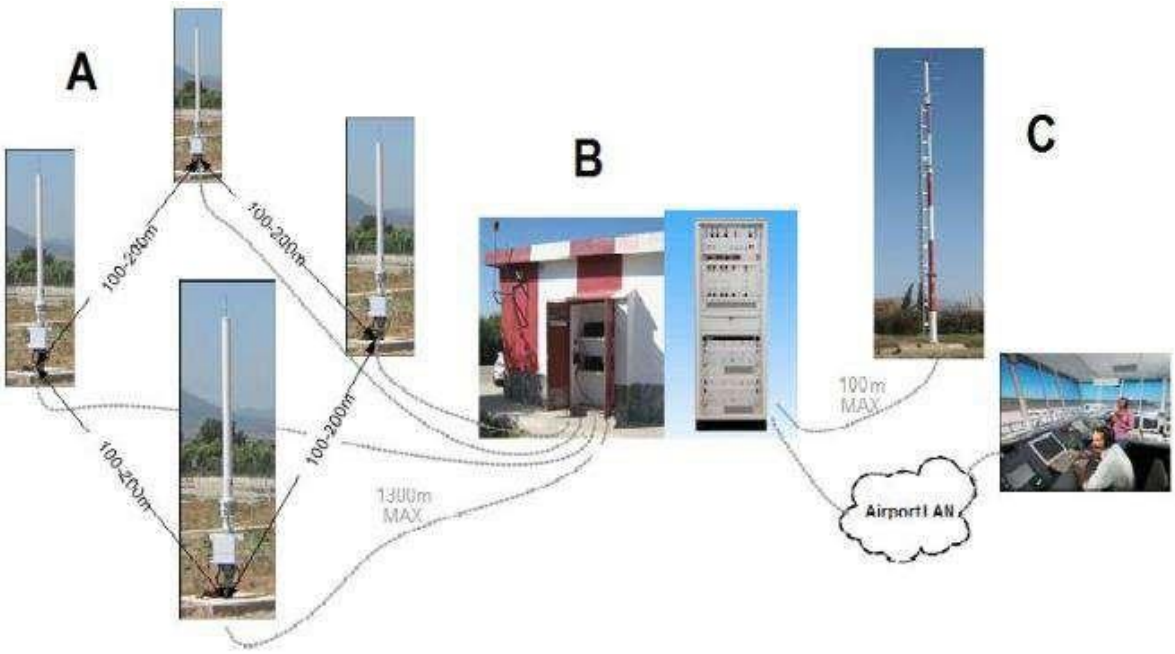



Figura 2 Emplazamiento del SmartPath SLS-4000.

Para la ubicación de los componentes del sistema GBAS se utiliza el Software Google Earth, el cual nos brinda información detallada del aeropuerto de Santiago de Cuba. Nos permite ubicar geográficamente los diferentes sistemas de navegación que se encuentran actualmente en uso y además nos permite ubicar el sistema GBAS propuesto Fig. 3.




Figura 3 Ubicación de los elementos del subsistema terrestre GBAS

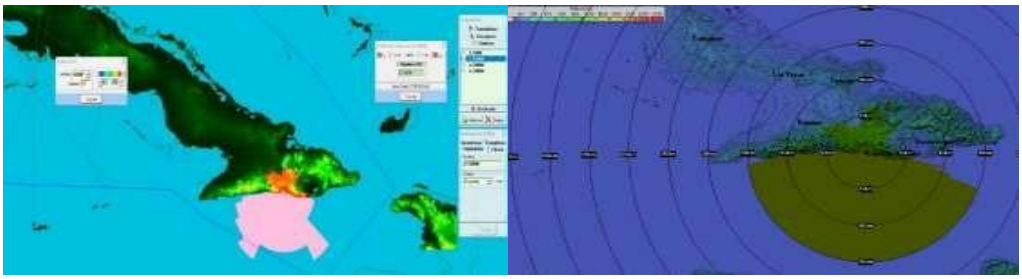
En la Tabla 3 se muestra las coordenadas de ubicación de los elementos que integran el sistema terrestre GBAS.

Tabla 3 Coordenadas de los elementos del subsistema terrestre GBAS.

| Dispositivo | Latitud | Longitud |
|---|---|---|
| RRA 1 | 19°58'18.26"N | 75°49'53.36"O |
| RRA 2 | 19°58'23.25"N | 75°49'53.72"O |
| RRA 3 | 19°58'23.07"N | 75°49'59.04"O |
| RRA 4 | 19°58'17.96"N | 75°49'58.73"O |
| Transmisor VDB | 19°58'20.43"N | 75°49'37.71"O |
| Shelter | 19°58'24.51"N | 75°49'38.89"O |
| Localizador ILS | 19°58'19.93"N | 75°49'15.94"O |
| VOR/DME | 19°58'40.08"N | 75°49'21.56"O |

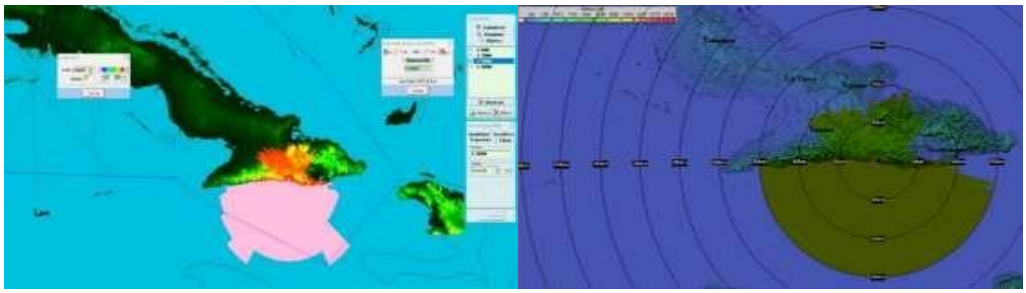
**3. Simulación Computacional de la cobertura del Diseño**

En las Fig. 4, Fig. 5 y Fig. 6 se muestran las simulaciones que se realizaron con los softwares de Astool, Atoll y Radio Mobile, tomando en cuenta diversos parámetros como son: Distancia entre la antena VDB transmisora y la estación en la aeronave receptora de 23 millas aproximadamente, para alturas de 1000 m, 2000 m y 3000 m, Potencia de transición de 50 watts o 47 dBm, Sensibilidad del receptor de -87 dBm propuesto por la OACI, Frecuencia de la antena VDB de 112.100 MHz



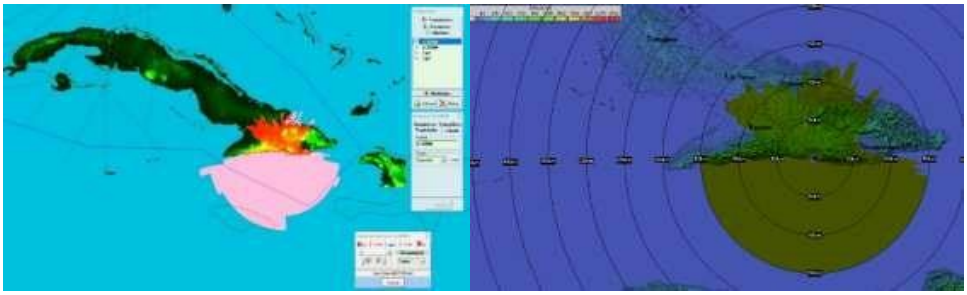
a) b)

Figura 4 Simulación con software a 1000 m de altura a) Astool, b) Radio Mobile

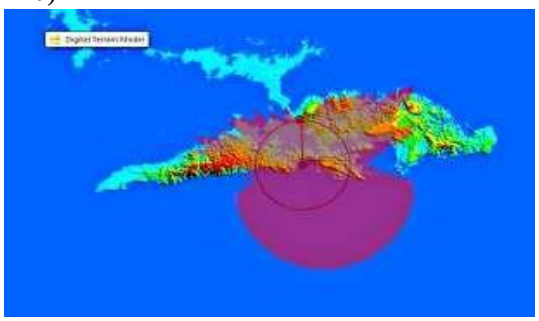


a) b)

Figura 5 Simulación con software a 2000 m de altura a) Astool, b) Radio Mobile



a) b)



c)

Figura 6 Simulación con software a 3000 m de altura a) Astool, b) Radio Mobile, c) Atoll

,

Para mostrar una comparación entre los parámetros de los sistemas ILS y GBAS, Fig.7 se utilizó el software Radio Mobile en el cual se introdujeron todos los datos de los parámetros energéticos obtenidos.



a) b)

Figura 7 Resultados obtenidos en Radio Mobile del enlace a) GBAS b) ILS

Se puede observar de los análisis de las simulaciones anteriores en la Fig. 7 que, a una altura de 3000 m, los niveles de campo eléctrico del actual sistema GBAS propuesto es mayor que el del ILS. También se puede observar que los niveles de Rx relativo del GBAS son mucho mayores que los del ILS.

## 3. Conclusiones

1.Se diseñó una propuesta de sistema GBAS para el aeropuerto de Santiago de Cuba, además se caracterizaron los Sistemas de Ayudas a la Navegación y Vigilancia por lo que se asevera que son una solución a los servicios de determinación de la posición, también se identificaron los Sistemas de Aumentación Satelital. Permiten utilizar las señales provenientes de los sistemas GNSS restándoles los errores que incorporan estos.

La elección de un sistema GBAS para la provincia de Santiago de Cuba, permitirá brindar mejores servicios de navegación y de aterrizaje con precisión, para ello se evaluó la compatibilidad electromagnética entre las estaciones VDB del GBAS, el localizador del ILS y el transmisor del VOR a través del software computacional Sennheiser lo que garantiza la operación de estos sistemas en conjunto en el aeropuerto de Santiago de Cuba, por otra parte se analizó a través de la simulación computacional que los emplazamientos presentados cumplen con los requisitos de radio propagación previstos por la OACI.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a todos los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo

**REFERENCIAS**

[1] Reynoso A.D. *Diseño de un Sistema de Aumentación Satelital GBAS para el Aeropuerto Internacional "Jose Marti" Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica,* (2019). La Habana.

[2] Téllez Casas L "Diseño de un sistema regional de aumentación satelital basado en tierra GBAS/GRAS para la FIR Habana," *Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica,* 2020. La Habana.

[3] Borges, F. E. *Diseño de un Sistema de Aumentación Satelital GBAS para el Aeropuerto Internacional "Frank País" de Holguín, Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica,* 2021. La Habana.

[4] Mazorra Pita Y. *Diseño de un Sistema de Aumentación Satelital GBAS para el Aeropuerto Internacional "Antonio Maceo" de Santiago de Cuba, Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica,* 2023. La Habana.

[5] Alonso H.O. *Diseño de un Sistema de Aumentación Satelital GBAS para el Aeropuerto Internacional "Ignacio Agramonte" de Camagüey, Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica,* 2023. La Habana.

[6] OACI.(2019). Recomendación UIT-R M.1841-1. Compatibilidad entre los sistemas de radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en la banda aproximada 87-108 MHz y el sistema aeronáutico de aumento basado en tierra en la banda 108-117,975 MHz.

## Sobre los autores

José Armando Rodríguez Rojas. Doctor en Ciencias, Profesor Titular en la Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE. Especialista en Sistemas de Radares multiestáticos, Radionavegación y Comunicaciones.

Yolexis Mazorra Pita. Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, especialista en Sistemas de Radionavegación, Vigilancia y Comunicaciones de la Empresa Cubana de Navegación Aérea, ECNA

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN ENLACE SATELITAL CON EL EMPLEO DEL SISTEMA DE AUMENTACION WAAS

**Autor: Ing. Elder Antonio Rivero Andux[1] Dr. Ct. José Armando Rodríguez Rojas[2]**

[1]Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA), Cuba.elderandux@gmail.com,
[2]Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA), Cuba joserojas280957@ gmail.com

**RESUMEN:**

El sistema de vigilancia y radionavegación aeronáutica de Cuba están integrados por equipos encaminados a la obsolescencia tecnológica frente a los sistemas de navegación satelital. Con determinado nivel de inversión y acuerdos de seguridad aeronáutica internacional es posible implementar estaciones de monitoreo WAAS (Wide Área Augmentation System), sistema de aumentación para mejorar la señal GPS con cobertura en toda Norteamérica y parte del Caribe, brindando rangos de precisión, exactitud, integridad y disponibilidad capaces de optimizar el espacio aéreo, el servicio de recepción y los niveles de seguridad establecidos. En este proyecto se desarrolla el cálculo de un enlace satelital entre una estación de comunicación y un satélite geoestacionario de dicho sistema.

***Palabras clave:*** GNSS, SBAS, WAAS, GPS

## DESIGN OF A SATELLITE LINK USING THE WAAS AUGMENTATION SYSTEM

**ABSTRACT:**

The Cuban aeronautical surveillance and radio navigation system is made up of equipment aimed at technological obsolescence, since satellite navigation systems are being implemented with greater growth worldwide. With a certain level of investment and international aeronautical security agreements, it is possible to implement monitoring stations WAAS (Wide Area Augmentation System), an augmentation system to improve the GPS signal with coverage throughout North America and part of the Caribbean, providing ranges of precision, accuracy, integrity and availability capable of optimizing the airspace, the reception service and the established security levels. In this project the calculation of a satellite link between a communication station and a geostationary satellite of said system is developed.

***Keywords:*** GNSS, SBAS, WAAS, GPS

## 1. INTRODUCCION

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite o GNSS por sus siglas en inglés, proporcionan servicio de ubicación y navegación de excelentes prestaciones para los sectores civiles y militares mediante dispositivos decodificadores de señales satelitales. La aeronavegación por su parte necesita de mayores prestaciones por lo que se desarrollaron Sistemas de Aumentación Basados en Satélites, (SBAS) por sus siglas en inglés, que proporcionan precisiones de 1 metro muy convenientes contra los 10 metros de los sistemas GNSS. Esta aumentación se logra retroalimentando el sistema desde satélites geoestacionarios y estaciones terrenas corrigiendo errores de posicionamiento en los equipos usuarios. Dado que la cobertura de servicio depende de estaciones de recepción en el área de interés se necesita diseñar un enlace satelital entre una estación de referencia decodificadora en territorio nacional y uno de los satélites que conforman al WAAS.

## 2. MARCO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS WAAS

El Sistema de Aumentación de Área Amplia (WAAS) es un sistema de navegación extremadamente exacto desarrollado para la aviación civil para proveer desempeño comparable al Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS) Categoría I (CAT I). Sin el WAAS, las perturbaciones ionosféricos, las fluctuaciones de reloj, y los errores de órbita del satélite crean demasiado error e incertidumbre en la señal GPS para que pueda cubrir los requerimientos de una aproximación de precisión.




Figura 1. Red SBAS.

### 2.1. Operación

Estaciones de Referencia de Área Amplia o WRS (del inglés Wide Area Reference Station) están espaciadas aproximadamente de 500 a 1000 Km. La función principal de estas es observar las señales GPS, las condiciones ionosféricas y la señal de corrección WAAS; y luego transmitir los datos a las estaciones maestras.

Estaciones Maestras de Área Amplia o WMS (del inglés Wide Area Master Station), verifican las señales provenientes de las WRS anteriores y generan una nueva señal de corrección WAAS. Esta señal de corrección es transmitida a través de las estaciones terrenas a los satélites geoestacionarios para luego ser transmitida a los receptores.

Estaciones de Comunicación o GUS (del inglés Ground Uplink Station) son estaciones terrenas que se encargan de recibir la trama WAAS de corrección de las estaciones maestras de área amplia (WMS) y retransmitirla a los satélites geoestacionarios.

Satélites Geoestacionarios: El segmento del espacio consiste de múltiples satélites GEO de comunicación los cuales difunden el mensaje generado por las WMS hacia el segmento de usuario. Los satélites también difunden el mismo tipo de información para la estimación de la distancia de los satélites GPS, incrementando de forma efectiva el número de satélites disponibles para una posición fija.

Segmento de usuario: Receptor GPS y WAAS, el cual utiliza la información difundida desde cada satélite GPS y las correcciones WAAS para determinar su localización y tiempo actual. Utiliza dos tipos de mensajes de correcciones recibidas (rápidas y lentas). Las rápidas, que comprenden correcciones satelitales, las aplica para corregir la señal en el momento de enganche de la señal y calcular su posición, luego toma las lentas, con correcciones ionosféricas, para mejorar su posición con el tiempo.

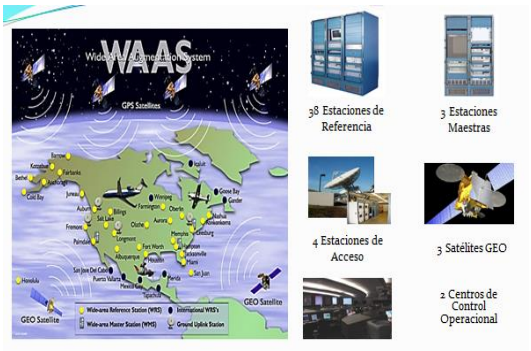



Figura 2. Distribución de Estaciones WAAS.

#### 2.1.1. Objetivos del WAAS

Los objetivos de WAAS son proveer una mejora de parámetros como integridad, exactitud, disponibilidad, continuidad del servicio SPS del GPS. También proveer un sistema de navegación para todas las fases de vuelo a través de aproximaciones de precisión lateral y vertical destacándose la LPV-200.

LPV-200, (Localizer Performance with Vertical Guidance o Desempeño de Localización con Guía Vertical para precisión de Categoría I). [3]. Este permite las aproximaciones 3D instrumentales de acuerdo a lo estipulado en el Anexo 10 de OACI para aproximaciones de precisión de Categoría I con requerimientos de SIS (Signal In Space) y VAL (Vertical Alert Limit) de 35 m (equivalente a ILS CAT I). Proporciona información precisa sobre el enfoque de una aeronave a una pista con el uso de tecnología de posicionamiento GNSS, así como guiado vertical y lateral sin la necesidad de contacto visual de la aeronave con el suelo hasta alcanzar una altura de 200 pies (61 metros) altura de decisión. En la Figura 3 se muestra la cobertura LPV- 200 que proporciona el sistema WAAS. [1]

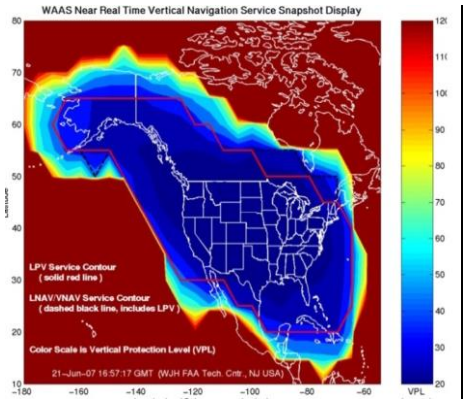



Figura 3. Servicio de navegación vertical en el área de cobertura WAAS. [2]

Por su parte la exactitud define de niveles de protección y alerta. La integridad es la capacidad de alerta sobre fallas de exactitud. La disponibilidad es la medida en que el sistema cumple con la integridad y exactitud requeridas. La continuidad es la medida en que el sistema está disponible durante toda una operación sin interrupciones.

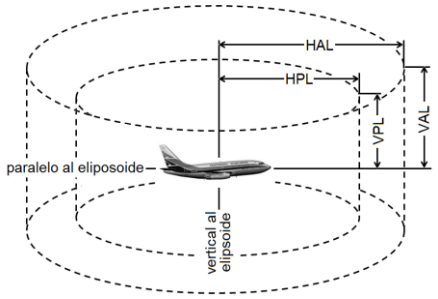



Figura 4: Niveles de protección y límites de alerta para la aviación. [3]

En la Tabla 1 se muestra el desempeño real del WAAS según los requerimientos exigidos al SBAS [4]

Tabla 1. Desempeño WAAS.

| WAAS | Desempeño |
|---|---|
| Tiempo para Alerta | 6.2 s |
| Probabilidad HMI (Información Engañosa) | $< 1 \times 10^{-7}$/h |
| Continuidad | $1–8 \times 10^{-6}$ /15 s |
| Exactitud Horizontal nominal | 1.6 m (95%) |
| Exactitud Horizontal máxima | 12 m (máximo observado) |

| | |
|---|---|
| Exactitud Horizontal límite | 4 m (95%) |
| Exactitud Vertical nominal | 1.6 m (95%) |
| Exactitud Vertical máxima | 12 m (máximo observado) |
| Exactitud Vertical límite | 4 m (95%) |
| Disponibilidad | 99.999% |

### 2.1.2. Características de la Señal

La señal WAAS debe cumplir requerimientos como no interferir con la recepción de las señales GPS, proveer una medición adicional de alcance (distancia), garantizar una alta tasa de integridad y corrección de la señal GPS. Para lograr estos objetivos, se usa una señal modulada BPSK (Modulación Binaria por Cambios de Fase)

## 3. Método de cálculo de un enlace satelital

Para el cálculo del enlace satelital entre una estación SBAS terrena y un satélite GEO (Órbita Geoestacionaria) se debe tener en cuenta un enlace descendente desde los satélites de navegación GPS a las antenas receptoras, un enlace ascendente desde una estación transmisora de acceso en tierra hasta el satélite GEO del sistema WAAS y el enlace descendente hasta el receptor del usuario como principal lazo de comunicación del sistema.

NOTA: Algunos de las siguientes ecuaciones fueron tomadas de las conferencias de la asignatura Comunicación por Satélites impartida por los profesores de la CUJAE Pablo Echenique Véliz y Jesús Franciel Artiles Brito. [5]

En las Tabla 2 y Tabla 3 se establecen los datos del enlace descendente del satélite de navegación GPS,

Tabla 2. Datos necesarios del satélite de navegación GPS.

| | |
|---|---|
| Frecuencia portadora descendente Banda L (GPS): | L2C (*1227.6 MHz*), L5 (*1176.45 MHz*) y L1C (*1575.42 MHz).* |
| Potencia de carga útil | (Valores entre 200W = 23 dBW y 700W = 28 dBW). |
| Ganancia de la antena | Valores alrededor de 13.4 dBi) |
| Altura de la constelación | (órbita de los satélites de navegación a unos 20200 km). |

Tabla 3. Datos necesarios de la antena receptora.

| |
|---|
| Pérdidas del Alimentador Rx (Valores aproximados a 0.1 dB) |
| Eficiencia de la antena (Valores comprendidos entre 60 y 80%) |
| Temperatura de Ruido LNB (Depende de la figura de ruido proporcionada por el fabricante). |
| Temperatura de Ruido de la Antena (Proporcionada por el fabricante). |

A continuación de debe calcula los parámetros del enlace descendente GPS.

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente del satélite

$$PIRE\ sat\ =\ Pcu\ +\ Gtxs \tag{1}$$

Donde:

$Pcu$: Potencia de la carga útil del satélite.

$Gtxs$: Ganancia de la antena transmisora del satélite.

La temperatura del sistema de recepción.

$$T_S = \frac{T_{ant}}{L_{alim}} + 290\left(1 - \frac{1}{L_{alim}}\right) + T_{LNB} \quad (2)$$

Donde:

$T_{ant}$- temperatura de antena;
$L_{alim}$- pérdidas en el alimentador;
$T_{LNB}$- temperatura en el bloque de bajo ruido.

Conversión de parámetros en decibeles (dB) a veces para la ecuación anterior.

$$L_{alim}(veces) = 10^{L_{alim(dB)}/10} \quad (3)$$

Las pérdidas del espacio libre en el enlace descendente y ascendente:

$$L_{0down} = 20\,log\,D + \ 20\,log\,fd + 92.5\,dB \quad (4)$$
$$L_{0up} = 20\,log\,D + 20\,log\,fa + 92.5\,dB$$

Donde:
$D = d_s$- Distancia desde la estación terrena receptora al satélite $(km)$;
$fd$- Frecuencia en $GHz$ del enlace descendente.
$fa$- Frecuencia en $GHz$ del enlace ascendente

La Ganancia de antenas receptoras:

$$G_{Rx}(dBi) = 10\log\eta + 20\log f\,d + 20\log d + 20.4\,dB \quad (5)$$

Donde
$\eta$- eficiencia de la antena;
$f$- frecuencia descendente en GHz;
$d$- diámetro de la antena receptora.

El nivel de iluminación del satélite.

$$W = PIREsat - 20logd - 10log(1000)2(4\pi)10\,log\,\eta \quad (6)$$

La relación G/T rx, G ganancia de la antena receptora, T temperatura del sistema:

$$G/T\,rx = G_{Rx} - 10\log T_S \quad (7)$$

La relación portadora - densidad de ruido (C/No) descendente:

$$\frac{C}{Nod} = PIREsat + IBS - L_{0down} + \frac{G}{Trx} - 10log(K) \quad (8)$$

Donde:
$IBS$: No linealidad de amplificadores del satélite
$K$: Constante de Boltzman: 1,38.10$^{-23}$ W/°K/Hz

La relación energía de bit a densidad de ruido.

$$Eb/No\,d = \ C/No\,d - 10log(Vb) \quad (9)$$

Donde:

$Vb$: Velocidad de bits

Además, se deberán eestablecer los datos del enlace ascendente y descendente al satélite GEO y los datos necesarios de la antena transmisora del GUS según Tabla 4 y Tabla 5, así como, los datos necesarios de la antena receptora del segmento de usuario, Tabla 6.

Tabla 4. Datos necesarios del satélite GEO

| |
|---|
| Posición: todos están situados en la órbita ecuatorial. |
| Altura: (Alrededor de 35786 km). |
| Frecuencia de transmisión de señal L1C (1575.42 MHz). |
| Potencia de carga útil (Valores entre 200W = 23 dBW y 700W = 28 dBW). |
| Ganancia de la antena transmisora (Valores alrededor de 13.4 dBi). |
| Factor de calidad (Valores entre -7 y 0). |
| No linealidad de amplificadores del satélite (IBS) |

Tabla 5. Datos necesarios de la antena transmisora del GUS.

| |
|---|
| Diámetro (desde 3.7 a 9 m). |
| Eficiencia de la antena (Valores comprendidos entre 60 y 80%). |
| Frecuencia de enlace ascendente (Banda C) |
| Velocidad de bits. |
| Potencia (Valores de 80, 125, 250, 500 y hasta 700 Watts) |

Tabla 6. Datos necesarios de la antena receptora del segmento de usuario

| |
|---|
| Pérdidas del Alimentador Rx (Valores aproximados a 0.1 dB) |
| Eficiencia de la antena (Valores comprendidos entre 60 y 80%) |
| Temperatura de Ruido LNB (Depende de la figura de ruido proporcionada por el fabricante). |
| Temperatura de Ruido de la Antena (Proporcionada por el fabricante). |

Posteriormente se calcula los parámetros del enlace ascendente según las ecuaciones siguientes:

La Ganancia de las antenas transmisoras:

$$G_{Tx}(dBi) = 10\log\eta + 20\log fa + 20\log d + 20.4\ dB \quad (10)$$

Donde:

$\eta$- eficiencia de la antena;

$fa$- frecuencia ascendente en GHz;

$d$- diámetro de la antena transmisora.

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente del transmisor:

$$PIREtx = Ptx + Gtx \quad (11)$$

Donde:

Ptx: Potencia de la carga útil del satélite.

Gtx: Ganancia de la antena transmisora del satélite.

La relación portadora - densidad de ruido (C/No) ascendente:

$$C/No\ a = PIREtx + IBS - L_{0up} + G/Tsat - 10log(K) \quad (12)$$

Donde:

IBS: No linealidad de amplificadores del satélite
K: Constante de Boltzman: 1,38.$10^{-23}$ W/°K/Hz.

La relación energía de bit a densidad de ruido ascendente:

$$Eb/No\ a = C/No\ a - 10log(Vb) \quad (13)$$

Donde:
$Vb$: Velocidad de bits

El nivel de iluminación del satélite.

$$W = PIRE\text{tx} - 20\log ds - 10\log (1000)^2 (4\pi) \quad (14)$$

Los ángulos $\gamma$ central entre la estación terrena y el satélite desde el centro de la tierra:

$$\cos\gamma = \cos Latitud_{ET_R} * \cos\left(\left|Longitud_{SAT} - Longitud_{ET_R}\right|\right) \quad (15)$$

El ángulo de elevación $\varphi$, de la antena de la estación terrena y el ángulo de azimut ($\phi$):

$$elevación(E_l) = \varphi = \tan^{-1}\left[\frac{6.610715 - \cos\gamma}{\sin\gamma}\right] - \gamma \quad (16)$$

$$\propto = \tan^{-1}\left[\frac{\tan\left|Longitud_{SAT} - Longitud_{ET_R}\right|}{\sin\left(Latitud_{ET_R}\right)}\right] \quad (17)$$

Para el cálculo del ángulo central: (para la zona en cuestión) se toma la ecuación (18)

$$\phi = 180° - \alpha \quad (18)$$

Además, se calcula la distancia de la estación terrena al satélite ($d_s$):

$$d_s(km) = r_s\sqrt{1.02274 - 0.301596\cos\gamma} \quad (19)$$

Donde:
$rs = rE + hs$=42 164.137 Km
rs- Distancia desde el centro de la tierra al satélite, pasando por el punto subsatelital.
rE- 6 378,137 Km (radio de la tierra).
hs- Altura del satélite sobre la superficie terrestre (Km).
hs se toma igual a 35786 Km.

En la Figura 5 se muestra la disposición geométrica respecto a la tierra de los datos anteriores.

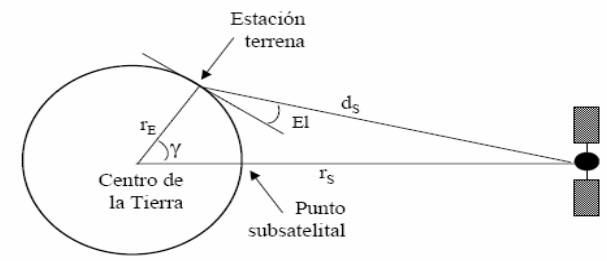



Figura 5: Representación de los parámetros a calcular. [5]

Los parámetros del enlace descendente WAAS se desarrollan de igual manera que el cálculo de parámetros del enlace descendente GPS.

Al mismo tiempo se realiza el cálculo de la relación energía de bit a densidad de ruido total, la probabilidad de error para el enlace y según las ecuaciones. (20), (21) y (22) respectivamente:

$$(e/n_o)_t^{-1}=(e/n_o)_{a\ WAAS}^{-1}+(e/n_o)_{dGPS}^{-1}+(e/n_o)_{d\ WAAS}^{-1} \quad (20)$$

Donde:

$(e/n_o)_{t}^{-1}$- energía de bit a densidad de ruido total en veces;

$(e/n_o)_{a\ WAAS}^{-1}$- energía de bit a densidad de ruido ascendente en veces;

$(e/n_o)_{d\ GPS}^{-1}$ - energía de bit a densidad de ruido descendente GPS en veces;

$(e/n_o)_{d\ WAAS}^{-1}$ - energía de bit a densidad de ruido descendente WAAS en veces.

$$Peb\ = (2/3)\ G\ (\sqrt{6W}\left(sin\frac{\pi}{2}\right) \quad (21)$$

Donde:

$Peb\ es\ la$ probabilidad de error para el enlace.

W - Eb/No t

G - Función de distribución de densidad gaussiana

Cálculo de la función de distribución de densidad gaussiana.

$$G(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}}\ e^{\left(\frac{-t^2}{2}\right)} \quad (22)$$

$G(t)$ es la función de distribución de densidad gaussiana.

Para t=7 según fuente.

En la Tabla 7 **se muestran los parámetros de identificación de los satélites** GEO/WAAS y en la Fig. 6 se muestra la cobertura regional WAAS para inclinación de 5°.

Tabla 7: Identificación de los satélites GEO/WAAS.

| Nombre del satélite | Código PRN | NMEA | Localización |
|---|---|---|---|
| Eutelsat 117West B | 131 | 44 | 117° W |
| Galaxy 15 | 135 | 48 | 133° W |
| Anik F1R | 138 | 51 | 107.3° W |

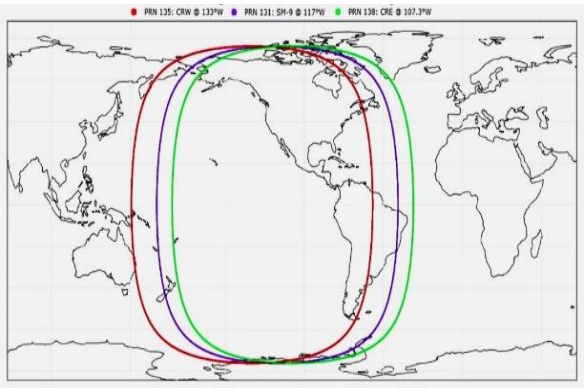
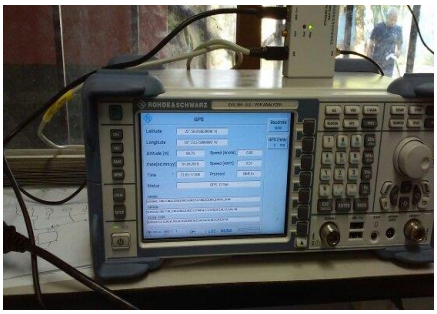


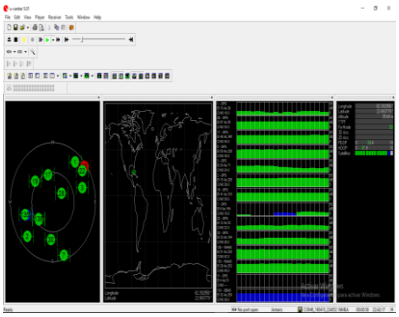

Figura 6: Cobertura regional WAAS para inclinación de 5°. [2]

## 4. Calculo y Validación de los resultados

Para validar algunos de los cálculos del método se obtuvieron datos a partir del monitoreo satelital efectuado por un receptor GPS mostrado en la siguiente Fig.7 a) y decodificar los datos satelitales se utilizó el software U-center cuyo interfaz se muestra también en la Fig.7 b)



a)



b)

Figura 7: a) Receptor satelital GPS, b) Interfaz U-center.

### 4.1 Establecimiento de los datos del enlace descendente GPS - WRS.

Los datos necesarios para el cálculo del enlace descendente GPS – WRS tales como: datos del satélite de navegación GPS, de la antena receptora de la estación de referencia se muestran en las Tabla 8 y Tabla 9 respectivamente y los resultados del enlace descendente se reflejan en la Tabla 10

Tabla 8. Datos necesarios del satélite de navegación GPS.

| NAVSTAR | |
|---|---|
| Frecuencia portadora L1 C/A (Banda L) | 1575.42 MHz |
| Velocidad de bits | 1.023 Mbps |
| Potencia de carga útil | 26.8 dBW |
| Ganancia antena | 13.4 dBi |
| Altura | 20200 km |
| Eficiencia de la antena transmisora | 0.6 |

Tabla 9. Datos necesarios de la antena receptora de la estación de referencia:

| Diámetro | 3.7 m |
|---|---|
| Pérdidas del Alimentador Rx | 0.1 dB |
| Eficiencia de la antena | 0.75 |
| Temperatura de Ruido LNB | 60 K |
| Temperatura de Ruido Antena | 30 K |

Tabla 10. Resultados enlace descendente:

| $PIRE\ del\ sat$élite | 40.2 dBW |
|---|---|
| Temperatura del sistema de recepción | $95.098K$ |
| Pérdidas del espacio libre | $182.56\ dB$ |
| Ganancia de antenas receptoras. | $35\ dBi$ |
| Nivel de iluminación del satélite. | $-799.92 dBW/m^2$ |
| Factor de calidad (G/T) del receptor. | $15.21\ {}^{dB}/_{K}$ |

| | |
|---|---|
| Relación portadora – densidad de ruido | 102.05 dB/Hz |
| Relación energía de bit - densidad de ruido | *41.95 dB* |

**4.2 Establecimiento de los datos necesario para el enlace ascendente y descendente WAAS**

Los datos necesarios para el cálculo del enlace ascendente y descendente WAAS tales como: datos del satélite GEO Galaxy 15, de la antena transmisora del GUS, de la antena receptora del segmento de usuario se muestran en las Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13 respectivamente y los resultados del enlace ascendente GUS – GEO e se reflejan en la Tabla 14

Tabla 11. Datos necesarios del satélite GEO Galaxy 15:

| | |
|---|---|
| Posición | 133° W |
| Altura | 35786 km |
| Frecuencia de transmisión de señal L1C | 1575.42 MHz |
| Potencia de carga útil | 24.8 dBW |
| Ganancia de la antena | 13.4 dBi |
| Factor de calidad | -6 |
| No linealidad de amplificadores del satélite (IBS) | 0.6 |

Tabla 12. Datos necesarios de la antena transmisora del GUS.

| | |
|---|---|
| Transmisor | |
| Diámetro | 6m |
| Eficiencia de la antena | 0.75 |
| Frecuencia de enlace ascendente (Banda C) | 6 GHz |
| Velocidad de bits | 1.023 Mbps |
| Potencia | 28.45 dBW |

Tabla 13. Datos necesarios de la antena receptora del segmento de usuario.

| | |
|---|---|
| Receptor usuario | |
| Ganancia nominal del receptor WAAS | 3dB |
| Pérdidas del Alimentador Rx | 0.1 dB |
| Eficiencia de la antena | 0.75 |
| Temperatura de Ruido LNB | 60 K |
| Temperatura de Ruido Antena | 30 K |

Tabla 14. Resultados Enlace Ascendente GUS – GEO

| | |
|---|---|
| Ganancia de la antena transmisora | 46.62 dBi |
| PIRE del transmisor | 75.07 dBW |

| | |
|---|---|
| Relación portadora - densidad de ruido | 98.96 db/Hz |
| Energía de bit a densidad de ruido | 38.86 dB |
| Nivel de iluminación del transmisor | $-770.15\ \mathrm{dBW/m^2}$ |
| Coseno del ángulo γ (Centro de la Tierra) | 0.9074 |
| Elevación (φ) | 28° |
| Azimut (ϕ) | 252° |
| Distancia de la estación terrena al satélite | 36492,62 km |

El satélite Galaxy 15 de código 135 muestra los siguientes datos durante el monitoreo mediante el software U-center, como se aprecia en la Fig. 8.

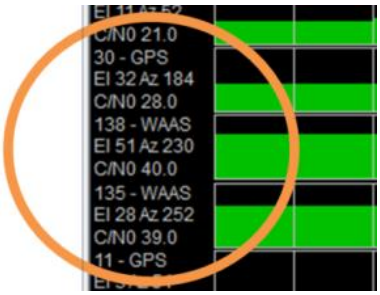



Figura 8. Datos obtenidos mediante e software U-center.

$$elevación(E_l) = \varphi = 28°$$
$$azimut\ (\phi) = 252°$$

En la Tabla 15 se muestran los resultados calculados del enlace descontente GEO – Usuario

Tabla 15. Enlace descendente GEO – Usuario

| | |
|---|---|
| PIRE del satélite | 38.2 dBW |
| Temperatura del sistema de recepción. | 95.098 $K$ |
| Pérdidas del espacio libre | 187.69 dB |
| Factor de calidad (G/T) del receptor | $-16{,}78\ {}^{dB}/_{K}$ |
| Relación portadora - densidad de ruido | 39 $dB/Hz$ |
| Relación energía de bit a densidad de ruido | -21.09 dB |

Los parámetros del enlace descendente WAAS se desarrollaron de igual manera que el cálculo de parámetros del enlace descendente GPS y sus resultados según ecuaciones (20), )21) y (22).

.

Cálculo de la relación energía de bit a densidad de ruido total:

$(e/n_o)_t^{-1} = (e/n_o)_{a\ WAAS}^{-1} + (e/n_o)_{d\ GPS}^{-1} + (e/n_o)_{d\ WAAS}^{-1}$

$(e/n_o)_t^{-1} = 128.53489$

$\frac{Eb}{No}t =$ - 21.09 dB

Cálculo de la función de distribución de densidad gaussiana.

$$Gt = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi t}}\right) e^{\left(\frac{-t^2}{t}\right)}$$

$$G_{(t)} = 3{,}433.\ 10^{-12}$$

Cálculo de probabilidad de error para el enlace.

$$Peb = \left(\frac{2}{3}\right) G\ (\sqrt{6W})\ \left(sin\frac{\pi}{2}\right)$$

$$Peb = 1.0683496.10^{-13}$$

Valor calculado para una señal BPSK con C/No = 30 dB/Hz y FEC =1/2

$$Peb = 10^{-12}$$

**CONCLUSIONES**

Mediante el diseño de un enlace satelital y el cálculo de la probabilidad de error del lazo de comunicaciones es posible acceder al SBAS WAAS proveyendo de señales GPS corregidas a las aeronaves. Debido al espaciamiento entre estaciones, de mil kilómetros, y su amplia cobertura de servicio solo sería necesaria la instalación de una Estación de Referencia y una Estación de Comunicaciones. Los beneficios regionales comenzarían por aumento de cobertura del servicio en el Caribe y la contribución a la evolución de los sistemas sustituyendo los equipos tradicionales de vigilancia y navegación.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a todos los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

**REFERENCIAS**

1. Furquet Gascón María del Carmen, Estudio y análisis de la certificación y diseño de un SBAS (Satellite Based Augmentation System) para aeropuertos/heliódromos, Universidad Politécnica de Valencia. 2016.
2. https://www.nstb.tc.faa.gov/images/GeoFootPrint.png.
3. Brunini Claudio, Sistemas de Aumentación GNSS utilizados por la aeronáutica civil desde la perspectiva de SIRGAS, Universidad Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, República Dominicana.
4. http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf. Department of transportation United States of America, Federal Aviation Administration. Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard. 1st Edition, 31 octubre 2008. (Actualmente en Vigor)
5. Echenique Véliz Pablo J., Presentación: Presupuesto Enlace Satelital, Comunicaciones por Satélite, 4 de junio 2019.

**Sobre los Autores**

**Elder Antonio Rivero Andux.** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica Trabaja en Empresa Cubana de Navegación Aérea. Ocupa el cargo de Técnico Principal en Sistemas de Radio Comunicaciones Aeronáuticas del Grupo del Supervisor Nacional de Comunicaciones Aeronáuticas.

**José A. Rodríguez Rojas** es Ingeniero Radiotécnico, especialista en radar, Master en Electrónica y Doctor en Ciencias Técnicas, además posee la categoría docente de Profesor Titular en la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE

.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE BANDAS SATELITALES ALQUILADAS PARA SERVICIOS OCASIONALES Y DE CONTINGENCIA

**Primer Autor (Ing. Elio David Sánchez Pérez), Segundo Autor (MsC. Pablo Jesús Echenique Véliz)**

**RESUMEN**

En la actualidad, una porción significativa de las comunicaciones internacionales del país se sustenta mediante enlaces satelitales, los cuales en ocasiones se extienden para abarcar también conexiones a nivel nacional. Servicios como Internet y Televisión Digital han experimentado un crecimiento exponencial a nivel mundial durante la última década, y nuestro país no ha sido la excepción a esta tendencia.

En la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) se ha hecho necesaria la optimización de la gestión de la capacidad satelital alquilada para dichos servicios, que pueden resultar ocasionales o de contingencia. Este tipo de recursos se han asignado de forma estática y no siempre se ajustan a las fluctuaciones reales de la demanda conllevando a la subutilización de las bandas alquiladas.

Mediante configuraciones, cálculos del presupuesto de enlace satelital y simulaciones detalladas, el estudio validó con éxito la optimización de las bandas satelitales alquiladas.

Los principales logros incluyen, consolidación de servicios, uso eficiente del ancho de banda disponible y mejora de la calidad y disponibilidad de los servicios. Estos avances representan un paso importante en las comunicaciones por satélite, abriendo camino a futuros modelos de negocios que consideren el impacto económico y social de las soluciones propuestas.

**PALABRAS CLAVES:** Optimización de las bandas satelitales alquiladas, cálculos del presupuesto de enlace satelital, futuros modelos de negocios.

## PROPOSAL FOR OPTIMIZATION OF SATELLITE BANDS RENTED BY OCCASIONAL AND CONTINGENCY SERVICES

**ABSTRACT**

Currently, a significant portion of the country's international communications is supported by satellite links, which are sometimes extended to also include national connections. Services such as Internet and Digital Television have experienced exponential growth worldwide during the last decade, and our country has not been the exception to this trend.

In the Cuban Telecommunications Company (ETECSA), it has become necessary to optimize the management of the leased satellite capacity for these services, which may be occasional or contingency. These types of resources have been assigned statically through contracts that do not always adjust to real fluctuations in demand, leading to the underutilization of rented bands.

Using configurations, satellite link budget calculations, and detailed simulations, the study successfully validated the optimization of leased satellite bands.

The main achievements include, consolidation of services, efficient use of available bandwidth and improvement of the quality and availability of services. These advances represent an important step in satellite communications, opening the way for future business models that consider the economic and social impact of the proposed solutions.

**KEY WORDS**: Optimization of leased satellite bands, satellite link budget calculations, future business models.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Radiocomunicaciones por Satélite (SRCS) tienen por objeto el establecimiento de radioenlaces entre estaciones fijas o móviles a través de repetidores situados en una órbita alrededor de la tierra. Estos brindan una serie de ventajas que los convierte en un punto atractivo en el mundo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs), tanto para los diseñadores como para los usuarios.

A nivel global, las comunicaciones satelitales han experimentado un gran auge en las últimas décadas impulsado por factores como la miniaturización de la tecnología, el despliegue de mega constelaciones y la creciente demanda de servicios móviles e Internet. Esto ha llevado a que los satélites se consoliden como una pieza fundamental de la infraestructura de telecomunicaciones, especialmente para la conectividad en zonas remotas.

En este sentido, la industria satelital ha evolucionado hacia modelos más flexibles, basados en el arrendamiento dinámico de capacidad según la demanda fluctuante. Esto ha permitido un mejor aprovechamiento de los recursos y la provisión ágil de servicios durante eventualidades donde se requieren mayores recursos, como desastres naturales [1].

La situación problémica está basada en que, actualmente, existe una necesidad latente de optimizar la gestión de la capacidad satelital alquilada para servicios ocasionales y de contingencia. Tradicionalmente, este tipo de recursos se han asignado de forma estática y no siempre se ajustan a las fluctuaciones reales de la demanda.

Esta metodología rígida ha llevado a situaciones como la subutilización de la banda en periodos de baja actividad, lo que representa costos evitables para la empresa. Al mismo tiempo, en escenarios de emergencia donde se requieren mayores recursos de comunicación, como desastres naturales, la capacidad adquirida puede resultar insuficiente, afectando la calidad del servicio.

Por otra parte, la infraestructura de telepuertos y antenas móviles con que cuenta ETECSA podría ser mejor aprovechada mediante esquemas de asignación dinámica que optimicen el uso de la banda satelital según los requerimientos reales. Esto permitiría flexibilizar la provisión de servicios y enfrentar contingencias de manera más eficaz.

## 2. AVANCES TECNOLÓGICOS FUNDAMENTALES DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES SOPORTADOS POR SISTEMAS SATELITALES

**Satélites HTS (High Throughput Satellite).**

Un satélite de alta eficiencia de transferencia (HTS) es aquel que tiene muchas veces la eficiencia de transferencia que los satélites tradicionales del Servicio Fijo por Satélite (FSS), brindan hasta 20 veces mayor rendimiento que los satélites tradicionales ocupando el mismo espectro. Toman las ventajas de la reutilización de frecuencias y múltiples haces concentrados (spot beams) para incrementar su eficiencia de transferencia y reducir los costos por bit entregado (ver Figura 1).

Este tipo de satélites suelen emplear haces más pequeños, los cuales tienen un PIRE mayor. Es por esta razón que los satélites HTS utilizan menos potencia y son más eficientes por la reutilización de las frecuencias dando lugar a menores costos proporcionando mayores tasas de datos al menor costo de bit posible.

A partir de esta configuración se cambia la visión de la gestión de capacidades satelitales y la visión de negocios, migrando el concepto de transpondedor a haces.

Una de las ventajas del empleo de los HTS es que no es necesario cambiar todo el hardware que se ha empleado hasta el momento, además se puede continuar operando con una combinación de módems

ofreciendo más flexibilidad en la red y oportunidades tantos para los operadores como para los usuarios [2].

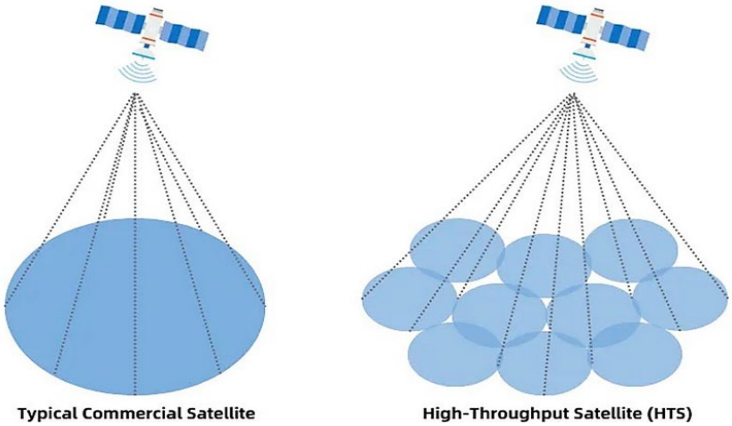



*Figura 1. Comparación de Satélites Tradicionales con HTS en cuanto a los haces puntuales [3]*

**Estándares de portadoras satelitales DVBS2/2X.**

DVB-S2/2X (Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation/ Extensions) son las especificaciones de segunda generación de las aplicaciones de banda ancha por satélite. Fueron elaboradas a partir del Proyecto de radiodifusión de vídeo digital (DVB) en 2003 y en 2004 fue normado como ETSI EN 302 307-1, se han actualizado sucesivamente hasta el 2024 con ETSI EN 302 307-2 V1.4.1 [4].

Han sido diseñados para:

- Servicios de transmisión para TV de definición estándar y HDTV.
- Servicios interactivos que incluyen acceso a Internet para aplicaciones de consumo.
- Aplicaciones profesionales, como contribución de TV digital y recopilación de noticias, distribución de TV a transmisores terrestres VHF / UHF.
- Distribución de contenido de datos y enlace de Internet.

Los estándares DVBS2/2X se han especificado en torno a tres conceptos claves:

- Mejor rendimiento de transmisión.
- Flexibilidad total.
- Complejidad razonable del receptor.

Para lograr el mejor equilibrio entre rendimiento y complejidad, DVB-S2/2X se benefician de los desarrollos ejecutados en el canal codificación (adopción de códigos de Comprobación de Paridad de Baja Densidad o Low Density Parity Check por sus siglas en inglés (LDPC), códigos BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) y modulación (uso de QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, 64APSK, 128APSK y 256APSK.

**Modulación y Codificación Adaptativa (ACM).**

Uno de los inconvenientes que afectan el enlace es el desvanecimiento de la señal causado por la lluvia y uno de los métodos para mitigar sus efectos es la Modulación y codificación adaptativa (ACM). Esta técnica permite la modificación de los parámetros de modulación y codificación (MODCOD) de una señal de satélite (portadora) en el espacio libre, sin detener la transmisión y sin perder los datos.

El objetivo de la modulación adaptativa es la de sacar mayor provecho del espectro satelital, mediante la utilización de modulaciones más eficientes durante condiciones favorables de clima despejado. Esto se plasma en que a medida que tengamos una menor energía para transmitir un bit de información, va a ser

necesaria la aplicación de una modulación más robusta, o de nivel inferior, lo cual conlleva a una reducción de eficiencia espectral, es decir se utilizan más Hz para un mismo servicio [5].

ACM permite usar, en todo momento, el esquema de modulación más alto posible y el nivel más bajo posible de la corrección de error. Cuando las condiciones del enlace empeoran, fundamentalmente debido al desvanecimiento por lluvia, el sistema cambia los parámetros automáticamente para evitar la pérdida de la recepción de la señal (ver Figura 2).

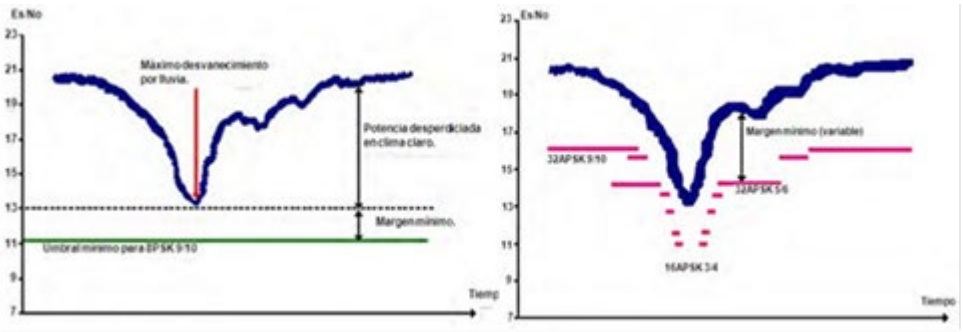



*Figura 2. Gráfica de ejemplo de ACM.*

**Modems satelitales con Turbo Product Coding (TPC).**

En este trabajo se reutilizarán Modems TPC que existen en las estaciones terrenas de Jaruco y Cojímar. El Turbo Product Coding (TPC), también conocido como Codificación de Producto Turbo, es una técnica de codificación de corrección de errores utilizada en sistemas de comunicación digital y almacenamiento de datos. Su objetivo principal es mejorar la confiabilidad de la transmisión y recepción de datos al agregar redundancia a los transmitidos.

La codificación es relativamente sencilla, no siendo así la decodificación, que es un proceso muy complicado y requiere de repeticiones múltiples del procesamiento para obtener el rendimiento máximo requerido, aunque las demoras en la misma son reducidas, comparadas con Reed-Solomon. El demodulador y el decodificador están sincronizados en todo momento por debajo del punto donde es inservible la taza de errores (BER). Típicamente con QPSK, 8PSK y 16QAM en modo TPC el demodulador y el decodificador están sincronizados de 2-3dB por debajo de los casos en que se usa Viterbi/Reed Solomon o TCM.

El TPC se basa en la combinación de dos o más códigos convolucionales, que son algoritmos de codificación que operan en secuencias de bits. Estos códigos convolucionales se denominan "constituyentes" y generalmente son idénticos o muy similares. Cada constituyente codifica una porción de los datos de entrada.

**Códecs H.264/AVC y H.265/HEVC. Televisión digital.**

Estos estándares de compresión, también conocidos como MPEG-4 Part 10 (H.264) y High Efficiency Video Coding (H.265), representan avances significativos en la tecnología de compresión de video. Ambos se han convertido en los códecs más ampliamente adoptados en la industria de la transmisión y reproducción de contenido audiovisual.

El estándar H.264 ha sido ampliamente utilizado y es reconocido por su capacidad para comprimir video con una alta eficiencia, lo que permite una transmisión más fluida y una menor ocupación de ancho de banda. Ha sido clave en el desarrollo de aplicaciones de video en la distribución digital de contenido multimedia a través de la red, de manera que el usuario utiliza el producto a la vez que se descarga (streaming), por ejemplo, videoconferencias y transmisiones de televisión de alta definición.

Por su parte, el estándar H.265 es la evolución del H.264 y ofrece una mejora significativa en términos de eficiencia de compresión. Comparado con su predecesor, el H.265 puede reducir aún más el tamaño de

los archivos de video manteniendo una calidad visual similar. Esto es especialmente valioso en escenarios donde la limitación de ancho de banda es crítica o cuando se desea transmitir contenido de alta resolución.

La adopción de estos estándares en la red propuesta asegurará una transmisión eficiente de datos de audio y video, permitiendo una óptima utilización del ancho de banda disponible sin comprometer la calidad percibida por los usuarios.

La tabla 1 muestra una comparación entre estos códecs.

Tabla 1 Comparación entre H.264 y H.265

| **Parámetros** | **H.264** | **H.265** |
|---|---|---|
| Nombre | H.264/AVC Codificación de Video Avanzada | H.265/HEVC Codificación de Video de Alta Eficiencia |
| Sucesor | Sucesor de MPEG-2 | Sucesor de MPEG-4 AVC/H.264 |
| Reducción del bitrate | **Respecto MPEG-2 aprox. 40-50%** | **Respecto H.264 con igual calidad de imagen aprox. 40-50%** |
| Resolución | Hasta 4K (4096x2304) | Hasta 8K (8320x1924) |
| Veloc.de Fotogramas | Hasta 59.94 fps | Hasta 300 fps |
| Codificación de entropía | CABAC, CAVLC | CABAC |
| Modelo de compresión | Predicción temporal y espacial híbrida | Predicción temporal y espacial híbrida mejorada |
| Procesamiento paralelo | No | Sí (implementa WPP) |
| Complejidad computacional | Moderada | Alta |
| Tamaño de particiones | Macrobloques de 16x16 | CUs de 8x8 a 64x64 |
| Particionado | Sub-bloques de hasta 4x4 | PUs hasta 4x4 cuadrado, simétrico y asimétrico (solo cuadrado para intra) |
| Transformada | DCT de enteros 8x8, 4x4 | Unidades de transformación cuadradas DCT desde 32x32 a 4x4 + DST Luma Intra 4x4 |
| Predicción intra | Hasta 9 modos de predicción (Luma) | Hasta 35 modos de predicción (Luma) |
| Precisión de compensación de movimiento | ½ Pixel 6-etapas, ¼ Pixel bilineal | ¼ Pixel 7 o 8 etapas y 1/8 Pixel 4 etapas para croma |

**Backhaul Satelital.**

Las redes satelitales son un complemento en las redes de comunicaciones celulares. Esta tendencia ha tenido lugar bajo la circunstancia de combinar las capacidades de amplia cobertura de las redes satelitales y el gran número de capacidades de conexión de las redes celulares [7].

Integradas las redes satelitales y terrestres, beneficios como proveer una forma eficiente de conectividad de largas distancias a grandes regiones basada en los requerimientos, escalabilidad, flexibilidad y servicios de radiodifusión avanzados, liberan a los operadores de redes móviles de costos de inversión y carga de configuración de fibra, ganando en confiabilidad ante errores humanos o eventos naturales que puedan provocar apagones en la conectividad.

Estos beneficios de usar las comunicaciones satelitales afectan no solo a las áreas rurales y remotas, sino también áreas urbanas donde los satélites pueden proveer una solución de respaldo alternativa para propósitos de extensión del ancho de banda durante alta demanda de tráfico. Para obtener estos

potenciales beneficios de las redes satelitales y móviles integradas surge el backhaul satelital (ver Figura 3).

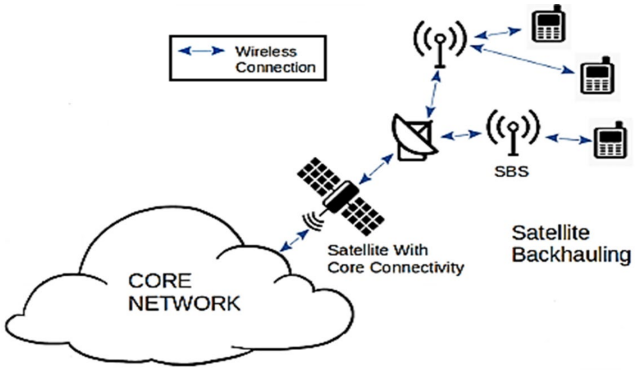



*Figura 3. Esquema de ejemplo de la arquitectura de una red de backhaul satelital.*

## 3. PROPUESTAS PARA LO OPTIMIZACIÓN DE LAS BANDAS SATELITALES ALQUILADAS Y LOS SERVICIOS BRINDADOS.

Este trabajo propone soluciones para optimizar el aprovechamiento de las capacidades de los enlaces satelitales y los servicios que se implantan en dicho recurso espectral, que generarían modelos de negocios con impacto social, mayor vitalidad de los servicios o nuevos ingresos.

Estas propuestas serán validadas a través de dos metodologías claves:
- Cálculo del presupuesto de enlace satelital (Link Budget)
- Simulación de los parámetros de las portadoras satelitales

Mediante estos dos enfoques metodológicos, se llevará a cabo una validación integral de los casos de estudio. Estos permitirán determinar la factibilidad técnica de las propuestas, así como identificar áreas de mejora y optimización para garantizar el cumplimiento de los requisitos y objetivos planteados.

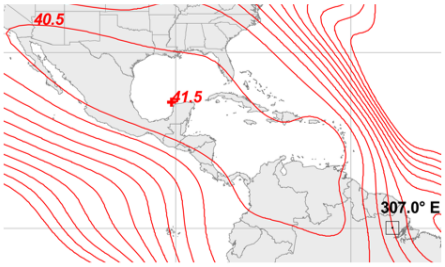
**Propuesta 1: Optimización de la banda satelital alquilada de 10 MHz para servicios ocasionales y de contingencia en el satélite de Intelsat IS-23 en Banda C, correspondiente al transpondedor WH2C [6].**

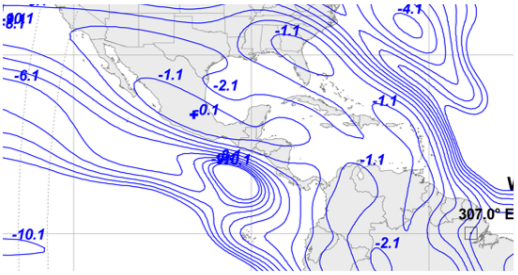
Es importante destacar que la propuesta será desarrollada utilizando los recursos existentes, de manera que no generen costos adicionales para la empresa.

Esto implica:
- Reutilización de infraestructura:
- Aprovechamiento de la infraestructura de telecomunicaciones ya desplegada.
- Optimización del espectro radioeléctrico:
- Utilización eficiente del espectro de frecuencias asignado a la empresa, evitando la adquisición de nuevas licencias o bandas de frecuencia.
- Implementación de técnicas de multiplexación y modulación avanzadas para maximizar el aprovechamiento del espectro disponible.
- Aprovechamiento de equipos y sistemas existentes: Integración de los nuevos servicios y aplicaciones con los equipos de transmisión, recepción y procesamiento de señales ya desplegados.
- Actualización y reconfiguración de los sistemas actuales para adaptarlos a los nuevos requerimientos, en lugar de adquirir equipos nuevos.

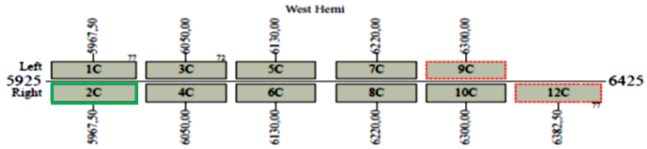
De esta manera, al aprovechar los recursos existentes, se logra minimizar los costos de integración y despliegue, permitiendo a la empresa ofrecer estos nuevos servicios de manera eficiente y rentable.

Parámetros del satélite:

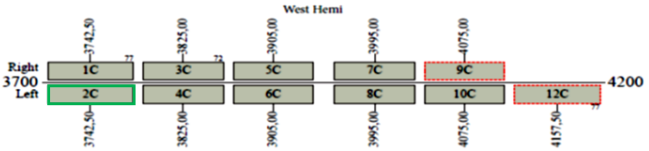


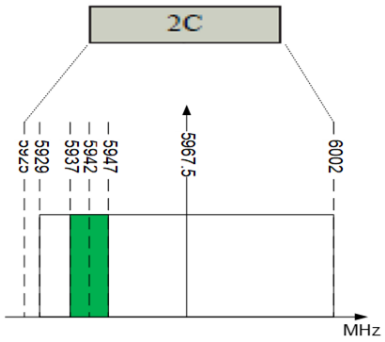




Enlace Ascendente (Up Link)




Enlace Descendente (Down Link)

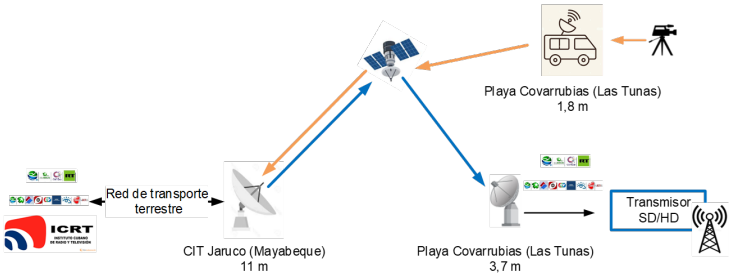


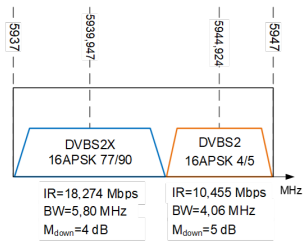




El servicio de TV de Contribución consiste en la recepción de señales de servicios de televisión digital por el proveedor de contenido (ICRT) desde Estaciones Móviles Satelitales (flayaway) o Telecentros regionales o provinciales, donde es procesada y reenviada a través de algún canal de televisión por el servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT) en definición estándar (SD) o alta definición (HD) o servicios internacionales de Televisión ocasional. Este servicio de TV de Contribución permite la captación y transmisión de eventos televisivos en tiempo real, optimizando el uso de los recursos de telecomunicaciones y garantizando la calidad de la señal de video en todo el proceso.

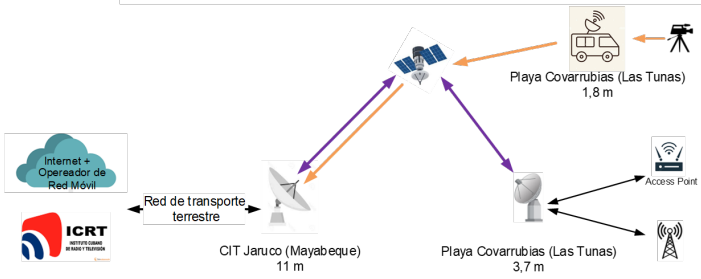
Esquema y principales resultados:

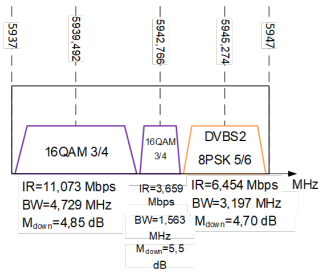
**Respaldo a la TDT (SD o HD) + TV de Contribución.**




**Backhaul Móvil (enlace asimétrico) + TV de Contribución.**



Análisis de los resultados:

- Se ha asegurado la conectividad de todos los enlaces para todo el territorio nacional.
- En el caso del servicio de Backhaul Móvil, se ha logrado obtener un enlace asimétrico en correspondencia con las demandas del servicio (Telefonía Móvil e Internet).
- Se ha logrado optimizar los recursos del ancho de banda alquilado.

**Propuesta 2: Implementación y optimización de los servicios de Respaldo a la TDT (SD/HD), Backhaul Móvil y TV de Contribución en Banda Ku utilizando satélite HTS y el estándar de portadoras satelitales DVBS2X [6].**

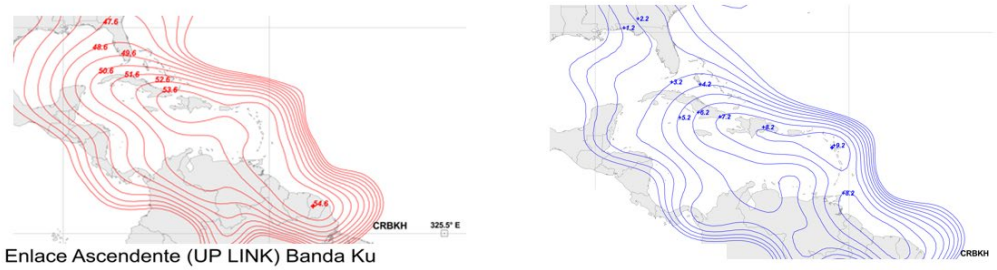
En este caso, se implementarán enlaces dúplex para los servicios de Backhaul Móvil, tanto en modo simétrico como asimétrico, así como enlaces simplex para el respaldo a la TDT (SD/HD) y la TV de Contribución.

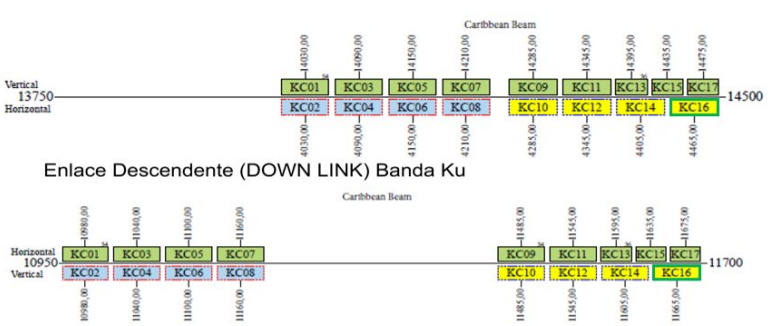
Los objetivos de esta propuesta son:

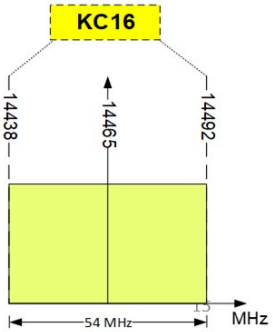
- Reunir todos los servicios (Backhaul Móvil asimétrico, respaldo a la TDT (SD/HD) y TV de Contribución) en una sola banda satelital alquilada.
- Lograr mejoras en el desempeño de cada uno de los enlaces, optimizando la utilización del espectro y los recursos disponibles.

Es importante destacar que las propuestas conllevan un proceso de inversión, diseño del modelo de negocios y alquileres de nuevas capacidades satelitales, lo que implica la generación de costos para la empresa. Sin embargo, debido al impacto social que tendrán estos servicios, se considera necesaria su implementación. Estos servicios de telecomunicaciones por satélite permitirán extender la cobertura y mejorar la calidad de los servicios de comunicaciones en zonas geográficamente desfavorables, beneficiando a las comunidades y contribuyendo al desarrollo socioeconómico del país.

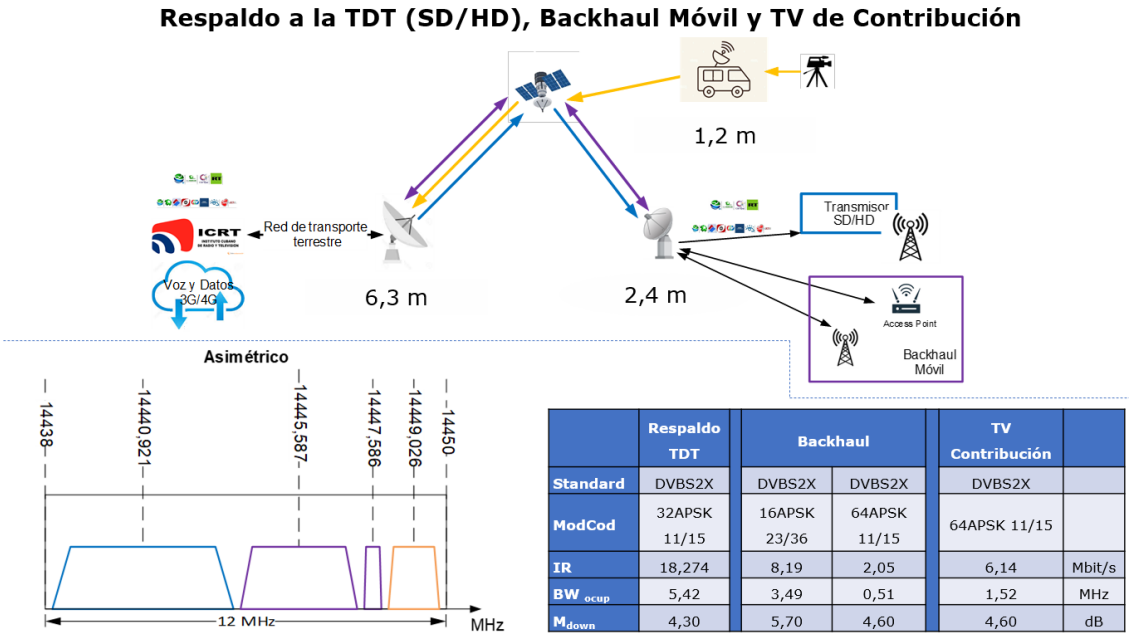
Parámetros del satélite:



Esquema y principales resultados:




| | Respaldo TDT | Backhaul | | TV Contribución | |
|---|---|---|---|---|---|
| Standard | DVBS2X | DVBS2X | DVBS2X | DVBS2X | |
| ModCod | 32APSK 11/15 | 16APSK 23/36 | 64APSK 11/15 | 64APSK 11/15 | |
| IR | 18,274 | 8,19 | 2,05 | 6,14 | Mbit/s |
| $BW_{ocup}$ | 5,42 | 3,49 | 0,51 | 1,52 | MHz |
| $M_{down}$ | 4,30 | 5,70 | 4,60 | 4,60 | dB |

Análisis de los resultados:

- Se ha asegurado la conectividad del enlace para todas las estaciones terrenas.
- En este caso, se ha priorizado la robustez de los enlaces frente a los desvanecimientos, sacrificando la velocidad de información. Esto se refleja en los valores de los márgenes descendentes.
- Se han obtenido valores óptimos de AUPC (Control Automático de Potencia de Subida) que respaldan la robustez de los enlaces.
- La combinación de valores elevados en el rango de ACM (Modulación y Codificación Adaptativa) y AUPC resulta en rangos totales máximos, lo que proporciona una mayor protección contra degradaciones causadas por condiciones atmosféricas y una mayor disponibilidad de los enlaces.
- Se ha logrado utilizar una gran parte del ancho de banda alquilado, cumpliendo así con el objetivo principal establecido.

**Optimización de la portadora del servicio de respaldo a la TDT utilizando el códec H.265.**

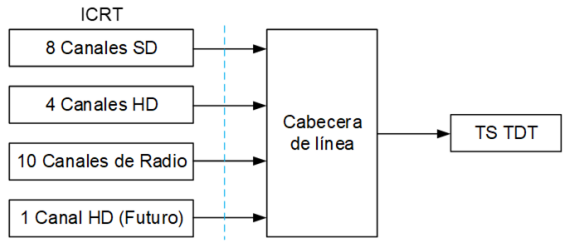
El objetivo de este servicio es hacer llegar la señal de televisión a los centros transmisores en casos de contingencia y a lugares remotos por su difícil acceso, manteniendo la velocidad de información considerada en el estándar DTMB: 18.274 Mbps [8].

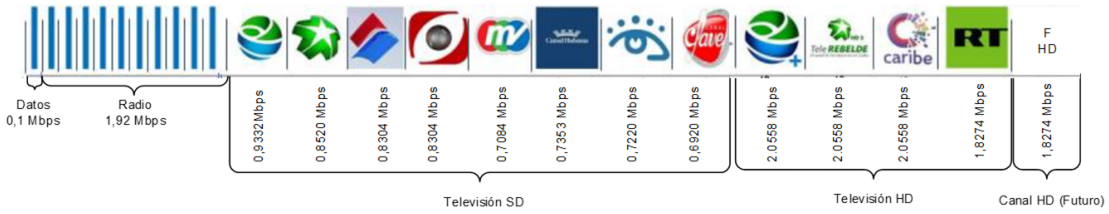
En este escenario se plantea una solución para transmitir todos los canales, tanto en definición estándar (SD) como en alta definición (HD), utilizando una tasa de datos de 18.274 Mbps, de acuerdo con el estándar DTMB. Además, se incluirán los canales de Radio y dos canales de Contribución. El objetivo principal es respaldar todos estos servicios de radiodifusión.

Actualmente, se está utilizando el codec de video H.264/AVC para comprimir este servicio, como se indica en la Tabla 3.21. Sin embargo, para cumplir con esta solución, se implementará el nuevo codec de video H.265/HEVC, el cual ofrece una mayor eficiencia de compresión, reduciendo entre un 40% y un 50% el tamaño de los datos en comparación con H.264.

En la solución planteada, usando el 40% de compresión de H.265 respecto a H.264, los 18,274 Mbps quedan distribuidos de la forma:

| | | |
|---|---|---|
| **TV SD** | 6.3037 | Mbps |
| **Canal HD (Futuro)** | 2.055825 | Mbps |
| **HD** | 7.76645 | Mbps |
| **Radio** | 2.048 | Mbps |
| **Datos** | 0.1 | Mbps |
| **Total** | **18.274** | **Mbps** |




Análisis de los resultados:

- Se ha garantizado la transmisión de la televisión en definición estándar (SD) y alta definición (HD) en toda la cobertura de la huella satelital.
- Se ha logrado incorporar todos los servicios requeridos en la misma tasa de datos de 18,274 Mbps, cumpliendo así con el objetivo principal establecido.
- Este enfoque simplifica la operación y el mantenimiento del sistema, al evitar la necesidad de gestionar múltiples TS y garantizar una experiencia homogénea para los usuarios de la huella satelital.
- Simplifica el sistema de centros transmisores de TDT al unificar todos los canales en una sola portadora, liberando transmisores que pueden ser reutilizados en zonas sin cobertura. La capacidad de transmitir tanto televisión SD como HD proporciona una mayor flexibilidad para los usuarios, permitiéndoles disfrutar de una variedad de contenidos con diferentes niveles de calidad de imagen.

## 4. CONCLUSIONES

Con los resultados alcanzados mediante la realización del presente trabajo se arribó a las siguientes conclusiones:

- Los ejemplos de configuraciones, cálculos de presupuesto de enlaces satelitales y simulaciones realizados han permitido demostrar la escalabilidad y flexibilidad de la red propuesta. Esto evidencia la capacidad de adaptación y crecimiento de la solución, lo cual es fundamental para satisfacer las necesidades futuras de la empresa.

- Se ha demostrado la utilidad del uso combinado de métodos como AUPC (Adaptive Uplink Power Control) y ACM+AUPC (Adaptive Coding and Modulation + Adaptive Uplink Power Control) para lograr un mejor uso de los recursos del satélite y mitigar los efectos del desvanecimiento por condiciones atmosféricas en los enlaces satelitales que emplean DVB-S2X. Estos métodos combinados han resultado ser mucho más efectivos que utilizarlos por separado.

- Se ha evidenciado la ventaja en el uso de satélites HTS (High Throughput Satellite) para lograr mayores velocidades y eficiencia en los enlaces satelitales. Esto representa un avance significativo en términos de capacidad y calidad de servicio.

- La utilización de códecs de compresión más avanzados como H.264 y H.265 ha posibilitado el aumento del número de servicios que pueden ser transmitidos utilizando la misma velocidad de información. Esto representa una optimización significativa en el uso del ancho de banda satelital disponible.

- La consolidación efectiva de los servicios mencionados, la maximización del uso del ancho de banda disponible y la mejora en la calidad y eficiencia de la transmisión han sido los principales logros de este proyecto. Cabe destacar que la implementación de estas soluciones estará sujeta al análisis del impacto económico-social y la relación costo-beneficio, lo cual permitirá generar futuros modelos de negocio.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecer especialmente a todos los que de una u otra forma han hecho posible la realización de este trabajo, los profesores que con sus clases y enseñanzas han contribuido en nuestra formación profesional y a la vinculación Universidad-Empresa demostrando su eficacia en la solución de problemas y la proyección de nuevos servicios de telecomunicaciones, lo cual es fundamental para el desarrollo y la competitividad del sector.

## REFERENCIAS

[1] R. Fernández, "Optimización de los modelos de contratación de recursos satelitales," Universidad de La Habana, Cuba, 2022.
[2] S. K. Sharma, J. Q. Borras, N. Maturo, S. Chatzinotas, and B. J. I. C. L. Ottersten, "System modeling and design aspects of next generation high throughput satellites," vol. 25, no. 8, pp. 2443-2447, 2020.
[3] I. Networks. (2024). What are High Throughput Satellites? (HTS). Available: https://www.iplook.com/info/what-are-high-throughput-satellites-hts-i00331i1.html
[4] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB- S2X)," ETSI EN 302 307-2 V1.4.1, 2024-05.
[5] J. A. Maldonado Jimenez, "Diseño De Un Enlace De Internet Satelital Certificado En Banda C Para Un Operador De Telecomunicaciones En La Ciudad De Caballococha, Departamento De Loreto," 2021.
[6] E. D. S. Pérez, "Propuesta de optimización de Banda satelital alquilada por ETECSA para servicios ocasionales y de contingencia.," Departamento de Telecomunicaciones y electrónica, CUJAE, 2024.
[7] F. B. Valdés, "Propuesta de respaldo (backhaul) satelital para telefonía móvil," Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, 2023.
[8] H. V. Salgado, "Propuesta de Arquitectura de Red para servicios de Televisión Digital, Nacional e Internacional," Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, CUJAE, 2021.

**Sobre los autores:**
Primer Autor: Ing. Elio David Sánchez Pérez
Institución: CIT Jaruco Vicepresidencia de Operaciones de ETECSA
Labor que desempeña: Ingeniero en adiestramiento laboral.
Correo: eliodavidsanchezperez11@gmail.com
Móvil: +53 55424693

Segundo Autor: MsC. Pablo Jesús Echenique Véliz
Categoría Científica: Máster en Sistemas de Telecomunicaciones
Categoría docente: Asistente
Institución: CIT Jaruco Vicepresidencia de Operaciones de ETECSA
Labor que desempeña: Jefe de Grupo de Soporte Técnico
Correo: pablo.echenique@etecsa.cu
Móvil: +53 52180348

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPLEMENTACIÓN UN SISTEMA DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE EMPLEANDO GNU RADIO SOPORTADO SOBRE RASPBERRY PI 4 Y LOS DISPOSITIVOS SDR ADALM-PLUTO Y RTL-SDR R820T2.

**María Camila Reyes Díaz[1], Elizabeth Duarte Pérez[2]**

[1,2]Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Departamento de Telecomunicaciones, Telef: +53 48 779362, Calle Martí Final No. 270, esquina 27 de Noviembre, Pinar del Río, Cuba, C.P 20100
[1]e-mail: camila.reyesw01@gmail.com

**RESUMEN**

La tecnología de radio definida por software (SDR) permite la creación de sistemas de radiocomunicaciones utilizando un mínimo de hardware, ya que el procesamiento se realiza en un equipo externo. Esto posibilita la implementación de diversos sistemas de radiocomunicación sin necesidad de realizar modificaciones en el hardware, simplemente mediante el rediseño del software. El SDR consta de dos componentes principales: el equipo SDR, que maneja las señales de radiofrecuencia, y un ordenador, que se encarga de generar o procesar las muestras de la señal para su transmisión o recepción a través del SDR. En este contexto, GNU Radio es una herramienta de desarrollo que proporciona bloques de procesamiento de señales para la implementación de sistemas de radio definida por software. Este artículo expone el diseño e implementación de un sistema de comunicación digital con modulación QPSK, empleando como transmisor el dispositivo SDR Adalm Pluto y como receptor el RTL-SDR. Ambos extremos están soportados por miniordenadores Raspberry Pi 4 modelo B, que tienen como ventaja su eficiencia, portabilidad y facilidad de trabajo con los dispositivos SDR. Se comprueba la eficacia de la comunicación al realizar comprobaciones de la señal en el receptor. Como resultado, se dispone de una aplicación de sistema de comunicación basado en la tecnología SDR con el software GNU Radio, que resulta de utilidad para la enseñanza de asignaturas afines.

**PALABRAS CLAVES:** SDR, GNU Radio, Raspberry Pi.

## IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEM USING GNU RADIO SUPPORTED ON RASPBERRY PI 4 AND SDR DEVICES ADALM-PLUTO AND RTL-SDR R820T2.

**ABSTRACT**

Software Defined Radio (SDR) technology enables the creation of radio communication systems using minimal hardware, as processing is performed on external equipment. This allows for the implementation of various radio communication systems without the need to modify the hardware, simply by redesigning the software. SDR consists of two main components: the SDR equipment, which handles radio frequency signals, and a computer, which is responsible for generating or processing signal samples for transmission or reception through the SDR. In this context, GNU Radio is a development tool that provides signal processing blocks for the implementation of software-defined radio systems. This article presents the design and implementation of a digital communication system with QPSK modulation, using the Adalm Pluto SDR device as the transmitter and RTL-SDR as the receiver. Both ends are supported by Raspberry Pi 4 Model B mini-computers, which offer advantages such as efficiency, portability, and ease of working with SDR devices. The effectiveness of the communication is verified by conducting signal checks at the receiver. As a result, a communication system application based on SDR technology with GNU Radio software is available, which is useful for teaching related subjects.

**KEY WORDS:** SDR; GNU Radio, Raspberry Pi.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Radio Definida por Software (SDR, *Software Defined Radio*) representa un avance significativo en el campo de las radiocomunicaciones, revolucionando la forma en que se gestionan las señales de radio. A diferencia de los sistemas tradicionales que dependen de componentes de hardware específicos, la SDR implementa estas funciones a través de software, utilizando computadoras personales o dispositivos embebidos. Según el Wireless Innovation Forum, en colaboración con IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), se define como "una radio en la que algunas o todas las funciones de la capa física están definidas por software". Esta característica permite que una SDR sea reprogramable y reconfigurable, lo que significa que su hardware puede realizar diversas operaciones simplemente modificando su configuración mediante software o firmware.

La flexibilidad y capacidad de adaptación son dos de las principales características de un sistema SDR, gracias a su arquitectura basada en software, la cual se divide en tres secciones fundamentales: Radiofrecuencia (RF), Frecuencia Intermedia (FI) y Banda Base.

La sección de RF es responsable de la recepción y transmisión de señales en el espectro de radiofrecuencia. Durante esta etapa, se ajustan los niveles de señal mediante amplificadores, se eliminan componentes espectrales indeseadas con filtros y se ajusta la frecuencia de sintonía mediante osciladores locales y mezcladores. Las arquitecturas más comunes para implementar la etapa de RF son la superheterodina clásica y las técnicas de conversión directa, también conocidas como FI-Cero (Zero-IF). La calidad de la señal recibida y la eficiencia de la transmisión dependen en gran medida de esta sección.

Actuando como un puente entre la RF y la banda base, la sección de FI convierte la señal de RF a una frecuencia intermedia más manejable, facilitando su procesamiento. Esta conversión se lleva a cabo mediante mezcladores y filtros, que ayudan a reducir el ruido y mejorar la selectividad de la señal.

El procesamiento digital de señales (DSP) en un SDR ofrece ventajas significativas sobre las técnicas analógicas tradicionales. Una de las principales ventajas es la capacidad de adaptar el hardware a múltiples configuraciones de software para diversas aplicaciones. Esto ha llevado al desarrollo de bloques DSP, así como al uso de microprocesadores específicos y FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) para manejar digitalmente las muestras recibidas y generar señales a partir de códigos de bajo nivel.

El funcionamiento de los SDR se inicia cuando el procesador digital de señales recibe los datos de entrada en código binario que se desea transmitir, después de que la señal ha sido modulada. El DSP analiza este archivo en tiempo real, generando una señal representada en forma de números complejos que simbolizan la onda sinusoidal a transmitir en banda base. Esta señal ya incorpora las características deseadas de la transmisión, tanto en términos de frecuencia como de ancho de banda. A continuación, la información se envía a un conversor digital-analógico (DAC), el cual transforma las instrucciones del DSP en pulsos de energía. Estos pulsos son luego transmitidos a través de la antena. En este sentido, el procesamiento de la información es gestionado por el DSP, que ejecuta las instrucciones necesarias para llevar a cabo este proceso. (1)

En un SDR receptor, la recepción de la señal se realiza en varias etapas. Primero, la señal electromagnética capturada por la antena se convierte en una señal digital gracias a un convertidor analógico-digital (ADC) que opera a una tasa de muestreo específica. Una vez muestreada, la señal es enviada al DSP del receptor, donde se elimina la modulación aplicada por el transmisor para obtener una señal más comprensible. Finalmente, la señal demodulada se dirige al decodificador, donde se interpretan y convierten los datos originales transmitidos. En esta etapa, se pueden implementar técnicas de corrección de errores y sincronización para garantizar la integridad de la información recuperada. Así, todos aquellos aspectos que en las arquitecturas de radio tradicionales eran tratados como bloques analógicos se transforman en códigos que ejecutan esquemas de modulación y demodulación, codificación y decodificación, y detección y corrección de errores, así como protocolos de radio para diferentes estándares. Cada una de estas etapas es esencial para asegurar una correcta captura y extracción de la información transmitida por el transmisor.

Las SDR no solo permiten comunicarse de forma segura a través de distancias, sino que también facilitan la recepción de emisiones de radiodifusión y radioaficionados, así como la configuración de transmisores DRM (Sistema de Gestión de Derechos Digitales). Además, ofrecen un receptor de radio asequible y pueden combinarse con software para incorporar funciones de análisis del espectro, detectar interferencias y verificar el funcionamiento de sistemas de repetidor.

Entre las ventajas de la SDR se destaca su capacidad para recibir y transmitir diferentes métodos de modulación utilizando un conjunto de hardware común. También permite modificar funciones mediante la descarga de nuevo software, lo que brinda a los usuarios la flexibilidad de elegir una frecuencia de operación y el modo que mejor se adapte a las condiciones reinantes. Esta adaptabilidad garantiza un futuro prometedor para las redes de comunicación basadas en SDR.

La tecnología SDR brinda grandes oportunidades de cara a la docencia e investigación, abaratando los recursos necesarios para el trabajo en el laboratorio y potenciando los conocimientos teóricos en la dimensión práctica, por lo que resulta sumamente útil para un estudiante, tanto desde el punto de vista docente como de investigación, contar con experiencias en el diseño e implementación de sistemas SDR.

Este artículo describe la implementación de un sistema de radio definida por software para la transmisión y recepción de señales QPSK, soportados ambos extremos del sistema sobre miniordenadores Raspberry PI 4, que tienen como ventaja su eficiencia, portabilidad y facilidad de trabajo con los dispositivos SDR. Se hace uso de la herramienta GNU Radio, y los dispositivos SDR ADALM-PLUTO y RTL-SDR R820T2.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera: se comienza describiendo las funcionalidades de las Raspberry Pi para trabajar con sistemas SDR y el software GNU Radio. Posteriormente se describe la implementación del transmisor y el receptor en GNU Radio haciendo uso de los dispositivos SDR ya mencionados como fuentes externas, y se comprueban los resultados obtenidos al efectuar la comunicación entre ambos extremos. Finalmente, se exponen las conclusiones de la investigación.

## 2. RASPBERRY PI: EVOLUCIÓN Y APLICACIONES EN PROYECTOS DE RADIO

La Raspberry Pi es una serie de ordenadores monoplaca, también conocidos como ordenadores de placa simple (SBC por sus siglas en inglés, *Single Board Computer*), desarrollada por la Raspberry Pi Foundation en el Reino Unido. Su objetivo inicial era democratizar el acceso a la informática y la creación digital, promoviendo la enseñanza de la informática en escuelas. A pesar de que la Raspberry Pi comenzó como una herramienta educativa, su popularidad superó las expectativas, encontrando aplicaciones en una amplia gama de campos, incluyendo la robótica.

El sistema operativo oficial de la Raspberry Pi es una versión adaptada de Debian, conocida como Raspberry Pi OS, aunque también permite el uso de otros sistemas operativos. En todas sus versiones, cuenta con un procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet (ausente en el primer modelo), 40 pines GPIO (desde la Raspberry Pi 2) y un conector para cámara. Cabe destacar que ninguna de sus ediciones incluye memoria interna; la primera versión usaba una tarjeta SD, mientras que las versiones posteriores emplean tarjetas MicroSD. Desde su lanzamiento en 2012, la Raspberry Pi ha evolucionado significativamente, siendo reconocida por su tamaño compacto, bajo costo y versatilidad, lo que la ha convertido en una herramienta predilecta para entusiastas de la tecnología, educadores y desarrolladores.

En particular, la Raspberry Pi 4 B se destaca como una opción ideal para proyectos de radio con SDR. Su diseño incluye un potente procesador de cuatro núcleos y hasta 8 GB de RAM, lo que le permite manejar tareas intensivas en procesamiento de señales de radio con mayor eficiencia que la mayoría de los ordenadores comunes. La conectividad avanzada que ofrece, con puertos USB 3.0 para una rápida transferencia de datos, es crucial para la transmisión y recepción de señales de radio SDR de alta velocidad. Además, su integración de Gigabit Ethernet y Wi-Fi facilita la conexión a redes y la transmisión de datos por medio de Internet.

Otra ventaja significativa de la Raspberry Pi 4 es su amplia compatibilidad con diferentes softwares SDR y bibliotecas, lo que proporciona flexibilidad para adaptarse a diversas necesidades en aplicaciones de radio definida por software. Adicionalmente, su bajo consumo energético la convierte en una opción perfecta para proyectos que requieren un alto rendimiento sin sacrificar la eficiencia en el uso de energía, en contraste con muchos ordenadores convencionales que pueden resultar más costosos en términos de energía. Esta combinación de beneficios posiciona a la Raspberry Pi 4 B como una herramienta poderosa y accesible para el desarrollo en el campo de la radiocomunicación moderna.

## 3. GNU RADIO

PiSDR es un sistema operativo basado en Raspbian diseñado específicamente para la Raspberry Pi, que viene precargado con múltiples softwares de radio definida por software (SDR). Su propósito es ofrecer un arranque rápido y confiable para proyectos de SDR, facilitando el acceso a esta tecnología a usuarios de todos los niveles de experiencia. Entre sus principales características se destacan una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva, que simplifica el acceso a funciones complejas de SDR, y la capacidad de procesamiento de señales en tiempo real, permitiendo realizar tareas avanzadas como demodulación y filtrado. Además, PiSDR es compatible con una amplia gama de dispositivos SDR, incluidos RTL-SDR, Airspy y HackRF, así como con aplicaciones populares como SDR++, CubicSDR y GQRX. Su integración con el hardware de Raspberry Pi permite controlar dispositivos externos, lo que amplía aún más sus posibilidades. Además, la comunidad activa en línea de PiSDR proporciona soporte y recursos, lo que lo hace aún más atractivo para los usuarios.

Entre los softwares principales que contiene este sistema operativo se encuentra GNU Radio, una herramienta de desarrollo libre y abierta que proporciona bloques de procesamiento de señal para implementar sistemas SDR. Esta plataforma puede utilizarse con hardware de RF de bajo costo para crear radios definidas por software o en un entorno de simulación sin hardware. GNU Radio es ampliamente utilizada en entornos académicos, por aficionados y en aplicaciones comerciales, apoyando la investigación en comunicaciones inalámbricas y sistemas de radio en el mundo real.

Las aplicaciones de GNU Radio se pueden desarrollar a través de un entorno gráfico conocido como GNU Radio Companion o mediante el uso directo del lenguaje de programación Python. Para las secciones que requieren un alto rendimiento, se utiliza C++, especialmente en sus librerías. Esto permite a los programadores configurar sistemas de radio en tiempo real con alta eficiencia, utilizando un entorno de desarrollo ágil.

Es importante destacar que GNU Radio es un paquete de procesamiento de señales distribuido bajo la licencia GNU GPL, lo que garantiza que todo el código es accesible para el público. Esto permite a los usuarios explorar el espectro electromagnético de manera técnica y profunda, ayudándoles a comprender el espectro de radio y familiarizarse con sus aplicaciones. GNU Radio ofrece dos modos de trabajo: mediante programación en Python o C++, que proporciona mayor control al usuario, y un modo gráfico, que es más básico y se centra en la conexión de bloques, donde cada bloque representa un comportamiento distinto que puede ser organizado en paralelo o en serie.

## 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Las funcionalidades y ventajas que ofrecen los miniordenadores Raspberry Pi, especialmente al utilizar el Sistema Operativo PiSDR, son fundamentales para optimizar el trabajo con los SDR (*Software-Defined Radio*). Además, la versatilidad y las capacidades de procesamiento de GNU Radio permiten configurar transmisores y receptores capaces de manejar la información de los SDR de manera eficiente, convirtiéndose en herramientas esenciales en este campo. Teniendo en cuenta estos aspectos, se propone un esquema general que integra la operatividad de los SDR con las capacidades mejoradas que proporcionan los miniordenadores Raspberry Pi y el software GNU Radio, como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1: Esquema general del sistema implementado.

En general, el proceso que se llevará a cabo implica tomar una fuente de información en formato de audio y aplicarle una modulación en QPSK. El esquema de modulación se realizará a través del software GNU Radio, el cual ya está instalado en la Raspberry Pi 4 B.

La señal resultante de la modulación será transmitida por el SDR Adalm Pluto y recibida por el RTL-SDR R820T2, que estará conectado a otra Raspberry Pi. Una vez recibida la señal, se procesará utilizando nuevamente GNU Radio para realizar la demodulación y los ajustes necesarios, incluyendo el sincronismo de símbolo. De esta forma, se pretende comprobar la correcta transmisión y recepción de la fuente de información.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSMISOR

El esquema que se muestra a continuación es la representación del transmisor QPSK implementado en GNU Radio.

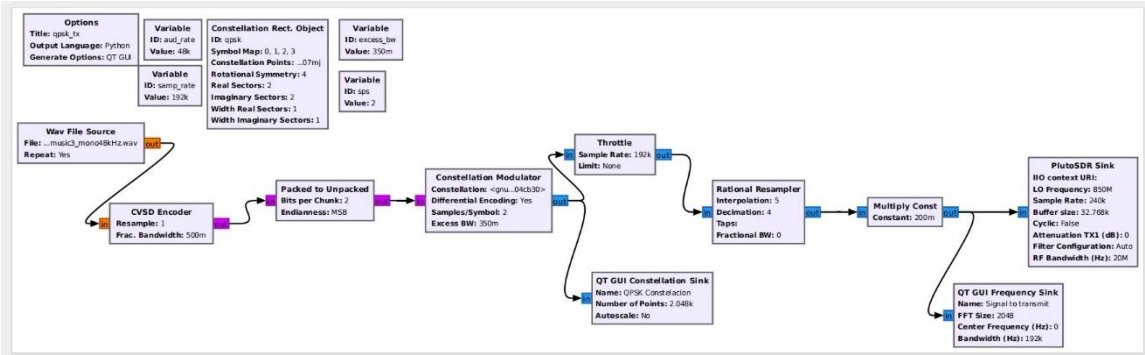



Figura 2: Esquema del transmisor implementado en GNU Radio.

El primer bloque del sistema, **Wav File Source**, es la fuente de información. En este caso, es un audio .wav (tipo de archivo de audio que almacena datos de audio en formato sin comprimir). El audio tiene una tasa de muestreo de 48 KHz, esto significa que se tomaron 48 000 muestras de audio en un segundo, para su proceso de digitalización. Además, cuenta con una profundidad de 16 bits para codificar cada muestra de audio, y tiene un solo canal de reproducción (mono), lo que implica que el sonido se escucha es un solo canal de altavoz o auricular. Para la correcta codificación de audio se utiliza el bloque **CVSD Encoder** y para la conversión de un flujo de bytes empaquetados a uno desempaquetado, el bloque **Packed to Unpacked.**

Tras esto, se está en disposición de realizar un mapeo complejo para convertir los bits de información en muestras complejas a través del bloque **Constellation Modulator**. Este es el bloque jerárquico para modulación genérica diferencial filtrada por RRC (*Raised Root Cosine* – Filtro Coseno Elevado). Los filtros RRC se usan para crear una forma de pulso específica para los datos digitales antes de transmitirlos, lo que permite que la señal que se está transmitiendo no produzca demasiada energía en los canales adyacentes, disminuyendo el efecto de la Interferencia Intersímbolos (ISI).

Este bloque tiene el parámetro *ID* (*id= qpsk)*, que lo relaciona con el bloque *Constellation Rect. Object*, el cual especifica cómo se codifican los símbolos. En *Constellation Rect. Object* también se configura el *Symbol Map* (Mapa de Símbolos), con cuatro valores que representan los cuatro puntos de la constelación. Los símbolos de la QPSK se muestran en un plano cartesiano, donde el eje horizontal representa la parte real del símbolo y el eje vertical representa la parte imaginaria. Esto permite visualizar la constelación de símbolos utilizada en la modulación y facilita la interpretación de cómo los símbolos codificados se traducen en señales de onda portadora. El próximo parámetro a tener en cuenta es *Constellation Point* (Puntos de Constelación), el orden de la lista en *Symbol Map* coincide con el orden de símbolo. Como es una modulación QPSK rotada 45 grados, entonces los símbolos son:

• Símbolo 00 (0): $0.707+j0.707$

• Símbolo 01 (1): $-0.707+j0.707$

• Símbolo 11 (2): $-0.707-j0.707$

•Símbolo 10 (3): $0.707-j0.707$

Con la correcta configuración del bloque **Constellation Modulator**, se puede realizar el mapeo complejo para convertir los bits de información provenientes de **Wav File Source**, en muestras complejas. La técnica QPSK, emplea cuatro símbolos distintos, o fases de la portadora, y asigna dos bits para representar cada símbolo. Al optar por tomar dos muestras por símbolo en el bloque *Constellation Modulator*, se adquieren dos muestras de la señal por cada símbolo a transmitir, resultando en un proceso de sobremuestreo. Este sobremuestreo contribuye a mejorar la precisión de la modulación, disminuir la interferencia intersímbolo y facilitar la detección en el receptor. Se aconseja sobremuestrear el flujo de datos digitales en un factor de x2 o x4, lo que en este caso implica la generación de muestras a una velocidad de 192 kHz (4x48 kHz).

Por otro lado, el bloque **Throttle** se encarga de regular el flujo de muestras a la salida del modulador. Cabe destacar que este bloque no altera la señal digital de ninguna manera, y usualmente se ubica al final de un bloque fuente que no es de hardware (como **Constellation Modulator)** para establecer la velocidad a la que este bloque fuente genera las muestras (2). Por ende, en este caso se establece una frecuencia de muestreo de 192 kHz ($samp_rate$ = 192 $kHz$) para asegurar un flujo adecuado de muestras. Además, este bloque evita a GNU Radio consumir todos los recursos de la CPU cuando el flujograma no está siendo regulado por hardware externo.

En esta etapa, se ha completado el procesamiento digital necesario para preparar la señal para su transmisión a través del canal correspondiente. Sin embargo, es fundamental abordar la configuración de los bloques SDR responsables de la transmisión y recepción de la señal. Para ello, es importante tener en cuenta las limitaciones de frecuencia de muestreo a las que pueden operar los dispositivos. Por ejemplo, el SDR Adalm Pluto puede funcionar a una frecuencia de muestreo de 192 kHz, ya que alcanza una tasa máxima de 61.44 Mbps. En contraste, el RTL-SDR acepta frecuencias de muestreo dentro de un rango específico, que varía entre 225 kHz y 300 kHz, y entre 900 kHz y 3.2 MHz. Debido a estas consideraciones, se decidió establecer la frecuencia de muestreo para la transmisión de la señal en 240 kHz. Para lograrlo, fue necesario utilizar el bloque **Rational Resampler**, que ajusta la frecuencia de 192 kHz a 240 kHz. Esta adaptación se realiza mediante un proceso de remuestreo en una proporción de 5/4, lo que implica interpolar cinco veces y luego decimar cuatro.

Una vez llevada la frecuencia de muestreo de la señala a 240 kHz para que pueda ser correctamente transmitida y recibida, se pasa al bloque **Multiply Const**, que multiplica la entrada por el valor especificado (0.2), y el resultado será la salida. También se encarga de regular la tarjeta secundaria para la transmisión de los datos, de esta forma, se controla la potencia de la señal que se envía a la tarjeta secundaria (disminuye), por lo que mejora la calidad de la señal en recepción y disminuye considerablemente los niveles de ruido (3).

La última etapa en el transmisor es el bloque **Pluto SDR Sink**, este bloque se encarga de transmitir la señal procesada en GNU Radio hacia el SDR Pluto para su posterior envío a través del canal de comunicación. Entre los parámetros que se configuraron se puede destacar la frecuencia del oscilador local (*LO Frequency*), que acorde a las características del dispositivo se especifica en 850 MHz y la frecuencia de muestreo (*Sample Rate),* que se definió en 240 KHz.

Es fundamental resaltar que, en un entorno de transmisión ideal, la señal recibida sería una réplica exacta de la señal emitida por el transmisor, lo que facilitaría su reconstrucción precisa y efectiva en el receptor. No obstante, en la práctica, los canales de transmisión suelen ser complejos e imperfectos, lo que resulta en la introducción de diversas distorsiones y perturbaciones durante el trayecto de la señal. Estos efectos pueden incluir, entre otros, atenuaciones, que disminuyen la amplitud de la señal; reflexiones, que generan múltiples trayectorias de la misma señal; refracciones, que alteran su dirección debido a cambios en el medio de transmisión; y réplicas difractadas, que pueden causar interferencias y distorsiones.

La presencia de estos fenómenos en el canal de transmisión convierte a las variaciones de la señal en una de las principales causas de problemas en la recepción. Estas alteraciones no solo afectan la calidad de la señal, sino que también pueden contribuir a la pérdida de información, lo que resulta en errores de decodificación y en una reducción de la eficiencia del sistema de comunicación. Por esta razón, es indispensable comprender a fondo estos fenómenos, para implementar técnicas adecuadas y efectivas para mitigar los efectos adversos de las distorsiones en la señal.

## 6. IMPLEMENTACIÓN DEL RECEPTOR

El primer paso a desarrollar por el RTL-SDR es el de sintonización y conversión de frecuencia, pues el RTL2832U actúa como un sintonizador de radio, seleccionando la frecuencia de la señal RF que se desea recibir y con un filtro pasa bajo limita un poco las señales no deseadas; posteriormente el chip R820T convierte la señal RF de alta frecuencia a una frecuencia intermedia (IF) más baja. Luego se pasa al siguiente paso, el del muestreo de la señal IF (la deseada). El RTL2832U muestrea la señal IF a una frecuencia determinada, (en este caso, 240 kHz). Esta frecuencia de muestreo determina la resolución de la señal digitalizada. Es importante destacar que los sistemas SDR convierten señales de radio a banda base para su procesamiento, utilizando arquitecturas como superheterodina y conversión directa (Zero-IF).

A continuación, se procede a la conversión de la señal a analógica a través del chip R820T, generando una señal que se envía a la computadora a través del puerto USB. La computadora es la encargada del procesamiento de señales ya que recibe la señal y la procesa utilizando software SDR como GNU Radio o SDR++.

Se muestra en la siguiente imagen el esquema completo del receptor.

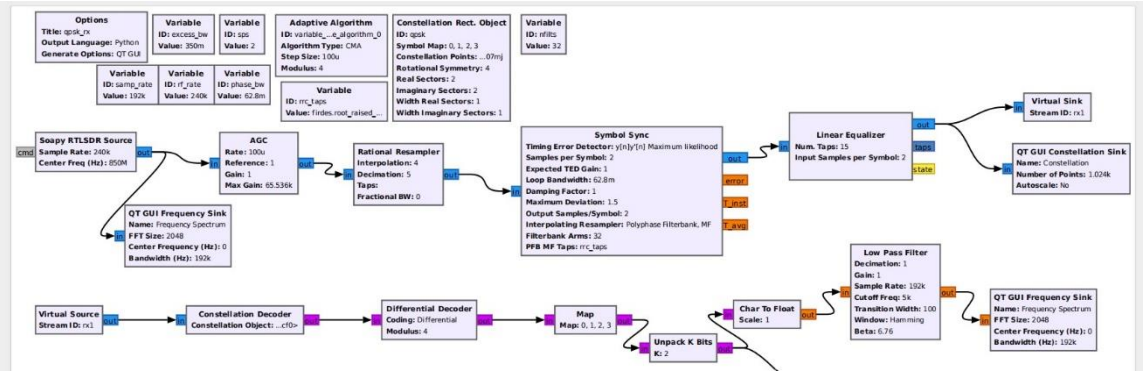



Figura 3: Esquema del receptor implementado en GNU Radio.

El primer bloque que se encuentra en el receptor es **Soapy RTLSDR Source**, el cual funciona como receptor de las señales captadas por el dispositivo SDR conectado y entrega la señal en valores complejos, configurándole como parámetros la frecuencia de muestreo (*Sample Rate)* que se define como 240 kHz; la frecuencia central (*Center Freq.)* como se explicó en el transmisor es de 850 MHz. Otro parámetro importante es partes por millón (*ppm*), que permite realizar una corrección a la frecuencia de *offset* (ligero desplazamiento de frecuencia entre transmisor y receptor debido a las imperfecciones de hardware), en este caso se utilizó una corrección de 75 ppm.

El bloque **AGC** (Control ganancia automática de alto rendimiento) persigue el propósito de mantener una amplitud de señal adecuada en su salida, a pesar de la variación de la amplitud de la señal en la entrada. El nivel de señal de salida promedio o pico se utiliza para ajustar dinámicamente la ganancia de los amplificadores, lo que permite que el circuito funcione satisfactoriamente con una mayor variedad de niveles de señal de entrada.

Para bajar la frecuencia de muestreo nuevamente a 192KHz se utiliza el bloque **Rational Resampler**, como mismo se vio en la descripción del transmisor, pero con los valores de interpolación y decimación invertidos y así bajar de 240KHz a 192KHz.

En un sistema QPSK, tanto la portadora en fase (I) como en cuadratura (Q) deben estar perfectamente alineadas en tiempo y frecuencia con la señal transmitida. Si hay un desfase, se produce una confusión en la demodulación, ya que el receptor no puede discernir correctamente los símbolos transmitidos. Esto puede resultar en errores de bit significativos. A esto se suma la presencia de factores como la interferencia, el

ruido, y el multitrayecto, propio de los canales de radiofrecuencia. Es por esta razón que, antes de realizar la demodulación, la señal es procesada los bloques **Symbol Sync** y **Linear Equalizer**.

El bloque **Symbol Sync** (Sincronización de símbolo) realiza la recuperación del reloj. Este opera un lazo, típicamente una longitud de muestreo de un símbolo, y luego ajusta este bucle hasta que está correctamente alineado con cada símbolo de la serie. Posteriormente el **Linear Equalizer** (Ecualizador lineal) iguala la señal entrante usando un filtro FIR. Este bloque es un ecualizador ciego el cual procesa la señal digital infiriendo la señal transmitida a partir de la señal recibida, al tiempo que se hace uso únicamente de las estadísticas de señales transmitidas. Este bloque usa un algoritmo adaptativo de la forma CMA (Constant Modulus Algorithm, Algoritmo de Módulo Constante) el cual se utiliza para ajustar los coeficientes del ecualizador en un sistema de comunicaciones. Su objetivo es minimizar la desviación de la señal de un módulo constante, lo que ayuda a recuperar la forma original de la señal.

Se procede luego a la decodificación con el bloque **Constellation Decoder** que decodifica los puntos de una constelación desde un espacio complejo a basados en el mapa de la constelación obteniéndose símbolos de 0 a 3 porque este es el tamaño del alfabeto en un esquema QPSK. Introduciéndose para este bloque únicamente como parámetro la constelación que se utiliza, la cual es la QPSK. Para eliminar la ambigüedad de fase (ya que podemos tener un desfasaje de 90º) se utiliza el **Differential Decoder** para así obtener correctamente los puntos de la constelación. Decodificación diferencial es una técnica utilizada para proporcionar una recepción de señal inequívoca cuando se utilizan algunos tipos de modulación. Hace que los datos a transmitir dependan no sólo del estado actual de la señal (o símbolo), sino también de la anterior. Se especifica para este bloque la codificación que se establece como diferencial y la modulación que es de orden 4. Al utilizar Decodificador Diferencial para traducir los símbolos codificados diferenciales de nuevo a sus símbolos originales debido a las transiciones de fase. Pero incluso después de esto los símbolos no están exactamente bien por lo cual hace falta realizar la identificación de los símbolos basándose en un mapa por lo que se utiliza el bloque **Map** para convertir los símbolos del decodificador diferencial a los símbolos originales que se transmitieron, introduciéndole a este bloque como parámetros los valores de mapeo, en este caso 0,1,2,3 que son los cuatro valores de la modulación.

Una vez obtenida la señal digital originalmente transmitida, se procede al análisis de su espectro en frecuencia. Antes de esto, se utiliza el bloque **Char to Float**, para hacer una conversión del tipo de información y la señal pueda ser filtrada por un filtro paso bajo gracias al bloque **Low Pass Filter**, que filtra solo el espectro de la señal necesaria.

## 7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para comprobar la correcta transmisión y recepción de la señal de audio enviada, se procede a analizar el espectro en frecuencia en diferentes puntos de los esquemas implementados en GNU Radio.

De lado del transmisor se verifica, en primer lugar, que el proceso de modulación se haya implementado correctamente, por lo que se analiza la constelación de la modulación luego del bloque **Constellation Modulator**. Puede apreciarse en la Figura 4 un mayor número de muestras en los cuatro puntos de la constelación, que representan los símbolos o estados que pueden ser transmitidos.

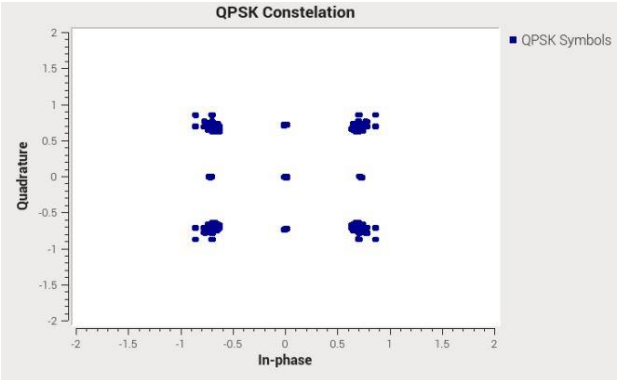



Figura 4: Constelación luego de la modulación QPSK

Luego se analiza el espectro en frecuencia de la señal modulada, que será envida a través del bloque **PlutoSDR Sink**.

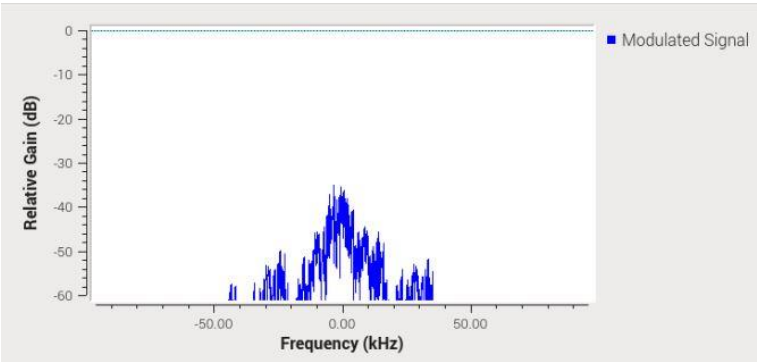



Figura 5: Espectro en frecuencia de la señal modulada antes de ser transmitida.

De lado del receptor, se observa en la Figura 6 el espectro de la señal recibida. Cabe destacar que, gracias a las correcciones de frecuencia realizadas, la señal se encuentra centrada en cero.

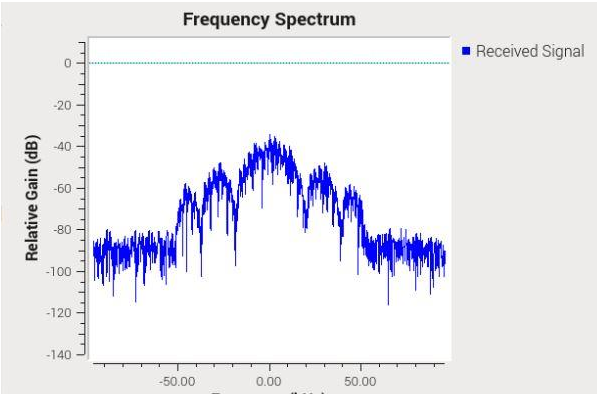


Figura 6: Espectro en frecuencia de la señal recibida.

Es importante analizar el efecto que producen los bloques **Symbol Sync** y **Linear Equalizer** en la señal. El bloque **Symbol Sync**, como se explicó con anterioridad, realiza la sincronización de tiempo necesaria para que la señal se muestree exactamente en el tiempo correcto, además de que la filtra adecuadamente. Luego del bloque **Symbol Sync**, está el **Linear Equalizar**. Si bien ambos convergen de forma independiente, una etapa afectará la siguiente, por lo que la correcta corrección de errores en el **Symbol Sync** influye positivamente en el rendimiento del ecualizador.

Antes de atravesar el ecualizador, la señal recibida puede distorsionarse debido a trayectorias múltiples, lo que produce una señal de baja calidad con distorsiones. El ecualizador tiene la capacidad de corregir estos efectos, generando una salida de señal nítida y agradable. Al aplanar el canal y corregir los efectos no deseados como atenuaciones y distorsiones, el ecualizador iguala la respuesta en frecuencia del canal, mejorando la calidad de la señal recibida y facilitando su decodificación precisa. Cuando se ejecuta el ecualizador, lo único importante es converger en el círculo unitario (4) (Figura 7). Por tanto, se necesitan otros mecanismos para corregir los desplazamientos de fase y frecuencia y lograr de esa manera obtener con fidelidad la señal originalmente transmitida.

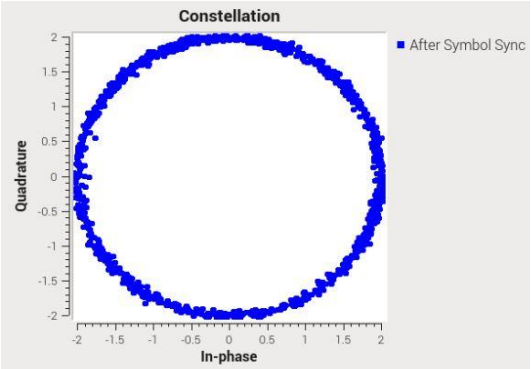



Figura 7: Constelación luego del sincronismo de símbolo y del ecualizador linear.

La imagen que se muestra a continuación (Figura 8) describe el último proceso del sistema, que consiste en filtrar la señal para obtener solo el rango de frecuencias deseado y limitar aún más el ruido.

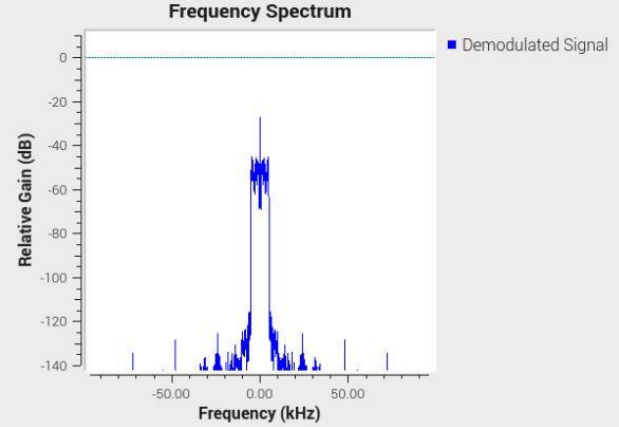



Figura 8: Espectro en frecuencia de la señal demodulada y filtrada.

En la siguiente ilustración (Figura 9), se muestra la implementación y puesta en práctica de los sistemas transmisor y receptor, diseñados en GNU Radio, y los componentes utilizados (Raspberry Pi modelo B, Adalm Pluto SDR, y RTL SDR R820T2)



Figura 9: Componentes del sistema implementado.

## 8. CONCLUSIONES

El presente artículo ha evidenciado el potencial de la herramienta GNU Radio Companion en el diseño e implementación de sistemas de Radio Definida por Software (SDR) Los objetivos establecidos al inicio del estudio se han cumplido satisfactoriamente. En particular, se logró implementar con éxito los extremos transmisor y receptor del sistema SDR utilizando el software GNU Radio, respaldado por miniordenadores Raspberry Pi 4. La elección de estos dispositivos ha demostrado ser eficaz en términos de eficiencia, portabilidad y facilidad de uso, facilitando así la interacción con los dispositivos SDR Adalm-Pluto y RTL-SDR R820T2.

Además, la comunicación a través del canal de radio fue efectivamente establecida, lo que valida la funcionalidad del diseño y la implementación del sistema. Como resultado, se ha desarrollado una aplicación de sistema de comunicación basado en tecnología SDR que no solo sirve como herramienta

docente, sino que también se configura como un recurso valioso para la investigación, permitiendo a los estudiantes y profesionales explorar y experimentar con tecnologías de vanguardia en el ámbito de las telecomunicaciones.

## REFERENCIAS

1. García Sánchez, Diego. *Viabilidad de las Contra-Medidas Electromagnéticas (ECM) mediante Radio Definida por Software (SDR).* Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar. Zaragoza : s.n., 2019. Tesis Fin de Grado .
2. Wiki GNU Radio. [En línea] 22 de Noviembre de 2023. [Citado el: 12 de Mayo de 2024.] https://wiki.gnuradio.org/index.php/Throttle.
3. Nieva Suárez, Daniel Andrés y Sanabria Lemos, Jose Ricardo. *Sistema de comunicación SDR para modulación PSK y QAM.* Departamento de Automática y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali : s.n., 2018. Proyecto de Grado.
4. Wiki GNU Radio. [En línea] 13 de Enero de 2024. [Citado el: 10 de Mayo de 2024.] https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=QPSK_Mod_and_Demod.

## sobre los autores

**María Camila Reyes Díaz:** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Recién graduada, Profesor de la Universidad de Pinar del Río, Cuba. camila.reyesw01@gmail.com

**Elizabeth Duarte Pérez:** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Máster en Sistemas de Telecomunicaciones, Profesor de la Universidad de Pinar del Río, Cuba. *elizabet@tele.upr.edu.cu*

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SIMULACIÓN DE SUPERFICIE REFLECTANTE INTELIGENTE PARA AMBIENTES VEHICULARES EN MATLAB

**Ana Paula Suárez Regalado[1], Fernando Hernández Vives[2], Camilo Guillén Soriano[3]**

[1] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[2] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[3] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"

[1] anapasuareg@tele.cujae.edu.cu
[2] fernandhe@tele.cujae.edu.cu
[3] camilo.gs@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Una superficie reflectante inteligente (IRS) es una tecnología avanzada que utiliza una matriz de elementos reflectantes sintonizables para controlar la amplitud, fase y dirección de la onda electromagnética reflejada. Esta capacidad permite mejorar significativamente la cobertura y eficiencia en redes de comunicación. Las VANET, o Red Ad-Hoc Vehicular, son un tipo de red de comunicación que aprovecha a los vehículos como nodos para establecer conexiones cuando están en proximidad el uno del otro. En áreas con cobertura limitada o condiciones de propagación desfavorables, como intersecciones de tráfico con obstrucciones, el IRS puede mejorar la comunicación V2V (vehículo a vehículo). El VANET Toolbox es un simulador de red vehicular integrado desarrollado en MATLAB. A pesar de sus ventajas, su carencia de una IRS representa una oportunidad para mejorar su funcionalidad en las simulaciones de entornos urbanos densos. Se implementa un canal asistido por IRS y un canal multitrayecto dentro del simulador. Se realizan diferentes resultados de prueba y se valida el correcto funcionamiento de la herramienta IRS en el simulador.

**PALABRAS CLAVES:** Superficie Reflectante Inteligente, Redes vehiculares, VANET, MATLAB, Simulink

## SIMULATION OF INTELLIGENT REFLECTING SURFACE FOR VEHICULAR ENVIRONMENT IN MATLAB

**ABSTRACT**

An intelligent reflective surface (IRS) is an advanced technology that uses an array of tunable reflective elements to control the amplitude, phase and direction of the reflected electromagnetic wave. This capability can significantly improve coverage and efficiency in communication networks. VANETs, or Vehicular Ad-Hoc Networks, are a type of communication network that leverages vehicles as nodes to establish connections when they are in close proximity to each other. In areas with limited coverage or unfavorable propagation conditions, such as traffic intersections with obstructions, IRS can improve V2V (vehicle-to-vehicle) communication. The VANET Toolbox is an integrated vehicular network simulator developed in MATLAB. Despite its advantages, its lack of an IRS represents an opportunity to improve its functionality in simulations of dense urban environments. An IRS-assisted channel and a multipath channel are implemented within the simulator. Different test results are performed and the correct functioning of the IRS tool in the simulator is validated.

**KEY WORDS:** Intelligent Reflecting Surface, Vehicular Networks, VANET, MATLAB, Simulink

## 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del desarrollo exponencial de las tecnologías de comunicación, la implementación de la Quinta Generación (5G) y la Internet de las Cosas (IoT) ha saturado las redes y el espectro radioeléctrico

con un creciente número de dispositivos conectados. Este incremento ha conducido a un aumento en las interferencias y el consumo energético. Con la proliferación de la IoT, se observa una tendencia hacia la interconexión de todos los elementos de la sociedad, incluyendo los vehículos. La visión futura se dirige hacia un entorno inteligente basado en la Inteligencia Artificial (IA), donde las ciudades inteligentes representan un objetivo para los países con grandes metrópolis. Estas ciudades suelen presentar un tráfico denso que se congestiona fácilmente y donde los accidentes de tránsito son frecuentes.

Para abordar estas problemáticas, se desarrollan las Redes Vehiculares Ad hoc (VANET), las cuales permiten conectar los vehículos entre ellos y con otras infraestructuras. Sin embargo, en estos ambientes urbanos llenos de edificios, obstáculos e interferencias, las comunicaciones inalámbricas representan un desafío considerable. Aquí es donde las Superficies Reflectantes Inteligentes (IRS, por sus siglas en inglés) desempeñan un papel crucial, permitiendo redireccionar las señales electromagnéticas de manera dinámica y programable, mitigando casos de baja cobertura en una zona. Estas superficies, al no aumentar la potencia de la señal con la que trabajan, consumen significativamente menos energía, contribuyendo así a la solución del problema energético global.

Una superficie reflectante inteligente (IRS) es una tecnología avanzada que utiliza una matriz de elementos reflectantes sintonizables para controlar la amplitud, fase y dirección de la onda electromagnética reflejada. Esta capacidad permite mejorar significativamente la cobertura y eficiencia en redes de comunicación. En la Fig.1, se ilustra una arquitectura típica de IRS, que consta de tres capas y un controlador inteligente. La primera capa/exterior está compuesta por un gran número de parches metálicos sintonizables/reconfigurables impresos en un sustrato dieléctrico para manipular directamente las señales incidentes. En la segunda capa/intermedia, se suele emplear una placa de cobre para minimizar la fuga de energía de la señal durante la reflexión del IRS. Le sigue la tercera capa/interior, que es una placa de circuito de control responsable de excitar los elementos reflectantes y sintonizar sus amplitudes de reflexión y/o desplazamientos de fase en tiempo real. Además, la adaptación de la reflexión se activa y determina por un controlador inteligente conectado a cada IRS, que puede implementarse mediante un FPGA [1].

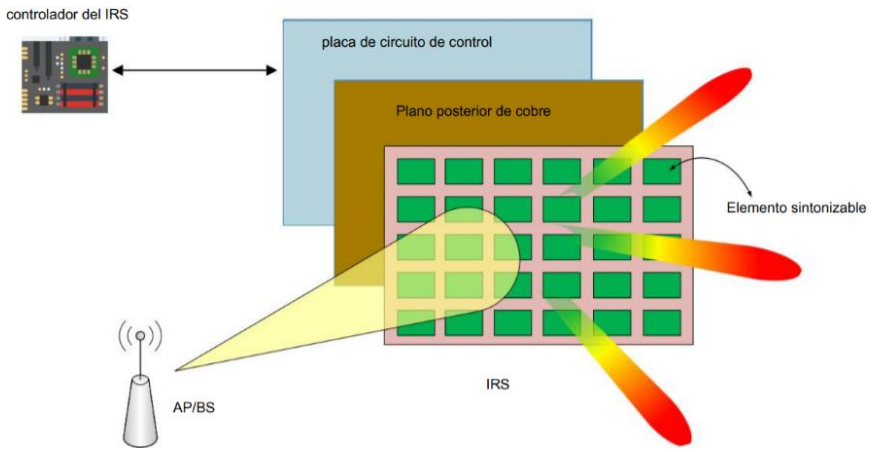



Fig. 1: Arquitectura del IRS [1].

Las VANET son un tipo de red de comunicación que aprovecha a los vehículos como nodos para establecer conexiones cuando están en proximidad el uno del otro, lo que es fundamental para la seguridad vial, la gestión del tráfico y la prevención de accidentes. Estas redes son fundamentales para el desarrollo de Sistemas Inteligentes de Transporte y el futuro de los vehículos conectados y autónomos. En áreas con cobertura limitada o condiciones de propagación desfavorables, como intersecciones de tráfico con obstrucciones, el IRS puede mejorar la comunicación V2V (vehículo a vehículo). Esto es especialmente útil para vehículos en calles perpendiculares que de otra manera no se comunicarían bien entre sí.

El VANET Toolbox es un simulador de red vehicular integrado desarrollado en MATLAB, que incluye una biblioteca Simulink con los componentes básicos para el stack de redes vehiculares. A pesar de sus ventajas, su carencia de una IRS representa una oportunidad para mejorar su funcionalidad. La incorporación de una IRS en la simulación podría mejorar la cobertura y la calidad de las comunicaciones en entornos urbanos densos. Se implementa un canal asistido por IRS y un canal multitrayecto dentro del simulador. Se realizan diferentes escenarios de prueba y se valida el correcto funcionamiento de la herramienta IRS en el simulador.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: La Sección 2 realiza una comparación entre distintos simuladores VANET. La Sección 3 describe la estructura del software empleado. En la Sección 4 se explica el proceso de implementación de los nuevos canales de comunicación en el software. Los escenarios de simulación y los resultados obtenidos son descritos en la Sección 5. Con la Sección 6 se concluye el artículo.

## 2. COMPARACIÓN ENTRE SIMULADORES VANET

Existen muchos framewoks de simulación VANET, tanto comerciales como de código abierto, y se diferencian en la forma de implementación del stack inalámbrico, la red y la movilidad. Para seleccionar la herramienta adecuada deben analizarse sus ventajas y desventajas, con el objetivo de identificar cuál se adapta mejor a su aplicación. Hay dos tipos de simuladores VANET:
(1) Frameworks de simulación integrados
(2) Frameworks de simulación conjuntos.

Los frameworks integrados combinan simuladores de red y tráfico en un solo simulador con el fin de una interacción completa. Varios ejemplos son VANET Toolbox de MATLAB [2], MoVes [3], el simulador NCTUns [4] y VISSIM [5]. Por otro lado, los frameworks conjuntos incluyen más de un componente de simulación, los principales componentes de los frameworks conjuntos se pueden clasificar según [6] en:
(1) Simuladores de red. Siendo los más utilizados: VANET, OMNeT+ [7], NS-2[8], NS-3 [9] y JiSt [10].
(2) Generadores de movilidad. Entre los que son compatibles con los simuladores de redes vehiculares se encuentran: SUMO [11], MOVE [12], CityMob [13], PARAMICS [14] y MoNoTrac [15].
(3) Interfaz para asociar los simuladores de movilidad de tráfico y los simuladores de red existentes. Ejemplos de este tipo de simuladores: Veins [16], VENTOS [16], iTETRIS [17] y TraNS [18].

Para comprender la diferencia entre los frameworks conjunto e integrado, realizaremos un estudio comparativo entre dos frameworks que representan las dos direcciones. Simulador de vehículo en red conocido por Veins, que es un framework de simulación conjunta y VANET Toolbox de MATLAB, que es un framework integrado. La siguiente tabla resume la comparación realizada entre los dos frameworks.

Tabla 1: Comparación entre Veins y VANET Toolbox [19].

| Aspecto | Veins | VANET Toolbox |
|---|---|---|
| Aplicaciones soportadas | V2V y V2X | V2V |
| Simulador de red | OMNeT++ | MATLAB/SIMULINK |
| Disponibilidad del simulador | Fuente abierta | Comercial |
| Disponibilidad del código | Fuente abierta | Fuente abierta |
| Lenguajes de simulación | C++ y NED | MATLAB |
| Generadores de movilidad | SUMO | No usa simuladores externos |
| Mapa vial | Mapas reales y definidos por el usuario | Personalizado (Carretera y Cruce de caminos) |
| Extensiones de Framework | Disponible | No disponible |
| Protocolos de VANET | IEEE 802.11p /802.11e/1609.4 | IEEE 802.11p/802.11a/1609.4 |
| Facilidad de uso | Más difícil | Más fácil |

Ambos frameworks, tienen una buena simulación del stack de redes vehiculares, especialmente en las capas inferiores. Sin embargo, la implementación de la capa física (PHY) en VANET Toolbox puede ser más precisa que en Veins, ya que este último utiliza más abstracciones para evitar cálculos intensivos omitiendo varios detalles de la implementación de comunicación inalámbrica, tales como estimación de canal, estimación y corrección de desplazamiento de frecuencia, modulación y demodulación de forma de onda. Sin embargo, los bits individuales dentro de una forma de onda son necesarios para realizar simulaciones precisas de la capa PHY y los modelos de canal [16]. En el trabajo [16] aparece una comparación exhaustiva de siete simuladores de VANET, la cual puede consultar para mayores detalles.

## 3. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

La Fig. 2 ilustra la estructura de diseño de dos nodos vehiculares que se comunican a través de un canal inalámbrico. El framework se compone de tres módulos principales. El primero, el Módulo DES de capa APP (APP DES), combina modelos de movilidad de vehículos con la generación de mensajes. El segundo, el Módulo DES de capa MAC (MAC DES), realiza actividades de la capa MAC y maneja el procesamiento a nivel de bits tanto en el transmisor (Tx) como en el receptor (Rx), dentro del cual se implementan las funciones que soportan los modelos de canal. Por último, el Módulo DES de capa PHY (PHY Link DES) simula exclusivamente canales de propagación inalámbrica [2].

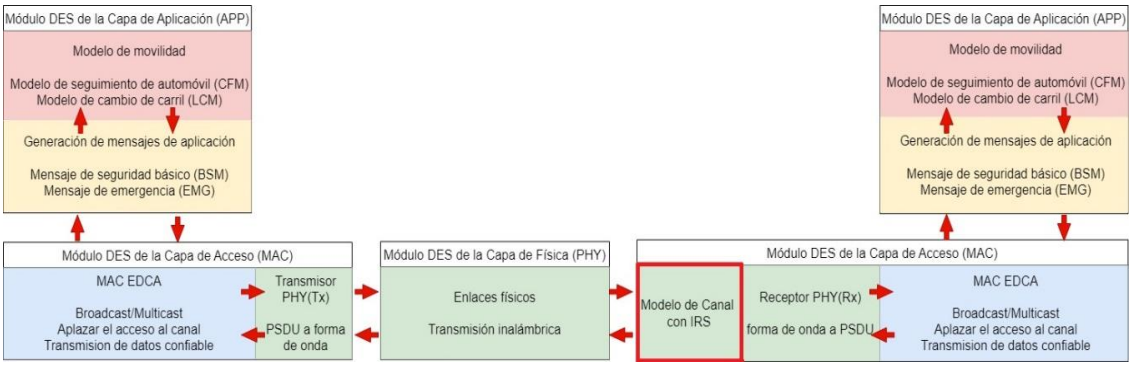



Fig. 2: Estructura de diseño de VANET Toolbox [2].

La Fig. 3 ilustra el modelo de enlace PHY inalámbrico básico empleado que convierte la trama recibida de la capa MAC en una forma de onda inalámbrica y deja que la forma de onda pase a través del canal inalámbrico. La interacción entre la capa PHY y la capa MAC es manejada por el Protocolo de Convergencia de Capa Física (PLCP).

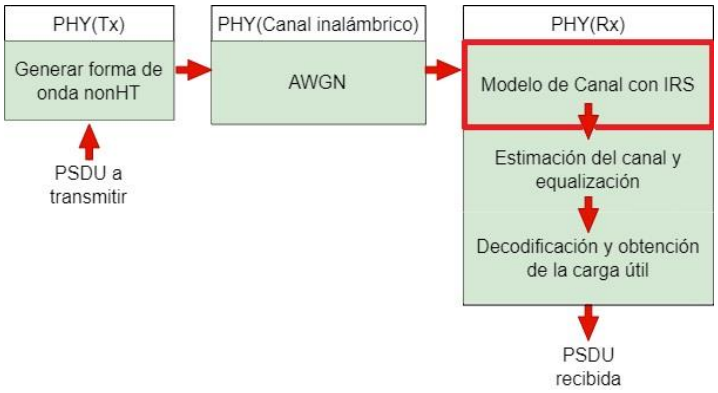



Fig. 3: Modelado de enlaces VANET PHY [2].

El canal inalámbrico consta de un modelo de canal multitrayecto, un modelo de canal asistido por IRS y un modelo de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN). Este último consta de forma predeterminada y se basa en la investigación de las condiciones de línea de visión (LOS) especificadas en [20]. Los otros modelos de canal fueron añadidos en el proceso de implementar la IRS en el simulador. Solo el enlace del canal PHY está diseñado en DES, tanto PHY Tx como Rx se implementan utilizando funciones de WLAN Toolbox y están integrados con el módulo MAC DES [2].

## 4. IMPLEMENTACIÓN DEL CANAL IRS

Se emplea un objeto de Sistema MATLAB llamado "helperRISSurface", que representa una Superficie Inteligente Reconfigurable (RIS, por sus siglas en inglés) para comunicaciones inalámbricas. Para implementar un entorno de canal asistido por IRS se modificó la función "waveformTimer", perteneciente a DES_MAC_OBU. De esta forma se añade un nuevo modelo de canal asistido por IRS, manteniendo el modelo de AWGN. En la Fig. 4 se muestra un diagrama de flujo que ilustra el procedimiento de la "funcionIRS" implementada para añadir los modelos de canal necesarios.

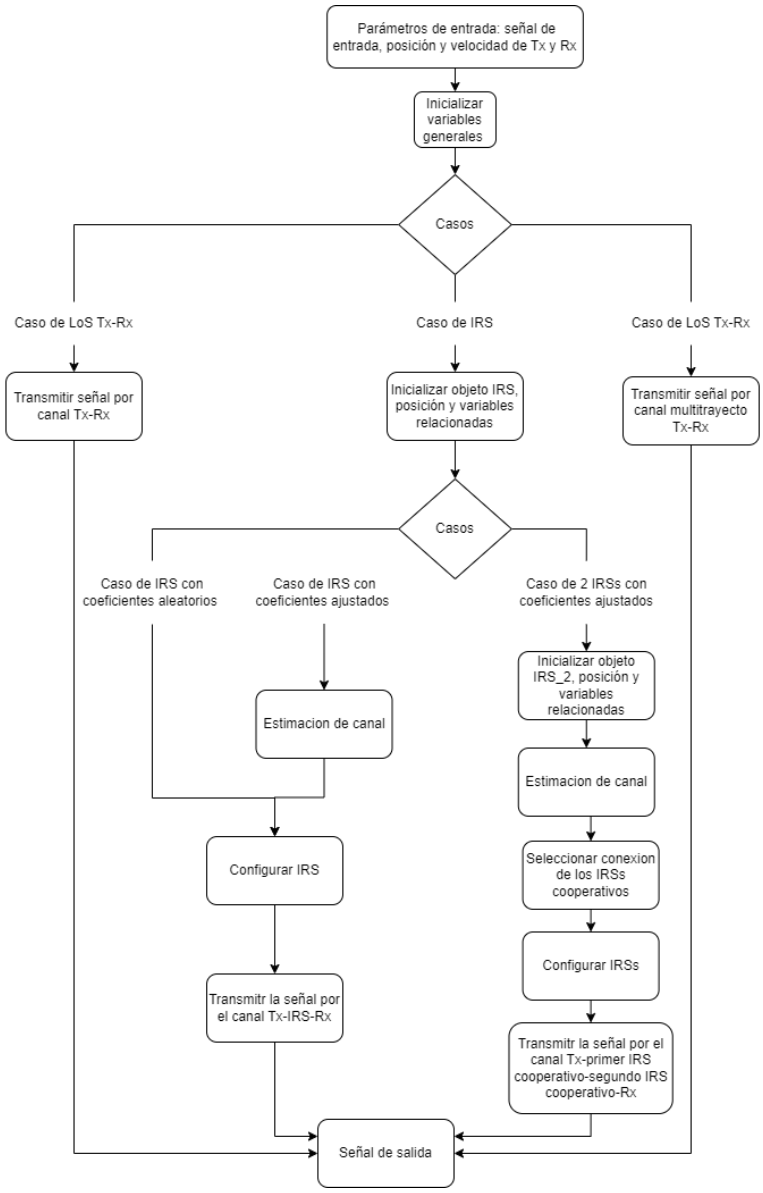



Fig. 4: Diagrama de flujo de la función ¨funcionIRS¨, la cual implementa los modelos de canal de IRS.

Se creó una función la cual tiene como entradas: la señal recibida y las localizaciones del transmisor y receptor, así como sus velocidades. También se definieron parámetros fundamentales, como la frecuencia de portadora y las dimensiones del IRS. Se creó un objeto que representa la superficie del IRS utilizando la función "helperRISSurface" de MATLAB. Se definieron las posiciones y velocidades de los diferentes elementos en el escenario (vehículos e IRS). Se configuraron los canales de propagación de los vehículos entre sí y de estos con el IRS. Se calculan la distancia y el ángulo de incidencia entre el transmisor – IRS e IRS - receptor, utilizando la función "rangeangle" de MATLAB. Finalmente, se implementa un selector para escoger entre distintos escenarios de prueba del canal, entre los que se encuentran:

Línea de visión directa: Se transmite la señal por el canal de visibilidad directa de transmisor a receptor.

IRS con coeficientes de reflexión aleatorios: Se transmite la señal a través del canal transmisor-IRS para obtener la señal de entrada al IRS. Se configura el IRS con coeficientes de reflexión aleatorios. Luego se procesa la señal a través del IRS. Finalmente se aplica el canal IRS-receptor a la señal de salida del IRS.

IRS con coeficientes de reflexión ajustados: Se estima el canal entre el transmisor y el IRS, y el canal entre el IRS y el receptor. Para realizar esto, se emplea el método ¨ getSteeringVector ¨ para obtener el vector de dirección de la matriz RIS, y junto con la función ¨fspl¨ que calcula la pérdida en el espacio libre, se estiman las ganancias de dichos canales. Se calculan los coeficientes de reflexión ajustados con las ganancias previamente estimadas y se configura el IRS con estos. Luego, se aplica el canal transmisor-IRS a la señal y se procesa la señal a través del IRS con los coeficientes de reflexión ajustados. Finalmente se aplica el canal IRS-receptor a la señal de salida del IRS.

Dos IRS con coeficientes de reflexión ajustados sin línea de visibilidad directa: Se crea un segundo IRS con una configuración diferente de posición, cantidad de elementos y coeficientes de reflexión independientes. Los vehículos se comunican con la IRS más cercana y luego esta se conecta a la otra IRS la cuál transmite al receptor. Se estima el canal entre el transmisor y el primer IRS, el canal entre el segundo IRS y el receptor, y el canal entre los IRS, empleando los métodos antes mencionados en el caso 3, pero ahora configurando los dos IRS.

Multitrayecto: Se transmite la señal por un canal multitrayecto sin línea de visibilidad directa de transmisor a receptor. Se utilizó la función "raytraicing" de MATLAB que calcula los principales trayectos por los que se propaga la onda hasta el receptor. Esta es una herramienta muy potente para simular el canal multitrayecto ya que cuando en el entorno no hay una línea de visibilidad directa hace una buena simulación del canal con una distribución de Rayleigh, mientras que cuando existe visibilidad directa adopta una distribución de Rician.

## 5. ESCENARIOS Y RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

El entorno de simulación seleccionado para el desarrollo se estableció en un mapa que representa una intersección vial de 200 m. x 200 m. Este entorno incluye dos vehículos, un semáforo, un canal de comunicaciones y un panel de control. La duración de la simulación es de 30 segundos, y todos los elementos mencionados estarán representados por bloques dentro de Simulink, utilizando la librería VANET Toolbox.

Para el semáforo, se deben configurar los tiempos de las luces: 15 segundos para las luces verde y roja, y 3 segundos para la luz amarilla. Respecto a los vehículos, ambos tendrán una velocidad inicial de 3 km/h y acelerarán de 0 a 100 km/h en 4 segundos. Cada vehículo cuenta con la capacidad de transmitir y recibir mensajes, la comunicación se efectúa en ambos sentidos. Los transmisores en los vehículos tienen una potencia de 1 W y una ganancia de 1 dB. Cada automóvil tendrá un límite de velocidad de 60 km/h.

La Superficie Reflectante Inteligente se encuentra emplazada en la esquina inferior derecha de la intersección y consta de 200 elementos. El espaciado entre estos elementos es equivalente a media longitud de onda de la frecuencia a la que trabaja el IRS. El elemento de antena utilizado para recrear cada elemento del IRS es una antena isotrópica. Todos estos parámetros se pueden ajustar en la misma función donde se crea la IRS.

Las IRS están diseñadas para trabajar a una frecuencia de 29 GHz, especialmente en tecnologías como 5G y 6G. Sin embargo, debido a limitaciones de recursos de procesamiento, en este caso se trabaja con una frecuencia de portadora de onda de 700 MHz en la frecuencia de trabajo del IRS. En la práctica, a esa frecuencia el IRS tomaría dimensiones grandes y complicaría su implementación.

De los canales nuevos que se añaden al simulador, el cual previamente contaba con un canal de línea de visibilidad directa, se encuentra primeramente un canal multitrayecto el cual intenta describir el entorno de propagación inalámbrica debido a los numerosos edificios y obstáculos presentes en un ambiente urbano, donde las continuas reflexiones y los desfasajes en el arribo de la señal añaden una pérdida considerable de potencia en esta. Ese canal se realizó con la función de "raytraicing" de MATLAB que permite calcular los diferentes trayectos de comunicación. Se configuró el escenario de manera que las paredes de los edificios y las calles fuesen de concreto para el cálculo de la reflexión de la señal. De manera general, se utiliza la posición actual de cada vehículo para calcular la atenuación en cada trayecto.

El simulador VANET Toolbox toma a los vehículos como transmisor y receptor, considerando el trayecto que recorre la señal para llegar del Vehículo 1 al Vehículo 2 es el mismo que recorre en la otra dirección, por lo que la SNR recibida en ambos vehículos es la misma.

En la Fig. 5 se aprecia una comparación entre el canal multitrayecto y el de visibilidad directa. Se puede observar la gran pérdida debido al multitrayecto, manteniendo los puntos donde los vehículos se encuentran en la intersección o muy cercanos a esta como zonas donde la línea de visibilidad sin obstáculos entre estos aumenta los valores de la gráfica. Se muestran también los gráficos de distancia de cada vehículo con respecto al IRS durante el tiempo de simulación en el escenario descrito anteriormente. Ambos se acercan en línea recta hacia una intersección.

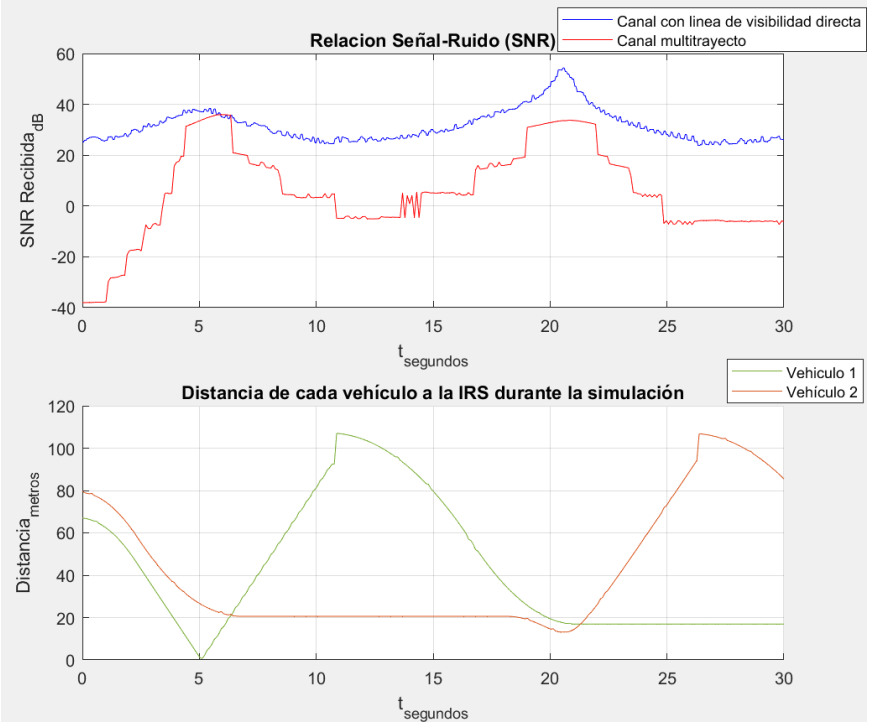



Fig. 5: Gráfica Superior: Comparación de la Relación Señal-Ruido de un canal con línea de visibilidad directa y un canal multitrayecto. Gráfica inferior: Distancia de cada vehículo a la IRS durante la simulación.

Con el análisis de la figura anterior se refleja la necesidad de implementar un canal en ambientes urbanos donde no existe la opción de visibilidad directa y el entorno de propagación añade pérdidas considerables. Se creó un canal sin visibilidad directa que se encuentra asistido por una IRS. La Fig. 6 muestra una comparación entre los canales previamente mencionados y el canal IRS sin configurar, el cual presenta coeficientes de reflexión aleatorios. Se observa que la SNR en dicho caso presenta un comportamiento similar o peor, al del multitrayecto, de donde podemos llegar a la conclusión que no presenta ningún beneficio en la comunicación implementar un IRS si no se encuentra correctamente configurado.

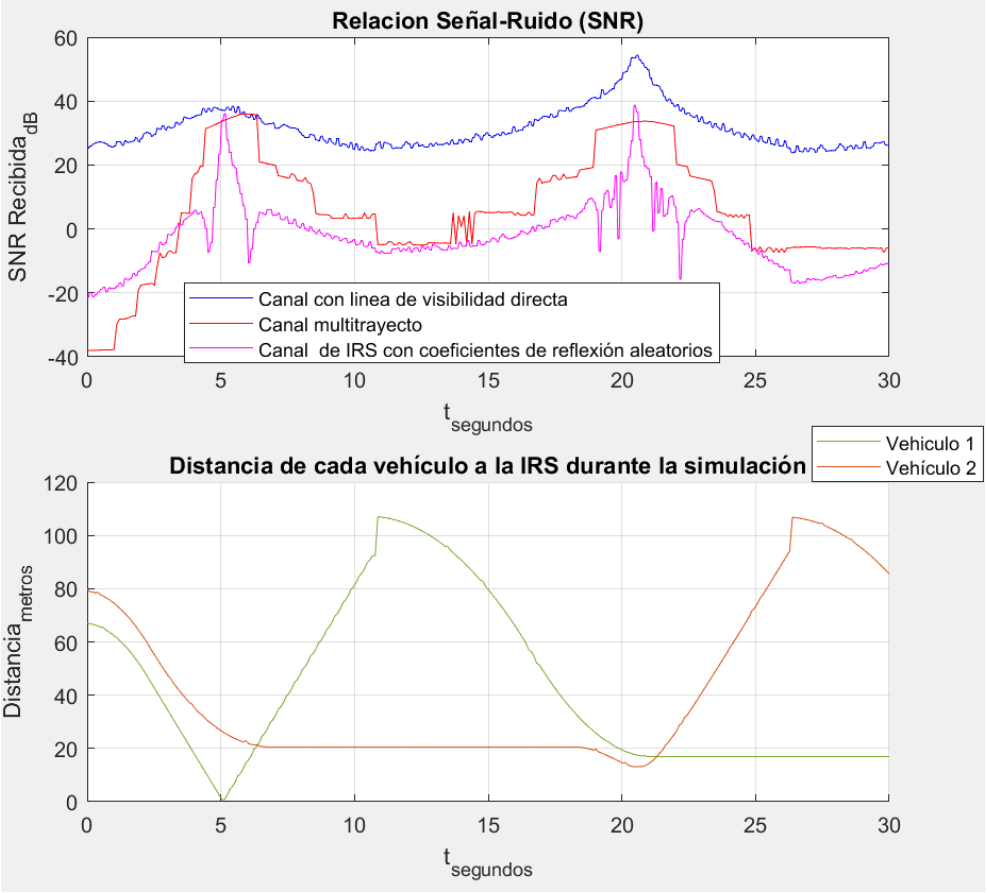



Fig. 6: Gráfica Superior: Comparación de la Relación Señal-Ruido de un canal asistido por un IRS con coeficientes de reflexión aleatorios, un canal multitrayecto y un canal con visibilidad directa. Gráfica Inferior: Distancia de cada vehículo a la IRS durante la simulación.

En cambio, si se añade un canal donde los coeficientes de reflexión de la IRS se encuentren configurados en dependencia de la posición de los vehículos, se obtiene un aumento de la SNR. La Fig. 7 muestra los resultados de la implementación de dicho canal propuesto y su comparación con los canales de visibilidad directa y multitrayecto. Se aprecia que la relación señal-ruido en un canal con IRS, donde los coeficientes de reflexión están ajustados, es mucho mayor que la de un canal multitrayecto en el que no hay una línea de visibilidad directa. En general, se observa una mejora cercana a 20 dB.

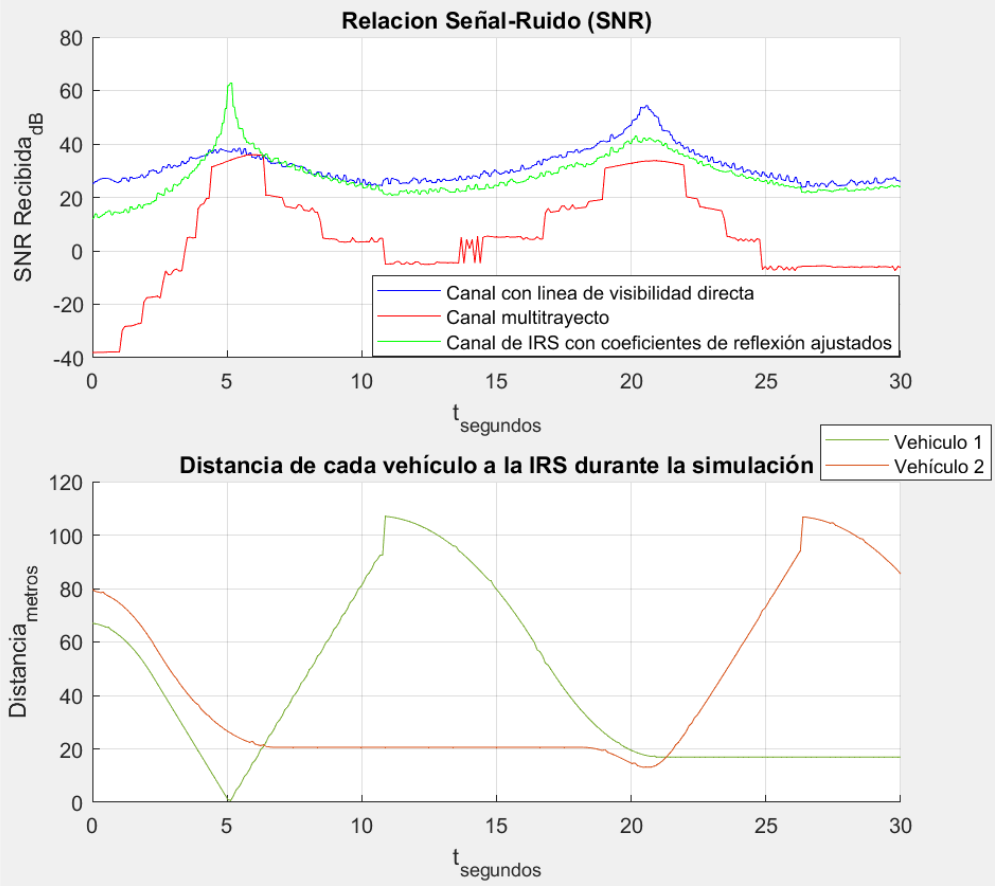



Fig. 7: Gráfica Superior: Comparación de la Relación Señal-Ruido de un canal asistido por un IRS con coeficientes de reflexión ajustados, un canal multitrayecto y un canal con visibilidad directa. Gráfica Inferior: Distancia de cada vehículo a la IRS durante la simulación.

Se pueden identificar dos máximos locales en la gráfica de ambos canales. Estos picos representan los momentos en los que los autos se encuentran más cercanos entre sí. En el primer máximo, el Vehículo 1 pasa junto a la IRS y el otro vehículo se encuentra alejado 20 metros. Mientras que, en el segundo, los automóviles están equidistantes del IRS y a una corta distancia de este. Esto demuestra que, al emplazar las superficies inteligentes, es mejor colocarlas cerca de uno de los dos elementos que se van a conectar.

También como resultado de estas simulaciones, se compara la relación señal-ruido entre el canal con IRS, con coeficientes de reflexión ajustados que habíamos analizado previamente, y el canal de visibilidad directa. Se observa que en general, el canal de visibilidad directa se comporta mejor que el canal con IRS. Al principio la diferencia entre los canales es notable, esto se debe a que los dos autos se encuentran muy alejados del IRS. Más adelante se tiene un máximo de SNR, debido a que el Vehículo 1 pasa junto a la IRS. El resto del tiempo la diferencia entre los canales es aproximadamente de 5 dB, debido a la cercanía de al menos uno de los vehículos a la IRS.

Para el desarrollo del último caso se realizan algunas modificaciones en el entorno de simulación. La Superficie Reflectante Inteligente de 200 elementos anteriormente empleada se sustituyó por una de la mitad de elementos, o sea, 100, emplazada en el mismo sitio. Además, se añadió otra superficie de la misma cantidad de elementos que se colocó en la esquina superior derecha de la intersección. Los demás parámetros de ajuste de las IRS se mantienen sin cambios a los anteriormente configurados, dígase espaciado entre elementos, frecuencia de trabajo, elemento de antena empleado.

En vez de un número determinado de elementos reflectantes de IRS, conformando un único IRS, como se ha comentado anteriormente, los elementos reflectantes IRS pueden formar múltiples IRS de menor tamaño. Este enfoque tiene tanto pros como contras, en comparación con el despliegue de un solo IRS. Por un lado, el mayor número de IRS en el enlace usuario - AP produce más reflexiones entre los IRS, lo que provoca una pérdida de trayecto aún mayor, sin embargo, múltiples IRS abren la oportunidad de obtener mayores ganancias multiplicativas mediante la formación de haces pasivos cooperativos sobre ellos. En la Fig. 8 se aprecia una comparación entre el canal asistido por una sola IRS y el nuevo canal asistido por dos IRS. En general se observa una mejoría de 20 dB en la SNR recibida.

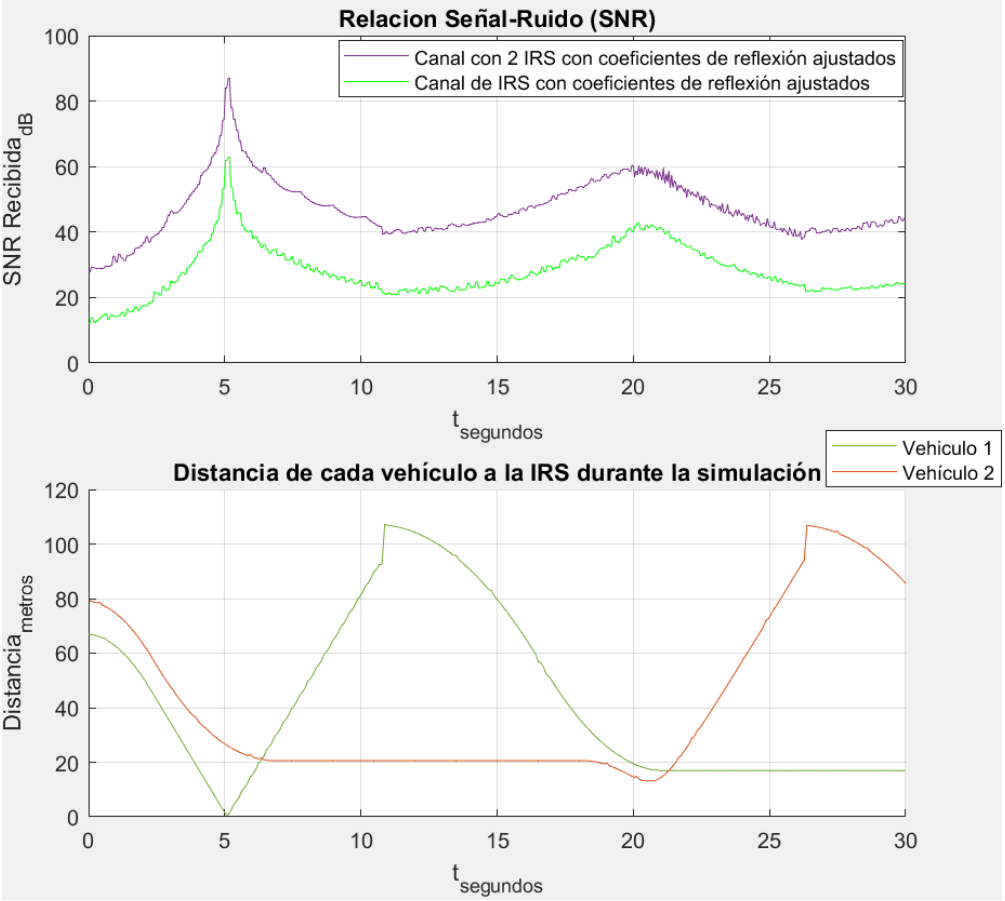



Fig. 8: Gráfica Superior: Comparación de la Relación Señal-Ruido de un canal asistido por dos IRS con coeficientes de reflexión ajustados y un canal asistido por un IRS con coeficientes de reflexión ajustados. Gráfico Inferior: Distancia de cada vehículo a la IRS durante la simulación.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha abordado la integración de las Superficies Reflectantes Inteligentes en el contexto de las redes vehiculares ad hoc, mediante simulaciones en la biblioteca VANET Toolbox de MATLAB. Para validar los nuevos canales, asistido por IRS y multitrayecto, se realizaron diferentes simulaciones. Para el escenario de simulación se eligió una intersección semaforizada, donde la visibilidad entre diferentes calles se encuentra obstaculizada por edificios. En este escenario la comunicación ocurre por señales multitrayecto, por lo que se compara la ventaja de agregar una IRS para mejorar la comunicación. El uso de una IRS mejora la SNR, estando aproximadamente a 5 dB inferior al caso ideal donde exista visibilidad directa. En comparación con el canal multitrayecto, el uso de una IRS mejora la SNR en cerca de 20 dB. También se demostró la ventaja de usar dos IRS en cooperativo, mejorando aún más el valor de SNR en los receptores.

Es de gran utilidad contar con un simulador VANET que integre la tecnología IRS, ya que permite explorar y optimizar las comunicaciones vehiculares en entornos complejos. La implementación de IRS en simulaciones VANET puede ofrecer valiosos datos sobre cómo mejorar la eficiencia y la seguridad en el tráfico urbano. Además, la capacidad de simular diferentes configuraciones de IRS y su impacto en la comunicación vehicular es fundamental para el desarrollo de sistemas de transporte inteligente más avanzado.

**REFERENCIAS**

[1] Q. Wu, S. Zhang, B. Zheng, C. You, and R. Zhang, "Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Communications: A Tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 69, no. 5, pp. 3313–3351, May 2021, doi: 10.1109/TCOMM.2021.3051897.

[2] L. Wang, R. Iida, and A. Wyglinski, "Vehicular Network Simulation Environment via Discrete Event System Modeling," *IEEE Access*, vol. PP, pp. 1–1, Jun. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2922766.

[3] L. Bononi, M. Di Felice, G. D'Angelo, M. Bracuto, and L. Donatiello, "MoVES: A framework for parallel and distributed simulation of wireless vehicular ad hoc networks," *Comput. Netw.*, vol. 52, no. 1, pp. 155–179, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.comnet.2007.09.015.

[4] S.-Y. Wang and C.-L. Chou, "WIRELESS VEHICULAR AD HOC NETWORK RESEARCH".

[5] M. Killat *et al.*, "Enabling efficient and accurate large-scale simulations of VANETs for vehicular traffic management," in *Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, Montreal Quebec Canada: ACM, Sep. 2007, pp. 29–38. doi: 10.1145/1287748.1287754.

[6] B. Ahmed, A. W. Malik, T. Hafeez, and N. Ahmed, "Services and simulation frameworks for vehicular cloud computing: a contemporary survey," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2019, no. 1, p. 4, Jan. 2019, doi: 10.1186/s13638-018-1315-y.

[7] A. Varga, "OMNeT++," in *Modeling and Tools for Network Simulation*, K. Wehrle, M. Güneş, and J. Gross, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 35–59. doi: 10.1007/978-3-642-12331-3_3.

[8] M. H. Rehmani and Y. Saleem, "Network Simulator NS-2," in *Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition*, IGI Global, 2015, pp. 6249–6258. doi: 10.4018/978-1-4666-5888-2.ch615.

[9] G. F. Riley and T. R. Henderson, "The ns-3 Network Simulator," in *Modeling and Tools for Network Simulation*, K. Wehrle, M. Güneş, and J. Gross, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 15–34. doi: 10.1007/978-3-642-12331-3_2.

[10] R. Barr, Z. J. Haas, and R. van Renesse, "JiST: an efficient approach to simulation using virtual machines," *Softw. Pract. Exp.*, vol. 35, no. 6, pp. 539–576, May 2005, doi: 10.1002/spe.647.

[11] D. Krajzewicz, "Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility," in *Fundamentals of Traffic Simulation*, J. Barceló, Ed., New York, NY: Springer, 2010, pp. 269–293. doi: 10.1007/978-1-4419-6142-6_7.

[12] K.-C. Lan, "MOVE: A Practical Simulator for Mobility Model in VANET," in *Telematics Communication Technologies and Vehicular Networks: Wireless Architectures and Applications*, IGI Global, 2010, pp. 355–368. doi: 10.4018/978-1-60566-840-6.ch021.

[13] F. J. Martinez, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "CityMob: A Mobility Model Pattern Generator for VANETs," in *ICC Workshops - 2008 IEEE International Conference on Communications Workshops*, May 2008, pp. 370–374. doi: 10.1109/ICCW.2008.76.

[14] G. D. B. Cameron and G. I. D. Duncan, "PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic," *J. Supercomput.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–53, Mar. 1996, doi: 10.1007/BF00128098.

[15] M. Güneş, F. Juraschek, B. Blywis, and C. Graff, "MoNoTrac — A mobility trace generator based on OpenStreetMap geo-data," in *The 7th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (IEEE MASS 2010)*, Nov. 2010, pp. 618–623. doi: 10.1109/MASS.2010.5663869.

[16] J. S. Weber, M. Neves, and T. Ferreto, "VANET simulators: an updated review," *J. Braz. Comput. Soc.*, vol. 27, no. 1, p. 8, May 2021, doi: 10.1186/s13173-021-00113-x.

[17] M. Rondinone *et al.*, "iTETRIS: A modular simulation platform for the large scale evaluation of cooperative ITS applications," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 34, pp. 99–125, May 2013, doi: 10.1016/j.simpat.2013.01.007.

[18] M. Piórkowski, M. Raya, A. L. Lugo, P. Papadimitratos, M. Grossglauser, and J.-P. Hubaux, "TraNS: realistic joint traffic and network simulator for VANETs," *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 12, no. 1, pp. 31–33, Jan. 2008, doi: 10.1145/1374512.1374522.

[19] A. I. Abdelaal, M. M. Ghoneima, and B. A. Abdullah, "Towards a Novel MATLAB Framework for VANETs Simulation," in *2021 International Conference on Microelectronics (ICM)*, IEEE, 2021, pp. 21–24. Accessed: Mar. 22, 2024. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9664959/

[20] B. Aygun, "Distributed Adaptation Techniques for Connected Vehicles," Worcester Polytechnic Institute, 2016.

## SOBRE LOS AUTORES

**Ana Paula Suárez Regalado:** Profesora del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica.

**Fernando Hernández Vives:** Profesor del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Profesor Asistente, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, miembro del Grupo de Investigación de Radar.

**Camilo Guillén Soriano:** Profesor del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Profesor Auxiliar, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Master en Ciencias y Doctor en Ciencias Técnicas, Jefe del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, miembro de su Consejo Científico y de su Grupo de Investigación de Radar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ANÁLISIS DE LAS VULNERABILIDADES DE CIBERSEGURIDAD DE INYECCIÓN SQL

**Mailenis Castillo Gil[1], Henry Raúl González Brito[2]**

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, San Antonio de los Baños, Km 2 ½, reparto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[2]Universidad de las Ciencias Informáticas, San Antonio de los Baños, Km 2 ½, reparto Torrens, municipio Boyeros, La Habana, Cuba
[1]e-mail: maileniscg@estudiates.uci.cu

**RESUMEN**

Debido a la prevalencia de sitios web y servidores que utilizan bases de datos, las vulnerabilidades de inyección de SQL son uno de los tipos de ciberataques más antiguos y generalizados. Esta vulnerabilidad se aprovecha de entradas de usuario no validadas o incorrectamente validadas para insertar valores que pueden alterar la consulta SQL generada, haciendo que esas entradas se interpreten como SQL en lugar de datos de usuario normales. Se puede utilizar para eludir los controles de seguridad o para insertar declaraciones adicionales que modifiquen la base de datos de back-end, posiblemente incluyendo la ejecución de comandos del sistema. Esto trae grandes consecuencias tanto para las empresas como para los usuarios de internet. En los últimos años, los atacantes han desarrollado técnicas avanzadas para evadir las defensas tradicionales, lo que hace que la detección y prevención de estas vulnerabilidades sea más desafiante. Por ello se hace necesario conocer su funcionamiento, así como los métodos y herramientas empleadas para evitar y detectar estas vulnerabilidades.

**PALABRAS CLAVES:** Inyecciones SQL, aplicaciones web, base de datos, vulnerabilidades.

**GUIDELINES FOR PREPARING ARTICLES FOR THE XXI SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**ABSTRACT**

Due to the prevalence of websites and servers that use databases, SQL injection vulnerabilities are one of the oldest and most widespread types of cyberattacks. This vulnerability exploits unvalidated or incorrectly validated user input to insert values that can alter the generated SQL query, causing those inputs to be interpreted as SQL instead of normal user data. It can be used to bypass security checks or to insert additional statements that modify the back-end database, possibly including executing system commands. This has great consequences for both companies and Internet users. In recent years, attackers have developed advanced techniques to evade traditional defenses, making the detection and prevention of these vulnerabilities more challenging. Therefore, it is necessary to know how it works, as well as the methods and tools used to avoid and detect these vulnerabilities.

**KEY WORDS:** SQL inyection, web applications, databases, vulnerabilities.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los inicios de internet se remontan a los años 60, pero no fue hasta los años 90 cuando, gracias a la web, se extendió su uso hasta todo el mundo. En pocos años la Web ha evolucionado enormemente: ha pasado de páginas sencillas, con pocas imágenes, documentos y contenidos estáticos que podían consultarse o descargarse a páginas complejas con contenidos dinámicos que provienen de bases de datos, lo que permite la creación de aplicaciones web [1].

Una aplicación web es un software cliente-servidor a la que se accede mediante la web por una red (internet o intranet), donde el cliente (navegador, explorador, visualizador) realiza una solicitud, el

servidor web procesa esta solicitud y luego envía una respuesta determinada a dicho cliente[2]. Estas aplicaciones son respaldadas por bases de datos que almacenan y gestionan la información necesaria para su funcionamiento. SQL es un lenguaje de programación que se utiliza para recuperar y actualizar la información contenida en una base de datos [3].

El desarrollo web se ha convertido en una pieza fundamental para el funcionamiento de múltiples industrias y sectores, revolucionando la forma en que interactuamos con la tecnología y cómo las empresas se relacionan con sus clientes. La creciente dependencia de aplicaciones web en nuestra vida cotidiana ha llevado a un aumento en la complejidad y sofisticación de estas plataformas. Desde redes sociales hasta servicios bancarios en línea, las aplicaciones web manejan datos personales, transacciones financieras y comunicaciones sensibles [4][5].

El desarrollo web en Cuba está experimentando cambios significativos en línea con la transformación digital. Actualmente existen 263 portales digitales de gobierno en internet, que representan a órganos y organismos de la Administración Central del Estado, así como a administraciones locales, además las plataformas para pagos electrónicos sobrepasan los 5,5 millones de usuarios [6][7][8][9].

Esta conectividad también ha dado lugar a una mayor exposición a riesgos de seguridad[10]. El Informe de Riesgos Globales 2024 del Foro Económico Mundial señala que la inseguridad cibernética se encuentra entre los cinco riesgos más graves que enfrenta la comunidad global [11]. Según la lista de las 15 principales amenazas del panorama de amenazas de ENISA del 2020 los ataques a aplicaciones web ocupan el cuarto lugar en las amenazas cibernéticas [12].

Según el Top 10 de OWASP de 2021 las inyecciones de código ocupan la tercera posición del ranking de vulnerabilidades en aplicaciones web, siendo las inyecciones SQL una de las más comunes. “El 94% de las aplicaciones fueron probadas para algún tipo de inyección con una tasa de incidencia máxima del 19%, una tasa de incidencia promedio del 3% y 274.000 ocurrencias. Las CWE incluidas son CWE-79: Secuencia de Comandos en Sitios Cruzados (XSS), CWE-89: Inyección SQL, y la CWE-73: Control Externo de Nombre de archivos o ruta” [13].

La inyección de código SQL representa una vulnerabilidad que puede manifestarse cuando existe la posibilidad de que un atacante influya en las consultas SQL que una aplicación envía a una base de datos. La Inyección SQL no es una vulnerabilidad que afecte exclusivamente a las aplicaciones web, ya que cualquier programa que acepte entradas para formar declaraciones dinámicas SQL puede volverse vulnerable[14].

Los ataques de inyección SQL son muy variados y son unos de las amenazas de mayor incidencia en los últimos tiempos. A lo largo de los años, muchas organizaciones fueron víctimas de inyección SQL. Debido a esto es necesario ampliar el conocimiento respecto a estas vulnerabilidades tan comunes en las aplicaciones web y las bases de datos relacionales [4][15]. Para ello este articulo pretende detallar el funcionamiento las inyecciones SQL, además de algunos métodos existentes de prevención, detección y evaluación de dichas vulnerabilidades.

## 2. VULNERABIIDADES DE SQLi

### ¿Qué son las vulnerabilidades de inyección SQL?

Una inyección de SQL, a veces abreviada como SQLi, es un tipo de vulnerabilidad en la que un atacante usa un trozo de código SQL para manipular una base de datos y acceder a información potencialmente valiosa. Es uno de los tipos de ataques más frecuentes y amenazadores, ya que puede atacar prácticamente cualquier sitio o aplicación web que use una base de datos basada en SQL [16], [17].

La primera vulnerabilidad de inyección SQL fue expuesta públicamente el 25 de diciembre de 1998 en un artículo redactado por Jeff Forristal, bajo el seudónimo Rain Forest Puppy, en el número 54 de la revista online PHRACK. Jeff Forristal descubrió esta técnica durante una auditoría a un sistema NT. Cuando un

compañero investigador de Forristal envió un mensaje a Microsoft explicando el problema que habían descubierto Microsoft no lo consideró un problema [18].

Una estructura de código SQL representará un posible ataque a la seguridad de la información almacenada en la estructura de la base de datos debido a que existe diversidad de métodos de ejecución e implementación del estándar SQL e, implícitamente, una variedad de métodos disponibles en cuanto a las opciones de codificación específicas. La principal forma de ataque de inyección SQL consiste en la inserción directa de código dentro de los parámetros de entrada y salida, que posteriormente se encadenan con comandos SQL y luego se envían a un servidor para su ejecución [14], [19].

Un atacante puede modificar una declaración SQL y esa declaración precisa se ejecutará con los mismos derechos que los derechos del usuario por derechos de la aplicación. Cuando se utiliza SQL Server para ejecutar comandos que interactúan con el sistema operativo, el proceso se ejecutará con los mismos permisos que el elemento componente que ejecuta el comando [14], [20].

La inyección SQL se puede utilizar para: evitar los controles de autenticación y acceso; determinar la estructura de la base de datos; la enumeración de la base de datos; el acceso no autorizado a la base de datos (contraseñas, tarjetas de crédito); cambios no autorizados de los datos, incluida la eliminación de los registros, de las tablas, o la inserción de entradas; ejecutar comandos del sistema operativo.

**Riesgos asociados con el ataque de SQLi**

La inyección SQL es dañina y los riesgos asociados con ella motivan a los atacantes a atacar la base de datos. Las principales consecuencias de estas vulnerabilidades son ataques a las siguientes características[21], [22]:

- Autorización: Los datos críticos que se almacenan en una base de datos SQL vulnerable pueden ser alterados por un SQLIA exitoso.
- Autenticación: si no existe un control adecuado en los campos de entrada dentro de la página de autenticación, es posible iniciar sesión en un sistema como un usuario normal sin conocer al usuario autenticado.
- Confidencialidad: Generalmente las bases de datos están compuestas por datos sensibles como información personal, números de tarjetas de crédito y/o números sociales. Por lo tanto, la pérdida de confidencialidad es un problema terrible con la vulnerabilidad de inyección SQL.
- Integridad: Con un SQLIA exitoso no solo un atacante lee información confidencial, sino que también es posible cambiar o eliminar esta información privada.
- Huellas dactilares de la base de datos: el atacante puede determinar el tipo de base de datos que se utiliza en el backend para poder utilizar ataques específicos de la base de datos que correspondan a la debilidad de un sistema de gestión de bases de datos en particular.

**Impacto de los ataques de inyección de SQL**

Un ataque de inyección de SQL exitoso puede tener consecuencias graves para una empresa. Esto se debe a que en un ataque de inyección de SQL los atacantes pueden extraer y modificar datos, comprometer la privacidad de los usuarios. Además, el atacante puede conseguir acceso general al sistema y adueñarse de las credenciales de administrador [14] [23].

El costo de un ataque de inyección de SQL no es solo financiero también puede involucrar la pérdida de la confianza de los clientes y daños de reputación si se roba información personal, como nombres, direcciones, números de teléfono y detalles de tarjetas de crédito. Cuando se pierde la confianza del cliente, es difícil recuperarla [16] [24].

## 3. TIPOS DE SQLi

Según la forma de acceso a los datos de backend y la extensión del posible daño provocado, las inyecciones de SQL se dividen en diferentes categorías:

Tautologías: los ataques basados en tautología funcionan mediante la inyección de código mediante una o más consultas de sentencias SQL condicionales para generar el comando SQL, evaluar como una condición verdadera como (1=1) o (- -). El uso más común de esta técnica es eludir la autenticación en páginas web, lo que da como resultado el acceso a la base de datos. La consulta SQL que se muestra a continuación ilustra la tautología[22].
*Select * from employees where employee_ID='1=1'--' AND employee_password='1234'*

SQLi en banda (o clásica): este tipo de ataque SQLi es sencillo para los atacantes, porque usan el mismo canal de comunicación para lanzar ataques y obtener resultados. Este tipo de ataque SQLi tiene dos subvariantes[16], [22], [24]:

- SQLi basado en errores: Un ataque por errores consiste en introducir una consulta SQL que provoque un error en la base de datos. El mensaje de error que devuelve la base de datos suele dar detalles sobre su estructura, lo que se puede utilizar para seguir atacando el sistema. Por ejemplo, un atacante puede introducir 'OR 1 = 1 en un campo de formulario. Si la aplicación es vulnerable, podría mostrar mensajes como 'Error de sintaxis en la consulta SQL', 'Tabla no encontrada', 'Columna no válida' o 'Entrada de datos incorrecta'. Estos mensajes podrían proporcionar pistas a un atacante sobre cómo estructurar una consulta maliciosa para continuar explotando la vulnerabilidad[22], [24], [25].

- SQLi basado en unión: La técnica de ataque por uniones implica agregar una cláusula de UNION a una consulta SQL existente, este operador permite combinar el resultado de la consulta original con la salida de otra consulta arbitraria controlada por el atacante. Esto puede permitir al atacante recuperar información confidencial de la base de datos, como nombres de tablas, nombres de columnas o datos sensibles almacenados en la base de datos. Por ejemplo, en la siguiente consulta, el operador UNION combina los resultados de la consulta original con los resultados de 'SELECT username, password FROM user_table'. Si la aplicación es vulnerable podría devolver una página que incluyera nombres de usuario y contraseñas de la tabla de usuarios[22], [24].

  *SELECT name, link FROM post_table WHERE id < 10 UNION SELECT username, password FROM user_table; --;*

SQLi inferencial (también conocida como inyección de SQL ciega): en este tipo de SQLi, los atacantes usan patrones de respuesta y comportamiento del servidor después de enviar cargas útiles de datos para obtener más información sobre su estructura. Los datos no se transfieren de la base de datos del sitio web al atacante, así que el atacante no ve la información que solicita sobre el ataque en banda, ni recibe mensajes de error de la base de datos (por eso se usa el término "SQLi ciega"). La SQLi inferencial se puede clasificar en dos subtipos[16], [22], [24], [25]:

- SQLi basado en el tiempo: Es una técnica de explotación utilizada para extraer información de una base de datos a través de retrasos en las respuestas del servidor. El atacante manipula las consultas SQL para introducir retardos controlados en las respuestas del servidor. Esto se logra mediante instrucciones SQL que causen un retraso en la ejecución de la consulta, como WAITFOR DELAY en SQL Server o BENCHMARK() en MySQL. Por ejemplo, el atacante puede enviar una consulta como la siguiente:

  *SELECT * FROM users WHERE username = 'admin' AND BENCHMARK(1000000, SHA1('123')) --'*

  En esta consulta, la función BENCHMARK() se utiliza para esperar cierto tiempo antes de mandar la respuesta del servidor. Dependiendo de la duración del retraso, el atacante puede inferir si la consulta tuvo éxito o no.

- SQLi booleana: En este ataque se utilizan consultas SQL diseñadas para devolver resultados booleanos (verdadero/falso) dependiendo de ciertas condiciones. Basándose en las respuestas

booleanas recibidas, el atacante puede deducir información sobre la estructura y los datos de la base de datos. Por ejemplo, el atacante podría enviar una consulta como:

*SELECT * FROM users WHERE username = 'admin' AND password LIKE 'a%'*

Si la aplicación responde de manera diferente, por ejemplo, muestra un mensaje de 'usuario encontrado' o 'usuario no encontrado', dependiendo de si la consulta devuelve algún resultado o no, el atacante puede inferir si la condición es verdadera o falsa y, por lo tanto, deducir caracteres del campo de contraseña, uno por uno.

SQLi fuera de banda: Es una técnica de ataque utilizada para extraer información de una base de datos utilizando canales que no son la aplicación web en sí. En lugar de ver los resultados directamente a través de la interfaz de la aplicación, el atacante utiliza técnicas que implican la interacción con otros canales, como DNS, HTTP, SMTP, etc., para extraer datos. Este tipo de ataque de SQL se puede llevar a cabo en las siguientes dos situaciones: Cuando los atacantes no pueden usar el mismo canal para lanzar el ataque y compartir información; o cuando un servidor es demasiado lento o inestable para realizar estas acciones. (Kaspersky, 2024) Por ejemplo, el atacante podría manipular una consulta SQL para generar una solicitud DNS a su servidor, incluyendo los datos que desea extraer. Una vez que la solicitud es recibida por el servidor, este registra dichos datos para que, posteriormente, el atacante pueda visualizarlos. Otra técnica común es utilizar la función LOAD_FILE() en MySQL para leer archivos del sistema de archivos del servidor [18]. Por ejemplo, si el atacante puede inyectar código SQL que incluya LOAD_FILE('/etc/passwd'), el servidor MySQL intentará leer el archivo /etc/passwd y devolver su contenido [16], [24], [25].

## 4. FORMAS MODERNAS DE ATAQUES DE SQLi

Ataque de inyección SQL Fast Flux: al utilizar este tipo de SQLIA, el atacante intenta extraer datos de la base de datos y phishing. El phishing es un ataque de ingeniería social en el que un atacante adquiere de forma fraudulenta información confidencial del usuario incorporándose como un tercero. El host de phishing tradicional se puede detectar muy fácilmente simplemente rastreando el servidor de nombres de dominio (DNS) público o la dirección IP. Esta técnica de rastreo podría provocar el cierre de los sitios web de alojamiento. El atacante se dio cuenta de que realizar un ataque de este tipo podría tener un efecto significativo en el equilibrio de carga de un servidor; por lo tanto, para proteger sus activos criminales, el operador de sitios web de phishing comenzó a utilizar la técnica Fast Flux. Fast Flux es una técnica de servidor de nombres de dominio que se utiliza para ocultar sitios de distribución de malware y phishing detrás de una red en constante cambio de host comprometido [22].

Ataque de inyección SQL compuesto: este tipo de SQLIA es una combinación derivada de una conjunción de SQLIA y otros ataques a aplicaciones web. El atacante intenta atacar la base de datos y causar un efecto más grave que otros tipos clásicos de SQLIA (que se analizaron anteriormente). El rápido desarrollo de técnicas de prevención y detección contra varios SQLA obligó a los atacantes maliciosos a desarrollar una técnica llamada inyección SQL compuesta. SQLIA compuesto se puede detallar de la siguiente manera [22]:

Ataques de Inyección SQL + DDos (Denegación de Servicio Distribuido): este ataque se utiliza para colgar un servidor, agotar los recursos para que el usuario no pueda acceder a él. Los diferentes comandos SQL que se pueden usar en la inyección SQL para realizar un seguimiento del ataque DDOS son codificar, comprimir, unir, etc. A continuación se muestra el código de muestra que se usa para realizar el ataque SQL DDOS.

*Select tab1 from (select decode(encode(convert(compress(post) using latin1),concat(post,post,post,post)), sha1(concat(post,post,post,post))) as tab1 from table_1);*

- Inyección SQL + Secuestro de DNS (Servicio de nombres de dominio): Al utilizar este tipo de ataque, el atacante intenta incrustar la consulta SQL en la solicitud DNS, capturarla y llegar a Internet. A continuación se muestra cómo se realiza este ataque.

*Do_dns_lookup((select top 1 password from userTable) + '.inse6140.net');*

- Inyección SQL + XSS (Cross Site Scripting): XSS es el ataque de inyección de código del lado del cliente donde un atacante puede inyectar código malicioso en los campos de entrada de una aplicación. Después de insertar el script XSS, se ejecutará e intentará conectarse con la base de datos de una aplicación. El código de extracción de datos de la base de datos se puede implementar usando el comando iframe como se muestra a continuación [26].

  *Print "<html>" print "<h1>Most recent comment</h1>" <iframe src=http://evil.com/xss.html> print"</html>"*

SQLIA que utiliza políticas entre dominios de aplicaciones de Internet enriquecidas (RIA): las políticas entre dominios son un archivo XML que otorga permiso a la aplicación cliente web, como Java, Adobe Flash, Adobe Reader, etc., para acceder a datos en múltiples dominios. Las políticas entre dominios definen la lista de dominios de alojamiento RIP a los que se les permite recuperar contenido del dominio del proveedor de contenido[22].

A continuación se muestra un ejemplo del código débil que hace que la aplicación web sea vulnerable al SQLIA y también a otros tipos de ataques.

*<allow-access-from domain="*.sub1.domainA.com"/> <allow-access-from domain="*.domainC.com"/><allow-access-from domain="*"/>*

Inyección SQL + Autenticación insuficiente: este tipo de ataque ocurre cuando el usuario o un administrador es novato. Los parámetros de seguridad no se han inicializado y el atacante puede acceder al contenido sensible sin verificar la identidad del usuario. de este modo, el atacante aprovecha esta vulnerabilidad para inyectar código de inyección SQL. Por lo tanto, este tipo de ataque no presenta problemas en comparación con otros tipos de ataque. El primer paso es encontrar si la aplicación tiene autenticación insuficiente y, si la tiene, se puede realizar el ataque de inyección SQL [22].

## 5. EJEMPLOS DE ATAQUES DE SQLi

Existen numerosos ataques y vulnerabilidades detectadas en aplicaciones web de grandes empresas. A continuación, se muestras algunos ejemplos.

**WordPress, 2021**

Investigadores de Wordfence Threat Intelligence descubrieron una vulnerabilidad de inyección SQL ciega basada en tiempo en WP Statistics, que es un complemento de WordPress con más de 600.000 instalaciones activas. La vulnerabilidad podría ser aprovechada por un atacante no autenticado para extraer información confidencial de un sitio web de WordPress utilizando el complemento vulnerable. La falla ha sido calificada con una puntuación CVSS de 7.5 (alta gravedad), afecta a las versiones del complemento anteriores a la 13.0.8 [27].

**Freepik Company, 2020**

Un ataque de inyección SQL provocó la filtración de 8,3 millones de direcciones de correo electrónico y 3,7 millones de contraseñas cifradas para los usuarios de su aplicación de recursos gráficos Freepik y de su plataforma de base de datos de iconos Flaticon [28].

**Fornite, 2019**

Fornite es un juego en línea con más de 350 millones de usuarios. En 2019, se descubrió una vulnerabilidad de inyección de SQL que les permitía a los atacantes acceder a las cuentas de los usuarios. La vulnerabilidad se corrigió.

**Cisco, 2018**

En 2018, se encontró una vulnerabilidad de inyección de SQL en Cisco Prime License Manager. La vulnerabilidad permitía que los atacantes tuvieran acceso shell a los sistemas en los que estaba implementado el administrador de licencias. Cisco ya corrigió la vulnerabilidad.

**Tesla, 2014**

En 2014, investigadores de seguridad anunciaron que podían quebrantar el sitio web de Tesla con una inyección de SQL, lo que les permitiría obtener privilegios de administrador y robar datos de los usuarios en el proceso.

**Sony Pictures, 2011**

La red de Sony fue comprometida por un grave ataque de inyección SQL, afectando alrededor de 77 millones de cuentas de PlayStation Network y resultando en costos estimados de 170 millones de dólares para la compañía[23].

## 6. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA PREVENIR ATAQUES DE SQLi

El momento más adecuado para evitar vulnerabilidades de inyección SQL es en el momento de desarrollo del software. Los desarrolladores deben adoptar buenas prácticas de programación y estándares de codificación segura como SEI CERT C para C y C ++ y OWASP Top 10 para Java y .NET o CWE Top 25, todos tienen pautas que advierten sobre entradas no validadas en consultas SQL.

**Buenas prácticas para prevenir SQLi**

Las buenas prácticas de programación para prevenir este tipo de vulnerabilidades incluyen la validación de entradas para evitar la inserción de comandos SQL. Configurar las bases de datos para operar con el menor nivel de privilegios necesario. Evitar usar cuentas de administrador para operaciones cotidianas [29], [30].

Es necesario usar consultas preparadas (Prepared Statements), esto permite separar el código SQL del código de la aplicación, haciendo ineficaces las inyecciones SQL. Las consultas preparadas aseguran que los datos enviados por los usuarios se traten como simples datos y no como una parte del código SQL. En situaciones donde las consultas preparadas no son posibles, es importante escapar los caracteres especiales en las entradas de los usuarios para evitar que sean interpretados como parte del comando SQL [31].

Además, utilizar ORM (Mapeo Objeto-Relacional), ya que proporcionan una capa de abstracción para las consultas SQL, lo que reduce el riesgo de inyecciones SQL ya que las consultas suelen ser construidas por el ORM y no por concatenación de cadenas. Implementar políticas de seguridad rigurosas como las Content Security Policy (CSP) para reducir los riesgos de ciertos ataques, incluyendo las inyecciones SQL [29].

## 7. METODOS DE DETECCION Y EVALUACION DE VULNERABILIDADES DE INYECCION SQL

Existen diversos métodos para detectar este tipo de vulnerabilidades, entre estas se encuentran el análisis estático automatizado, análisis dinámico automatizado, análisis manual, análisis dinámico con interpretación automatizada de resultados, análisis dinámico con interpretación manual de resultados, análisis estático manual o automatizado de código fuente [15].

**Análisis estático automatizado**

Esta debilidad se puede detectar a menudo mediante herramientas de análisis estático automatizado. Muchas herramientas modernas utilizan análisis de flujo de datos o técnicas basadas en restricciones para minimizar la cantidad de falsos positivos. Es posible que el análisis estático automatizado no pueda reconocer cuándo se está realizando una validación de entrada adecuada, lo que genera falsos positivos, es decir, advertencias que no tienen consecuencias de seguridad o que no requieren ningún cambio en el código. Es posible que el análisis estático automatizado no pueda detectar el uso de funciones API personalizadas o bibliotecas de terceros que invocan indirectamente comandos SQL, lo que genera falsos negativos, especialmente si el código API/biblioteca no está disponible para el análisis. Esta no es una solución perfecta, ya que no es posible lograr una precisión y cobertura del 100%.

**Análisis dinámico automatizado**

Esta debilidad se puede detectar utilizando herramientas y técnicas dinámicas que interactúan con el software mediante grandes conjuntos de pruebas con muchas entradas diversas, como pruebas de fuzzing, pruebas de robustez e inyección de fallas. El funcionamiento del software puede volverse más lento, pero no debería volverse inestable, bloquearse o generar resultados incorrectos.

**Análisis manual**

El análisis manual puede ser útil para encontrar esta debilidad, pero es posible que no logre la cobertura de código deseada en un tiempo limitado. Esto se vuelve difícil para las debilidades que deben considerarse para todas las entradas, ya que la superficie de ataque puede ser demasiado grande.

## 8. HERRAMIENTAS PARA LA DETECCION Y EVALUACION DE SQLi

Existen gran variedad de herramientas que permiten detectar este tipo de vulnerabilidades. Cada una de estas herramientas ofrece diferentes métodos y enfoques para identificar y explotar vulnerabilidades, utilizando técnicas tanto estáticas como dinámicas. Algunas de las más destacadas en este campo son las siguientes.

SQLIer es una herramienta automatizada para la explotación de inyecciones SQL que adivina bases de datos y utiliza inyecciones SQL regulares y ciegas para extraer contraseñas de las bases de datos. Toma una URL vulnerable, envía solicitudes maliciosas y analiza las respuestas del servidor e intenta obtener toda la información necesaria para explotar la vulnerabilidad de inyección SQL por sí mismo, no requiriendo ninguna intervención del usuario [32].

SQLBrute es una herramienta para extraer datos de bases de datos utilizando vulnerabilidades de inyección SQL ciega mediante ataques de fuerza bruta para extraer información de la base de datos. Soporta exploits basados en tiempo y en error en un servidor Microsoft SQL, y exploits basados en errores para Oracle. SQLBrute está escrito en Python, utiliza multi-proceso y no requiere librerías no-estándar [33].

Havij es una herramienta automatizada para la explotación de inyecciones SQL que permite a los usuarios tomar el control de bases de datos vulnerables. Es conocida por su interfaz fácil de usar y su capacidad para automatizar muchas tareas de explotación. Envía solicitudes al servidor y analiza las respuestas para identificar patrones de vulnerabilidad. Detecta inyecciones SQL basada en errores, basada en tiempo y UNION Query.

SQLMap es una herramienta de código abierto que automatiza la detección y explotación de vulnerabilidades de inyección SQL y la toma de control de servidores de bases de datos. Es muy popular en la comunidad de seguridad debido a su capacidad para manejar una amplia gama de bases de datos y técnicas de inyección. SQLMap envía solicitudes al servidor y analiza las respuestas para identificar patrones que indiquen vulnerabilidades [34].

Burp Suite es una plataforma integrada para realizar pruebas de seguridad en aplicaciones web. Incluye una variedad de herramientas, como un proxy interceptador, un escáner de vulnerabilidades y módulos

específicos para detectar inyecciones SQL. Detecta inyección SQL basada en errores, basada en tiempo y UNION query. Utiliza técnicas de fuzzing y análisis de respuestas para identificar vulnerabilidades.

OWASP ZAP es una herramienta gratuita y de código abierto para encontrar vulnerabilidades en aplicaciones web. Es muy utilizada por desarrolladores y testers de seguridad debido a su facilidad de uso y su capacidad para integrarse en el flujo de trabajo de desarrollo. Detecta inyección SQL basada en errores, basada en tiempo y UNION query. Realiza escaneos automáticos y permite pruebas manuales para identificar vulnerabilidades [35].

SQLNinja es una herramienta diseñada específicamente para explotar vulnerabilidades de inyección SQL en aplicaciones web que utilizan Microsoft SQL Server como backend. Es útil para realizar pruebas de penetración y evaluar la seguridad de aplicaciones web. Detecta la inyección SQL basada en errores y basada en tiempo.

## 9. CONCLUSIONES

Las inyecciones SQL representan una de las vulnerabilidades más críticas en el ámbito de la ciberseguridad. En el presente trabajo se realizó un estudio sobre los principales factores relacionados con esta vulnerabilidad, las herramientas para su detección y los diversos tipos en los que puede manifestarse. Es necesario que los desarrolladores tengan en cuenta las medidas necesarias en la codificación de aplicaciones para mitigar el riesgo de ataques. La prevención y detección proactiva son claves para proteger las aplicaciones web contra las inyecciones SQL.

## REFERENCIAS

[1] V. T. Aranda, «Historia y evolución de Internet», 2004.
[2] M. R. Valarezo Pardo, J. A. Honores Tapia, A. S. Gómez Moreno, y L. F. Vinces Sánchez, «Comparación de tendencias tecnológicas en aplicaciones web», *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, vol. 7, n.º 3, pp. 28-49, 2018.
[3] A. P. Postigo, *Gestión de bases de datos*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2022.
[4] R. H. D. Del Pozo, H. W. A. Chariguaman, A. J. R. Quicaliquin, y J. A. T. Orizaga, «Algoritmos de seguridad para aplicaciones web: un mapeo sistemático», *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249.*, vol. 6, n.º 11 Ed. esp., Art. n.º 11 Ed. esp., jun. 2023, doi: 10.46296/ig.v6i11edespjun.0100.
[5] H. R. G. Brito y R. M. Perurena, «Riesgos de seguridad en las pruebas de penetración de aplicaciones web : Security risks in web application penetration testing», *Revista Cubana de Transformación Digital*, vol. 2, n.º 2, Art. n.º 2, jun. 2021.
[6] S. Antón Rodriguez, «Los retos de transformarnos digitalmente › Doble Click › Granma - Órgano oficial del PCC». Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.granma.cu/doble-click/2024-07-09/los-retos-de-transformarnos-digitalment-09-07-2024-22-07-15
[7] S. Antón y Y. del S. González, «De informatizar(nos) al siguiente paso: la transformación digital en Cuba», Granma.cu. Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.granma.cu/cuba/2022-03-20/de-informatizarnos-al-siguiente-paso-la-transformacion-digital-en-cuba-20-03-2022-22-03-19
[8] Y. Guevara, «Un paso más en el horizonte de la transformación digital». Accedido: 30 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.juventudrebelde.cu/suplementos/informatica/2024-03-20/un-paso-mas-en-el-horizonte-de-la-transformacion-digital
[9] «Transformación digital, agenda digital e inteligencia artificial: ¿Qué plantean las nuevas políticas? (+ Video) - Cubadebate», Cubadebate - Cubadebate, Por la Verdad y las Ideas. Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.cubadebate.cu/especiales/2024/06/13/transformacion-digital-agenda-digital-e-inteligencia-artificial-que-plantean-las-nuevas-politicas/

[10] J. Guarino, «Las empresas argentinas sufren 33 ataques informáticos por minuto». Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ambito.com/tecnologia/las-empresas-argentinas-sufren-33-ataques-informaticas-minuto-n6041164
[11] M. McLennan y Zurich Insurance Group, «Global Risks Report 2024», World Economic Forum. Accedido: 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/
[12] «ENISA Threat Landscape 2020 - Web application attacks», ENISA. Accedido: 27 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.enisa.europa.eu/publications/web-application-attacks
[13] «OWASP Top 10: 2021». Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/Top10/
[14] I. Iacob y M. Pirnau, «SQL INJECTION ATTACKS AND VULNERABILITIES», *JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS*, vol. 14, 2020.
[15] «CVE security vulnerability database. Security vulnerabilities, exploits, references and more». Accedido: 21 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.cvedetails.com/vulnerabilities-by-types.php
[16] «¿Qué es la inyección de SQL? Definición y explicación», latam.kaspersky.com. Accedido: 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/sql-injection
[17] S. E. Prasetyo, H. Haeruddin, y K. Ariesryo, «Website Security System from Denial of Service attacks, SQL Injection, Cross Site Scripting using Web Application Firewall», *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 18, n.º 1, Art. n.º 1, may 2024, doi: 10.35457/antivirus.v18i1.3339.
[18] «Phrack #54», Exploit Database. Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.exploit-db.com/exploits/42865
[19] T. Angula y V. Hashiyana, «Detection of Structured Query Language Injection Attacks Using Machine Learning Techniques», *International Journal of Computer Science and Information Technology*, vol. 15, pp. 13-26, ago. 2023, doi: 10.5121/ijcsit.2023.15402.
[20] C. A. Chicaiza, M. A. Hallo, y G. L. Suntaxi, «Guía Multimedia para la Prevención y Detección de Vulnerabilidades de Inyección SQL Durante Desarrollo de Aplicaciones Web (PyDISQL)», presentado en Vigésima Primera Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, Orlando, Florida, Estados Unidos, jul. 2022, pp. 109-114. doi: 10.54808/CISCI2022.01.109.
[21] J. Quiroga, «SQL Injection», Accedido: 1 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/34751078/SQL_Injection
[22] Z. Alwan y M. Younis, «Detection and Prevention of SQL Injection Attack: A Survey», *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 68, pp. 5-17, ago. 2017.
[23] A. H. Domínguez, «Entre líneas de código: El impacto invisible de las inyecciones SQL - Cubadebate», Cubadebate - Cubadebate, Por la Verdad y las Ideas. Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.cubadebate.cu/especiales/2024/03/13/entre-lineas-de-codigo-el-impacto-invisible-de-las-inyecciones-sql/
[24] S. A. C. Fernández, «Estudio de Tipos de Vulnerabilidades SQL Injection y Protección contra los Mismos», Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2024. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/82654/1/TFG_SOFIA_ALEJANDRA_CADENAS_FERNANDEZ.pdf
[25] R. Singh, Dipak Raghunath Patil, Mukesh Kumar Gupta, Sarang Maruti, y Sarang Maruti Patil, «Web of Threats: A Comprehensive Analysis of Various Injection Attacks on Web Application Software», *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, vol. 27, n.º 3, Art. n.º 3, ago. 2024.
[26] «Roban los datos de 2 millones de personas mediante inyecciones SQL y ataques XSS». Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://cibernovedades.com/roban-los-datos-de-2-millones-de-personas-mediante-inyecciones-sql-y-ataques-xss/
[27] P. Paganini, «Blind SQL Injection flaw in WP Statistics impacted 600K+ sites», Security Affairs. Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://securityaffairs.com/118099/hacking/wordpress-wp-statistics-flaw-2.html
[28] D. Olenick, «Massive Freepik Data Breach Tied to SQL Injection Attack». Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.bankinfosecurity.com/massive-freepik-data-breach-tied-to-sql-injection-attack-a-14880
[29] «Protección contra Inyecciones SQL». Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ciberseguridad.comillas.edu/proteccion-contra-inyecciones-sql/

[30] J. F. P. Garzón, «Protección Ante Ataques De Inyección SQL en Aplicaciones Web», ene. 2018, Accedido: 1 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/89550984/Protecci%C3%B3n_Ante_Ataques_De_Inyecci%C3%B3n_SQL_en_Aplicaciones_Web

[31] M. A. L. Soto, A. M. D. Burgueño, M. I. T. Ramírez, y J. F. P. Garzón, «PROTECCIÓN ANTE ATAQUES DE INYECCIÓN SQL EN APLICACIONES WEB», *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, vol. 2, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2018, Accedido: 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.redtis.org/index.php/Redtis/article/view/22

[32] W. Yuan, *AsdFinal/sqlier*. (9 de octubre de 2022). Shell. Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://github.com/AsdFinal/sqlier

[33] *GDSSecurity/SQLBrute*. (12 de agosto de 2024). Python. Aon's Cyber Solutions - Security Testing (Formerly GDS). Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://github.com/GDSSecurity/SQLBrute

[34] «sqlmap: herramienta automática de inyección SQL y toma de control de bases de datos». Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sqlmap.org/

[35] «Guía para desarrolladores de OWASP | Zed Attack Proxy | Fundación OWASP». Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/www-project-developer-guide/draft/verification/tools/zed_attack_proxy/

**sobre los autores**

Mailenis Castillo Gil. Estudiante universitaria de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI). Actualmente cursa el cuarto año de la carrera de Ingeniería en Ciberseguridad.

Ing. Henry Raúl González Brito M. Sc. Ingeniero Informático graduado en 2005 en la Universidad de Camagüey y la Universidad Tecnológica de La Habana, Máster en Gestión de Proyectos Informáticos (2012) y diplomados en Inteligencia Tecnológica (2013) y Tecnologías Digitales para la Docencia Universitaria (2023). Actualmente es Profesor Auxiliar y Director de Seguridad Informática en la UCI, además de Coordinador de la Especialidad de Posgrado en Seguridad Informática. Miembro del claustro de varias maestrías. Pertenece al Consejo Científico de la UCI y es miembro de la Junta Directiva Nacional de la Unión de Informáticos de Cuba. Sus investigaciones se centran en seguridad web, ciberseguridad, pruebas de penetración y la superación profesional en este campo. Autor de un libro sobre gestión segura de portales web y reconocido por su labor docente y contribuciones al campo, con premios nacionales e internacionales dentro de las que se destaca la Distinción Especial del Ministro del MES por su labor de posgrado.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE RED TRADICIONAL Y SDN: CASO DE ESTUDIO GOBIERNO PROVINCIAL DE MANABÍ

**Marely del Rosario Cruz Felipe[1], Leonardo Benítez Chacón[2], Erivel Pérez Fernández[3]**

[1,2] Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
[3] Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Manabí
[1]e-mail:marely.cruz@utm.edu.ec

**RESUMEN**

Este trabajo parte de la necesidad de mejorar el funcionamiento de la red del Gobierno Provincial de Manabí y de expandirla hacia un nuevo edificio llamado Nilton Días. El objetivo de esta investigación comprende diseñar la red lógica del edificio. Para lograr este propósito, se aplicaron metodologías Top-Down y PPDIOO en tres fases: Preparar, Planear y Diseñar, respaldadas por métodos inductivos, empíricos, modelación teórica y el método sintético. La investigación abordó la revisión de la literatura relacionada con redes de datos y evaluó el estado actual de la red del Gobierno Provincial de Manabí (GPM). Surgieron dos propuestas: la primera incorpora una topología tradicional con un servidor DNS secundario en una nueva localidad, mientras que la segunda adopta el paradigma SDN para la nueva ubicación, conectándose a la red tradicional existente. Los resultados obtenidos de pruebas de rendimiento indicaron que la propuesta 2 supera a la primera en latencia y pérdida de paquetes. Este trabajo propone un diseño lógico de la red de datos del Gobierno Provincial de Manabí, también presenta resultados respaldados por pruebas y análisis que determinan la viabilidad y eficiencia de la propuesta SDN en comparación con enfoques tradicionales.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño de red, Redes definidas por software, SDN, EVE-NG.

## TRADITIONAL NETWORK DESIGN AND SDN: CASE STUDY PROVINCIAL GOVERNMENT OF MANABÍ

**ABSTRACT**

For the development of this work, the necessity to enhance the performance of the Manabí Provincial Government's network and extend it to a new building named Nilton Días. Given this context, the objective of this research involves designing the logical network of this building. To achieve this goal, Top-Down and PPDIOO methodologies were applied across three phases: Prepare, Plan, and Design, supported by inductive, empirical, theoretical modeling, and synthetic methods. The research involved reviewing literature related to data networks and evaluating the current state of the Manabí Provincial Government's network. Two proposals emerged: the first incorporates a traditional topology with a secondary DNS server in a new location, while the second adopts the SDN paradigm for the new site, connecting it to the existing traditional network. Performance test results revealed that Proposal 2 outperforms the first in terms of latency, and packet loss. This work proposes a logical redesign of the GPM's data network and presents results supported by tests and analyses that determine the feasibility and efficiency of the SDN proposal compared to traditional approaches.

**KEY WORDS:** network design, Software Defined Networking, SDN, QoS parameters, EVE-NG.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de comunicación entre equipos existe una red de datos conocida como red de área local o LAN, la cual juega el papel principal en el desarrollo de este proceso. Esta red permite que el intercambio de información se realice de forma rápida y ordenada. Además, en el ámbito de Tecnologías de la Información (TI) es importante contar con seguridad para proteger la información digital de los [1]. La red se considera la columna vertebral de las organizaciones funcionando ininterrumpidamente las 24

horas del día [2]. En este sentido es necesario contar con una red informática ya que tienen un impacto social y económico significativo, que transforma la forma de trabajar y de vida de las personas.

La red del Gobierno Provincial de Manabí tiene algunas limitaciones en cuanto al funcionamiento de los servicios, a su vez existen varios servicios que se encuentran aislados del administrador de la red. También se ha detectado que existen equipos de diferentes fabricantes y especificaciones que podrían provocar interrupciones de las comunicaciones. También es necesario replantear la configuración de Redes de Área Local Virtuales (VLAN) para dirigir el tráfico y segmentar correctamente la red [1], lo cual permitiría monitorear correctamente la red [2], desde software especializado o herramientas que brinda directamente el firewall de la red. En general los problemas provocan retrasos en la prestación de los servicios del Gobierno Provincial.

Actualmente la tecnología juega un papel fundamental y es necesario contar con una infraestructura de red que sea confiable. Esto permite una correcta comunicación entre la organización y los usuarios que utilizan sus servicios. Sin embargo, las instituciones que presentan limitaciones en este tipo de infraestructura, necesitan realizar una valoración del estado de la red y recopilar información de la misma [3]. A su vez diagnosticar los problemas y plantear un rediseño físico y lógico de la infraestructura de red para gestionar e incrementar la calidad del servicio de la organización.

Diferentes planteamientos en torno a este tema se han realizado a lo largo del tiempo; por ejemplo, Flores y otros autores [2] aplicaron segmentación en la red, utilizando redes de área local virtuales (VLAN) a nivel de capa 2 y capa 3 del modelo OSI (Iinterconexión de sistemas abiertos). Además, se gestionó el ancho de banda aplicando QoS (Calidad de Servicio), priorizando el tráfico de la red según la aplicación que lo necesite. También se ha usado una configuración similar de sectorización mediante VLAN, con una metodología Topdown Network y su respectiva simulación en la herramienta Cisco Packet Tracer [3].

Además en [1] se planteó una topología jerárquica sectorizando la red y adicional se utilizó el protocolo Spanning Tree (STP) para tener conexiones convergentes y evitar bucles, además se desplego una zona desmilitarizada o DMZ, para aislar los servidores de la red local. El enfoque fue orientado a mantener bajo costo [4], se centraron en el cableado estructurado y los puntos de red, así también reutilizaron el equipamiento existente, optimizando las conexiones existentes para evitar las colisiones de paquetes en la red.

Otras investigaciones plantearon el uso de zonas desmilitarizadas (DMZ) y topologías jerárquicas, mediante un ambiente simulado con el software Opnet para obtener datos estadísticos del funcionamiento inicial y final de la red [5]. De forma similar otros autores [6],[7] plantean el uso de tecnologías similares como Cisco y uso de software libre para facilitar la gestión de la red y disminuir los costos. Una tecnología que reúne estas características son las redes definidas por software (SDN) [8], gracias al entorno virtualizado que plantea, este puede reducir considerablemente los costos y aumentar el rendimiento de los equipos de red.

Luego del análisis de la literatura existente, se determina que no en todos los casos se realiza un planteamiento completo de la red que incluya varios servicios y tecnologías. Además, cada diseño debe partir de las características propias del entorno, por lo que en este trabajo se ha considerado realizar un rediseño de la red física y lógica en el GPM. Esto permitirá que los recursos humanos, financieros y técnicos de la institución funcionen y gestionen todas sus actividades de manera ágil y correcta.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describen los métodos y metodología empleada en el desarrollo de este trabajo.

El tipo de investigación es aplicada ya que se partió de una teoría existente para aplicarla a un problema concreto, ya que se diseñó una nueva topología de red lógica de la red en el GPM, se centró en resolver un problema concreto de manera práctica y en la implementación de soluciones concretas.

El enfoque de investigación es cuantitativo ya que se consideró la infraestructura existente, se analizó y se describió los problemas existentes para desarrollar el trabajo de investigación. Este proyecto integra el despliegue de técnicas de ingeniería de sistemas y redes para recopilar la información necesaria con el fin de analizarla y emplearla en el planteamiento del diseño.

En el proceso de investigación, fue necesario utilizar diferentes métodos científicos para obtener los resultados deseados. Se utilizó el método inductivo con el objetivo de analizar el objeto observado. También se empleó el método empírico, que se basa en la observación y la experimentación. A través de la observación, se recopilan datos sobre fenómenos particulares, lo que conduce a la formulación de hipótesis que pueden ser probadas mediante experimentación [9].

Se emplea además la modelación que se presenta como un método de investigación esencial. En este contexto, la investigación sugiere componentes teóricos específicos a nuestro objeto de estudio, para presentar las características del mismo y como se relaciona sus componentes [10]. Y finalmente, el método sintético, que busca la síntesis de la investigación, buscando unificar los elementos que se han estudiado [9].

**Metodología**

La metodología PPDIOO, basada en el ciclo de vida PPDIOO propuesto por Cisco para la gestión de redes, se origina en la idea de lograr objetivos fundamentales, como la reducción de los costos totales de administración de la red, el incremento de la disponibilidad de la red y la agilidad en la implementación de cambios en la estructura de la red. Este ciclo de vida resulta beneficioso tanto para la implementación de nuevas redes como para las actualizaciones en redes existentes. Las etapas que componen este ciclo de vida son interdependientes y conforman un proceso continuo. [12].

Para desarrollar esta investigación se utilizaron las tres primeras fases del marco metodológico que comprende el ciclo de vida PPDIOO planteado por Cisco. Sus diferentes fases ayudan a la optimización de las redes, disminuyendo sus costes de despliegue e implementación, así también como su posibilidad de realizar cambios a largo plazo. Estas fases se ilustran en la Figura 1 a continuación:




Figura 1: Ciclo de vida PPDIOO. Fuente: Cisco

El desarrollo de esta investigación se basó en tres primeras siguientes fases:

**Preparar:** Se realiza la recolección de información. Incluye actividades para identificar los requerimientos de la red y analizar todo lo que afecta a la infraestructura de comunicaciones del GPM. Durante esta etapa, se recopilaron y evaluaron los requisitos específicos de la red.
**Planear:** Se realizan las propuestas de diseño lógico. Se analizó un rediseño y se planteó una nueva topología de red, teniendo en cuenta diferentes protocolos de comunicación, basado en las exigencias técnicas referentes a la infraestructura, servicios y aplicaciones, y se emplearon esquemas y registros para identificar los dispositivos utilizados en el diseño.

**Diseñar:** Se realizan pruebas y la documentación. Durante esta etapa se llevaron a cabo pruebas de conectividad mediante una emulación, lo cual facilitó la detección de posibles errores de configuración que fueron corregidos posteriormente. Mediante esta emulación, se pudo monitorear el rendimiento y las métricas necesarias que brindaron datos relevantes para proceder a la documentación correspondiente. En dicha documentación se detallan todas las características del nuevo diseño.

## 3. RESULTADOS

**Fase de Preparación:** Para el desarrollo de las propuestas de diseño, fue necesario primero analizar el estado actual de la red del GPM, como se muestra en la Figura 2.

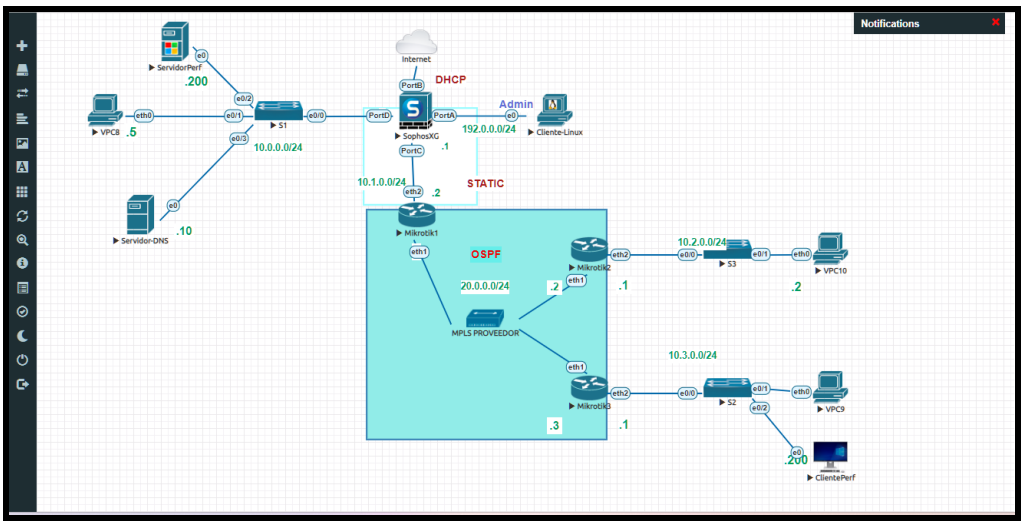



Figura 2: Diagrama de red actual del GPM.

Para realizar esta representación de la topología actual se asignó el direccionamiento IP diseñado para realizar las pruebas. En el diseño del entorno actual se ejecutaron diversas pruebas con el propósito de evaluar el rendimiento y la accesibilidad del servidor DNS alojado en la zona desmilitarizada (DMZ) de la red. Una de las pruebas fundamentales consistió en la realización de un ping al servidor DNS.. Esta evaluación es crucial para determinar la eficiencia de la comunicación con el servidor DNS desde diferentes puntos de acceso en la red.

**Fase de Planeación:**

Después de haber realizado un análisis de la topología de red existente y de considerar los resultados obtenidos de las pruebas en el servidor DNS en la DMZ, se plantean dos propuestas estratégicas con el objetivo de optimizar la infraestructura y abordar las necesidades futuras del entorno de red.

**Planeación de la Propuesta #1**

La primera propuesta se centró en la expansión de la topología existente para incluir un nuevo edificio, manteniendo la conectividad con la topología ya establecida. Esto implicó la instalación de nuevos dispositivos de red, como switches y routers, en la ubicación del nuevo edificio. Esta propuesta permite un crecimiento escalable de la infraestructura, asegurando una distribución eficaz de los recursos.

También, se contempló la implementación de un servidor DNS local en dicha ubicación. Esta decisión se basó en la necesidad de optimizar el rendimiento y la eficiencia de la red en el nuevo entorno, al mismo tiempo que se proporcionaba mayor autonomía y flexibilidad en la administración de los recursos de resolución de nombres de dominio. Esto resultó en tiempos de respuesta más rápidos para las solicitudes de los usuarios. Además, el servidor DNS local permitió un mayor grado de control y personalización en la administración de los nombres de dominio dentro del nuevo edificio.

**Planeación de la Propuesta #2**

La segunda propuesta presentó una solución más innovadora al adoptar una topología híbrida basada en SDN (Redes Definidas por Software). Se sugirió la implementación de una arquitectura en la que se combinaron elementos de la infraestructura de red convencional con tecnologías SDN. Esto permitió una gestión centralizada y flexible de la red, con la capacidad de optimizar el flujo de tráfico y la asignación de recursos según las cambiantes demandas. La implementación de SDN también pudo simplificar la administración y el mantenimiento, a la vez que abrió la puerta a la implementación rápida de políticas de seguridad y calidad de servicio.

Además, la topología SDN híbrida permitió la optimización del flujo de tráfico a través de la red. Mediante el enrutamiento inteligente y dinámico, los controladores SDN pudieron dirigir el tráfico de manera eficiente, evitando congestiones y reduciendo la latencia. Esta optimización fue particularmente valiosa para el nuevo edificio, ya que garantizó un rendimiento óptimo incluso en situaciones de alta carga de tráfico. A continuación, se presenta en la figura 3 un diagrama que ilustra ambas propuestas. En 3ª la de expansión de la topología con el nuevo edificio y el servidor DNS local y en 3b la que ilustra la propuesta de implementación de una topología SDN híbrida en el nuevo edificio:

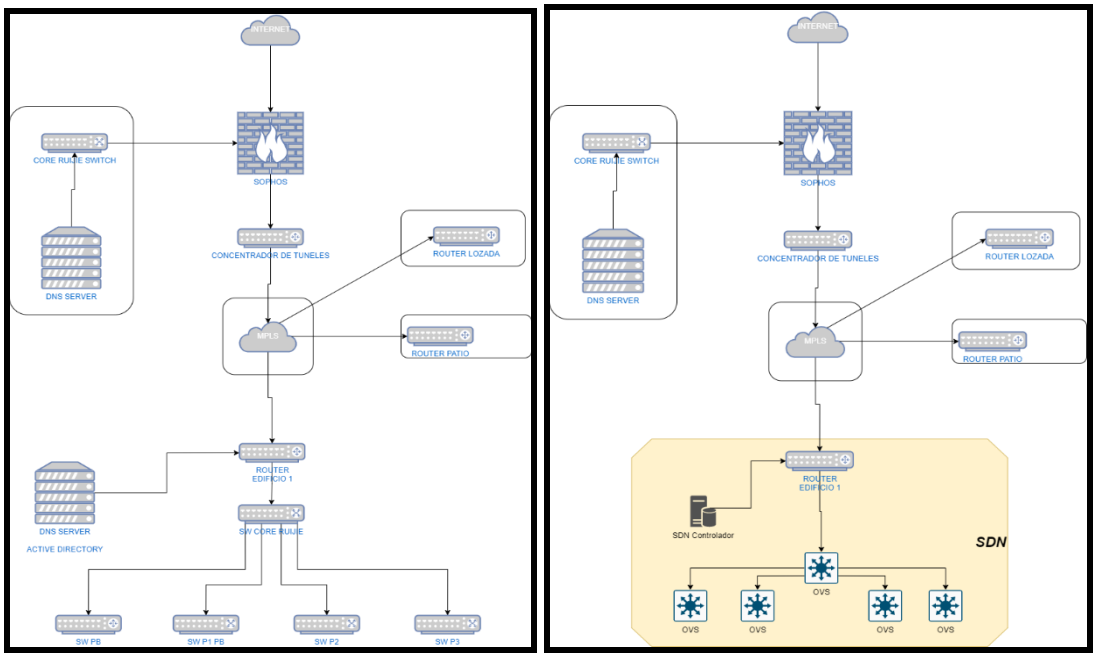



Figura 3: Propuestas de diseño de la red, 3a. Propuesta 1, servidor DNS en la nueva localidad. 3b. Propuesta 2, despliegue SDN híbrido.

En la figura 3a, se muestra cómo se integra el nuevo edificio en la topología existente. El servidor DNS local en el nuevo edificio actúa como un punto de resolución de nombres de dominio específico para los dispositivos en esa ubicación, lo que mejora la eficiencia de la red y permite una gestión más flexible de las políticas de nombres de dominio. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**b, se muestra cómo se integra el enfoque SDN en la topología existente, habilitando la administración centralizada y la optimización del flujo de tráfico en todo el entorno. Los dispositivos tradicionales de red coexisten con los elementos SDN, creando una arquitectura híbrida.

**Fase de Diseño**

Basado en las propuestas planteadas anteriormente que son: la Propuesta 1, que se centra en el diseño lógico de la red y la incorporación de un servidor DNS secundario y la Propuesta 2, que aborda el diseño lógico de la red utilizando el paradigma de las redes definidas por software. Estas propuestas representan diferentes enfoques, y en esta sección, se detalla el proceso de diseño que condujo a su desarrollo.

**Diseño de la Propuesta #1**

En el proceso de diseño de la infraestructura de red, se ha llevado a cabo una etapa fundamental: la emulación de la nueva topología propuesta. Con el fin de visualizar con claridad los cambios y mejoras que se pretenden implementar, se empleó el simulador EVE-NG para crear una representación virtual de la topología completa. En la figura 4, se puede observar cómo se integra el nuevo edificio en la red existente, destacando la incorporación del servidor DNS secundario en la nueva ubicación.

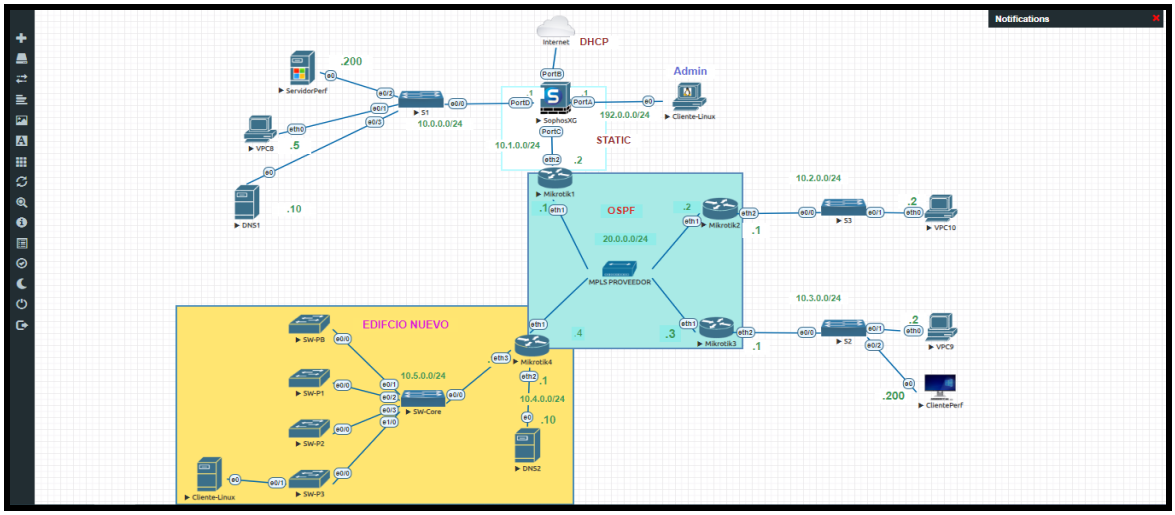


Figura 1. Simulación en EVE-NG propuesta #1.

Mediante la ejecución del comando "service bind9 status", se ha verificado el óptimo funcionamiento del servidor DNS en la ubicación propuesta, el cual fue previamente configurado. La figura 5 muestra que el servidor DNS, esencial para la resolución de nombres de dominio, se encuentra en pleno funcionamiento, listo para atender las solicitudes.

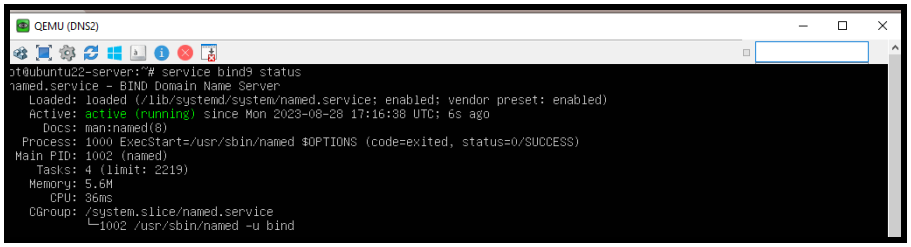


Figura 5. Estado del servidor bind9 DNS.

Adicionalmente, se presenta un registro en la Figura que detalla la exitosa transferencia de dominio llevada a cabo en el proceso de implementación. Esta transferencia, fundamental para asegurar la coherencia en la resolución de nombres de dominio, se ha ejecutado sin inconvenientes, validando la efectividad del diseño y la configuración del servidor DNS secundario.

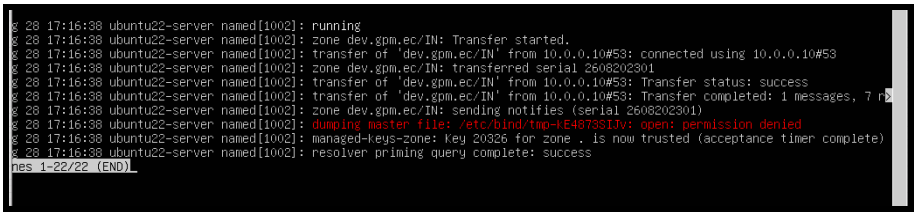


Figura 6. Transferencia de zona exitosa. Fuente: Autor.

Con el propósito de llevar a cabo pruebas de funcionamiento y asegurar la efectividad de la nueva configuración de red, se ha incluido un cliente Linux en el entorno como muestra la figura 7. Este cliente se ha asignado con la dirección IP 10.5.0.2, y se ha posicionado estratégicamente para emular situaciones reales de uso y evaluación de la infraestructura. Al proporcionar un punto de partida para la realización de pruebas, el cliente Linux permitirá medir y validar el rendimiento, la accesibilidad y la resolución de nombres de dominio a través de la red.

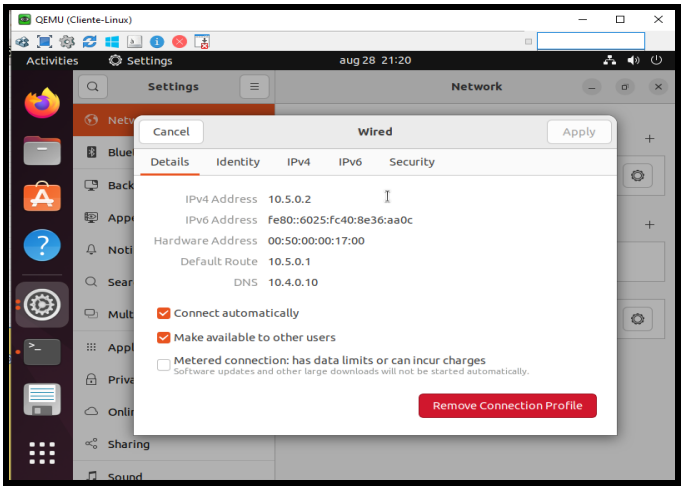



Figura 72. Configuración IP Cliente Linux.

Para evaluar la conectividad inicial y la latencia en la comunicación dentro de la red optimizada, se llevó a cabo una primera prueba de ping desde el cliente Linux asignado. Esta prueba de ping, que consistió en el envío de 10 paquetes de datos, con el comando “ping -w10 10.4.0.10”, al servidor DNS secundario. Además, se realizó lo mismo al dominio “ns.dev.gpm.ec” perteneciente al servidor DNS primario como lo indica la figura 8, esto permitió medir el tiempo de ida y vuelta de los paquetes y proporcionó una estimación preliminar de la velocidad y la estabilidad de la conexión. Los resultados obtenidos en esta prueba fueron esenciales para comprender la calidad de la comunicación en el nuevo entorno de red y sentar las bases para futuras optimizaciones, si fuera necesario. La prueba de ping representó el primer paso en la evaluación del rendimiento y la eficiencia de la infraestructura diseñada, asegurando que la comunicación entre el cliente y el servidor DNS se realizara sin problemas.

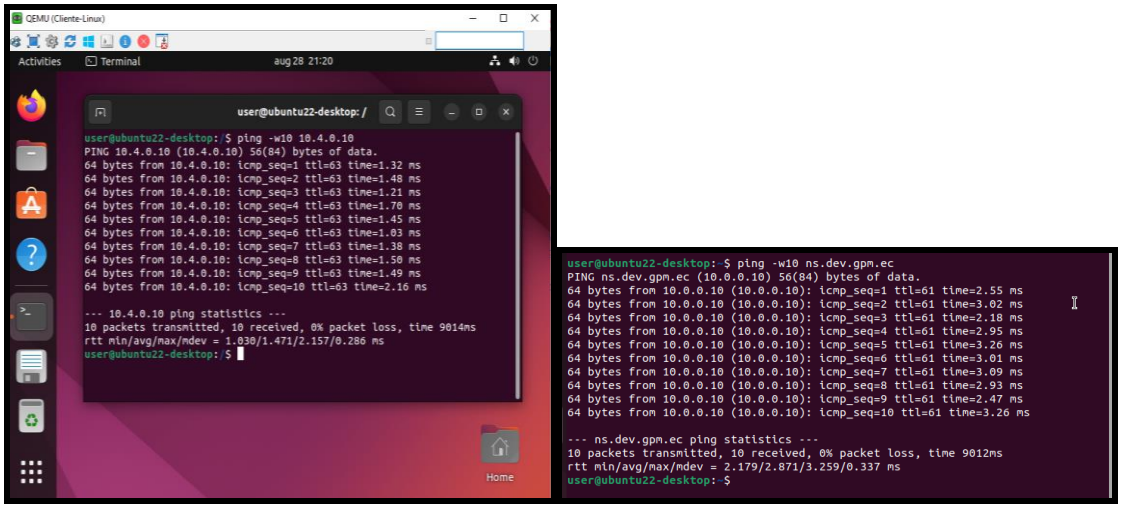



Figura 3a. Prueba ping al servidor secundario. Figura 8b. Prueba de ping al servidor primario.

A continuación, se procedió a la configuración de un cliente Windows en el entorno, asignándole una dirección IP específica. El cliente Windows fue configurado con la dirección IP “10.5.0.3”. Para asegurar

una configuración precisa y completa, se utilizó el comando "ipconfig /all", que proporcionó una vista detallada. Este cliente Windows se utilizó para llevar a cabo pruebas utilizando la herramienta "dns benchmark" [12]. Al ejecutar esta herramienta desde el cliente figura 9, se evaluaron y compararon los rendimientos de los servidores DNS secundario y primario en términos de velocidad y eficiencia en la resolución de nombres de dominio.

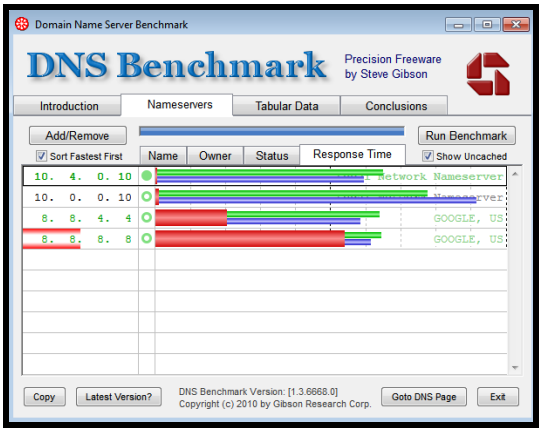



Figura 9. Evaluación de rendimiento con DNS Benchmark. Fuente: Autor.

La información obtenida de estas pruebas proporcionó un análisis sobre la capacidad de los servidores DNS para gestionar solicitudes de resolución en la red, en el acápite siguiente, se muestran dichos resultados.

**Diseño de la Propuesta #2**

En el marco de este trabajo, se exploró una segunda propuesta que implicó la implementación de una infraestructura de red híbrida basada en SDN. Esta propuesta representó un paso estratégico en la búsqueda de una infraestructura de red más ágil y adaptable. A continuación, se detallan los aspectos clave de esta propuesta, respaldados por la figura 10 que ayudará a visualizar el concepto de esta infraestructura.

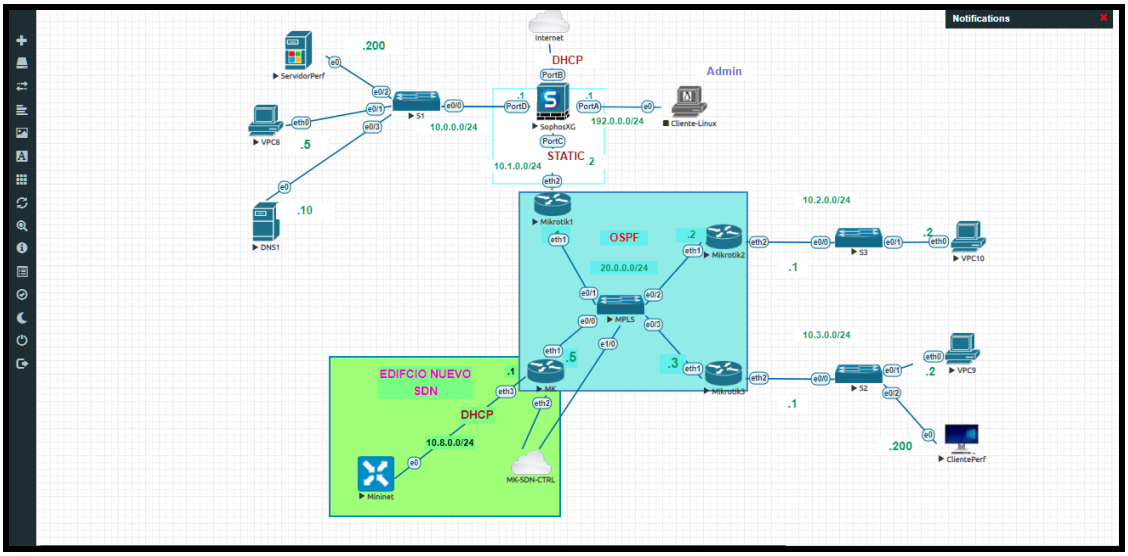



Figura10. Simulación de Red Híbrida SDN. Fuente: Autor.

Para llevar a cabo la propuesta de una infraestructura de red híbrida SDN, se realizaron una serie de acciones clave configurando los dispositivos de la red. En primer lugar, se empleó la plataforma de virtualización VMware Workstation para desplegar eficazmente el controlador SDN en un entorno virtualizado. Esto proporcionó la flexibilidad necesaria para la gestión centralizada de la red y la programación dinámica de recursos. Además, se integró con éxito otro Router MikroTik a la topología de

la red, permitiendo una transición gradual hacia el nuevo paradigma SDN y garantizando la compatibilidad con la infraestructura de red existente como la propuesta.

**Discusión Propuesta #1**

En esta sección, se desarrollan las pruebas que forman un pilar fundamental de nuestra investigación. Durante esta etapa, se llevaron a cabo pruebas de latencia en la red, con un enfoque particular en la medición de la latencia entre nuestros hosts y los servidores DNS locales, así como la latencia hacia Internet en general. Además, se empleó la herramienta DNS Benchmark, la cual genero información relevante sobre los servidores DNS. A continuación, exploraremos en detalle los procedimientos y hallazgos resultantes de estas pruebas.

Para validar los resultados en la tabla 1 proporciona datos específicos sobre los resultados de la prueba de ping entre el servidor primario y el servidor secundario desde el cliente Linux. Los valores numéricos, como el número de paquetes enviados y recibidos, la pérdida de paquetes y el tiempo promedio de respuesta, se presentan en un formato organizado y estructurado, permitiendo una evaluación detallada y comparativa del rendimiento de ambos servidores DNS.

Tabla 1. Tiempo de respuesta promedio de los servidores DNS.

| **Servidores DNS** | **Paquetes Enviados** | **Paquetes Recibidos** | **Perdida de Paquetes** | **Tiempo de Respuesta Promedio (ms)** |
|---|---|---|---|---|
| Servidor Primario | 100 | 100 | 0% | 2.871 |
| Servidor Secundario | 100 | 100 | 0% | 1.471 |

**Discusión Propuesta #2**

En esta sección se llevaron a cabo una serie de pruebas cruciales destinadas a evaluar el rendimiento y la eficacia de la red bajo condiciones controladas. Estas pruebas abarcaron diversas áreas, desde el descubrimiento de los hosts y la integración de la topología SDN hasta la medición de latencia y el rendimiento del ancho de banda. Utilizando el controlador HPE VAN Controller y la herramienta Mininet para implementar la topología, se habilitó la interacción entre conmutadores y hosts..

**Detección de los dispositivos en el controlador**

En la fase de resultados, se procedió a explorar el OpenFlow Monitor alojado dentro del controlador SDN. Esta herramienta proporcionó una visión detallada de la red al identificar y mostrar los dispositivos que se habían descubierto y estaban utilizando activamente el protocolo OpenFlow como lo muestra la figura 11. Esta exploración fue esencial para comprender la dinámica de la red y verificar la correcta integración de los dispositivos compatibles con SDN en la infraestructura. Los resultados obtenidos de esta revisión inicial establecieron una base sólida para el análisis posterior de la red y sus interacciones.

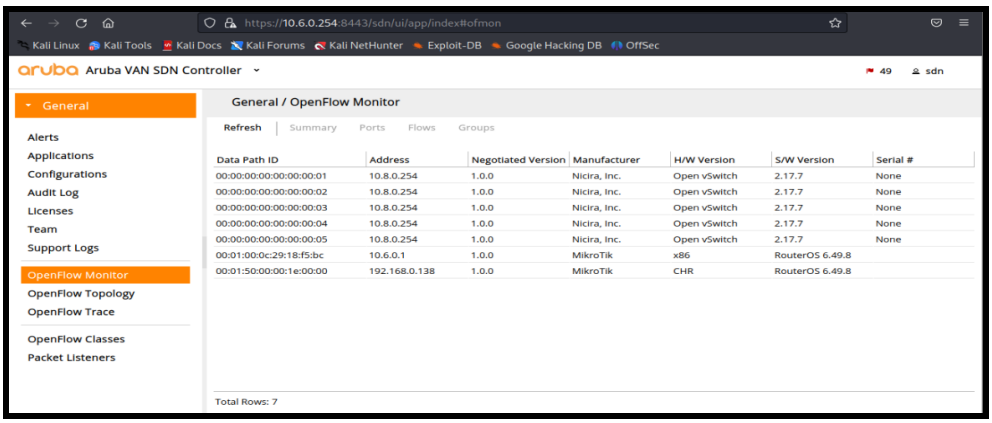


Figura 11. Monitor de estado del protocolo OpenFlow.

Durante la revisión del OpenFlow Monitor, se identificaron de manera precisa los routers MikroTik que estaban utilizando el protocolo OpenFlow, confirmando su compatibilidad con la infraestructura SDN. Además, se detectaron los switches creados en la topología de prueba de Mininet que también estaban operando bajo el protocolo OpenFlow. Esta observación proporcionó una visión completa de los componentes activos de la infraestructura SDN, permitiendo un análisis detallado de su funcionamiento y su papel en la gestión de la red híbrida SDN.

Se habilitó el protocolo OpenFlow en los routers restantes de la infraestructura SDN. Esta configuración permitió la inclusión exitosa de los routers en la topología y permitió su participación efectiva en la infraestructura de red híbrida. La figura 12 ilustra lo descrito anteriormente.

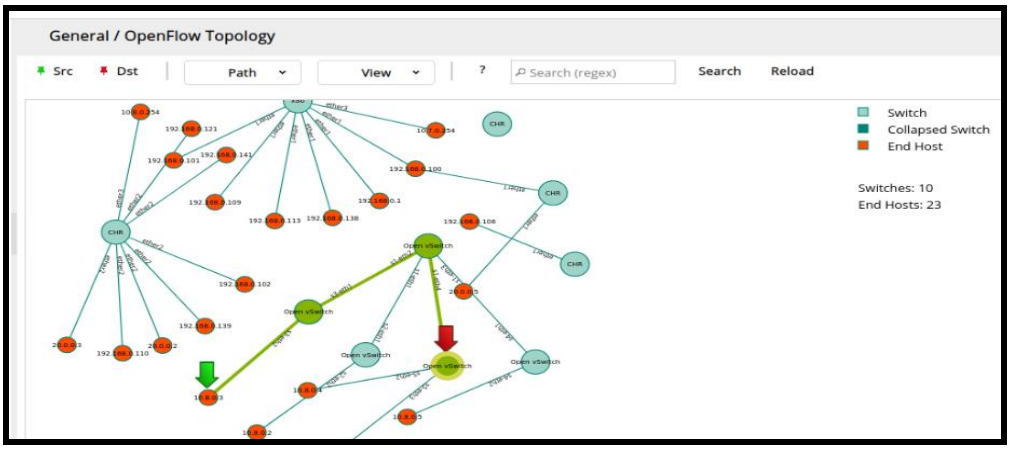



Figura 12. Topología integrada y funcionamiento de los flujos de datos.

Mediante el uso del comando “net*”* dentro de Mininet, se obtuvieron detalles sobre los enlaces lógicos de la topología, lo que proporcionó una visión clara de cómo estaban conectados los dispositivos en la red definida por software. Asimismo, con el comando “links”, se verificó que estos enlaces estuvieran activos y funcionando correctamente, asegurando así la conectividad efectiva entre los componentes de la infraestructura como se ve en la figura 13.

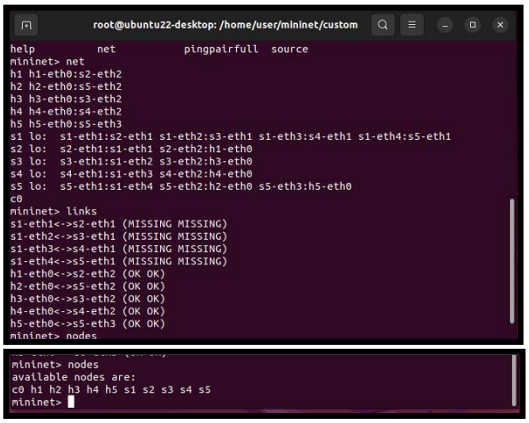



Figura 13. Comandos de prueba Mininet.

Además, se utilizó el comando “nodes” para identificar y listar los nodos disponibles en la topología. Esto permitió una rápida identificación de todos los dispositivos y hosts que estaban participando en la infraestructura de red híbrida SDN.

**Comparación entre los resultados obtenidos de las dos propuestas**

En este epígrafe, se realizará el análisis de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación y pruebas. Tras el diseño y emulación de las propuestas 1 y 2, es fundamental evaluar su efectividad en condiciones controladas. Este análisis nos permitirá comprender cómo las soluciones propuestas abordan los desafíos planteados y si cumplen con los objetivos establecidos. A continuación, se plantea el análisis comparativo con respecto a parámetros que miden el rendimiento de la red:

**Latencia**

A pesar de que los resultados obtenidos en la primera propuesta demuestran una mejora significativa con respecto a la latencia, si se compara con la propuesta 2, esta última presenta una menor latencia. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Latencia local Propuesta #1 vs Propuesta #2.

| Propuestas | **Tiempo de Respuesta Promedio (ms)** |
|---|---|
| Propuesta #1 | 2.171 |
| Propuesta #2 | 0.1581 |

**Pérdida de paquetes**

En la tabla 3 se muestran los resultados comparativos entre la propuesta 1 y 2 con respecto a la pérdida de paquetes.

Tabla 3. Pérdida de paquetes Propuesta #1 vs Propuesta #2.

| **Propuestas** | **Número de Paquetes** | **Pérdida de Paquetes** |
|---|---|---|
| Propuesta #1 | 100 | 0% |
| Propuesta #2 | 100 | 0% |

Como se observa en la tabla 3, en la Propuesta #1 no existió perdida de paquetes durante las pruebas realizadas. Un resultado similar se obtiene en la Propuesta #2.

**CONCLUSIONES**

Se realizaron dos propuestas de diseño de red. La primera implementa un servidor BIND9 DNS secundario. La segunda propuesta realiza un despliegue con redes SDN.
La emulación de la propuesta de red, permitió evaluar el comportamiento práctico de las infraestructuras en un entorno controlado. Estas simulaciones validaron la viabilidad de la solución y proporcionaron datos concretos sobre su rendimiento, determinando que la Propuesta #2 presenta mejor rendimiento se concluye que un despliegue de SDN es más viables que el tradicional.

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a la Universidad Técnica de Manabí, al Gobierno Provincial de Manabí y a la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Hechevarria, por la posibilidad de realizar esta investigación.

**REFERENCIAS**

1. Báez Pérez G. L. " Rediseño de la infraestructura de red para la unidad educativa salesiana Domingo Comín aplicando una topología jerárquica redundante con políticas de seguridad perimetral en la red

Lan". Director: Pablo Fabián Echeverría Ávila. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ciudad de Guayaquil, 2018.
2. Flores Robaina, Rodney et al. "R Rediseño de la infraestructura de red local del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ). Cuba ". Informática Médica, 2021, vol 13, no. 1, pp. 1 - 17.
3. Ramírez Ramírez L. E. "Rediseño de la infraestructura de red de una empresa de Seguridad privada". Director: Bolívar Ramos Mosquera. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Ciudad de Guayaquil, 2018.
4. Aguaiza Tenelema Danny. "Rediseño de la infraestructura de red de una empresa de Seguridad privada". Director: Damián Nicolalde. Tesis de Maestría, Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Ciudad de Quito, 2016.
5. Cordero Paredes G. J. y Marcillo Espinoza X. J. " Propuesta de diseño del Data center y reestructuración de la red de datos de la Universidad Estatal de Bolívar". Director: Jorge Enrique López Logacho. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ciudad de Guayaquil, 2018.
6. Gualaco Ayala Diego Alexander et al. Propuesta de un rediseño de Red LAN y telefonía IP para la empresa equidad seguros sede Bogotá. Director: Jimmy Enrique Garzon Sorlano. Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Ciudad de Bogotá. 2021
7. A. B. Ascencio Caiche. " Propuesta de rediseño y simulación de la infraestructura de red de la unidad educativa La Libertad basado en vlans y políticas de seguridad de acceso". Director: Deny Oliva. Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ciudad La libertad, 2022.
8. Rojas Vargas, Giovanny Joel. Diseño de una Red Definida por Software (SDN) mediante el protocolo OpenFlow para la Universidad Ricardo Palma. Tesis de grado. Universidad Ricardo Palma, Ciudad de Lima, 2023.
9. Villanueva Couch Francisco Jesus. Metodología de la investigación. Ciudad de México: Editorial Klik Soluciones Educativas, 1989. 299 pp. ISBN 978-607-8855-05-6.
10. Reyes Piña, Olga Lidia et al. La Modelación Teórica como método de la investigación científica. Ciudad la Habana. VARONA, n.o 42, pp. 8-15, 2006.
11. Lagla Gallardo C. P.. " Propuesta de rediseño y simulación de la infraestructura de red de la unidad educativa La Libertad basado en vlans y políticas de seguridad de acceso". Director: Deny Oliva. Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La libertad, 2022.
12. Gibson Research Corporation. GRC's | DNS Nameserver Performance Benchmark. [en línea]. Disponible en Web: https://www.grc.com/dns/benchmark.htm

**Sobre los autores**

Marely del Rosario Cruz Felipe, Universidad Técnica de Manabí, Profesor Titular Principal, Doctor en Ciencias Técnicas, Coordinador de la Maestría en Tecnologías de la Información, Director del grupo de Investigación TIC y Procesamiento de datos.

Leonardo Benítez Chacón, Universidad Técnica de Manabí, Ingeniero en Tecnologías de la Información.

Erivel Pérez Fernández, Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Manabí, analista, Máster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE QOS EN VOIP SOBRE LA RED MÓVIL, NAUTA-HOGAR Y ZONA-PÚBLICA WI-FI EN LA RED DE ETECSA.

**Autores: Ing. Gabriela Milián Teijeiro[1], Ing. Diana Gil Quintero[1], Ms.C. Ing. Yoan Larry Cecilio Núñez[1], Ms.C. Ing. Liz Gámez Picó[2]**

Departamento de Supervisión, Dirección de Aseguramiento de la Red (DAR), Vicepresidencia de Operaciones de la Red (VPOR), Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA)[1]

gabymteijeiro2000@gmail.com[1]
dianigil2001@gmail.com[1]
yoanlarry.cecilio@etecsa.cu[1]

**RESUMEN**
En Cuba, ETECSA ha implementado VoIP en redes móviles y fijas (Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi ), pero aún no se han evaluado adecuadamente los niveles de calidad ofrecidos, lo cual es esencial para su mejora y comercialización. Este artículo desarrolla un procedimiento para la medición y evaluación de la QoS en VoIP, aplicable tanto en redes fijas como móviles. Se identifican parámetros claves, como el retardo, *jitter*, pérdida de paquetes y se establecen métodos de medición adaptados a cada tipo de red. El procedimiento se valida mediante su aplicación en escenarios reales en la red de ETECSA, demostrando su efectividad para ofrecer una evaluación precisa de la QoS y permitiendo al proveedor mejorar continuamente la calidad del servicio en ambos entornos.

**PALABRAS CLAVES:** Calidad de Servicio (QoS), Voz sobre IP (VoIP), Red Móvil, Nauta-Hogar, Zona-Pública Wi-Fi.

**PROCEDURE FOR MEASURING AND EVALUATING QOS IN VOIP OVER THE MOBILE NETWORK, NAUTA-HOGAR, AND PUBLIC WI-FI ZONES IN ETECSA'S NETWORK.**

**ABSTRACT**
In Cuba, ETECSA has implemented VoIP in mobile and fixed networks (Nauta-Hogar and Public Wi-Fi Zones), but the quality levels offered have not yet been adequately evaluated, which is essential for their commercialization and improvement. This article develops a procedure for measuring and evaluating QoS in VoIP, applicable to both fixed and mobile networks. Key parameters such as delay, *jitter*, and packet loss are identified, and measurement methods are established for each type of network. The procedure is validated through its application in real scenarios within ETECSA's network, demonstrating its effectiveness in providing an accurate evaluation of QoS and enabling the provider to continuously improve service quality in both environments.

**INDEX TERMS**: Quality of Service (QoS), Voice Over IP (VoIP), Mobile Network, Nauta-Hogar, Public Wi-Fi.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología Voz sobre IP (*Voice over IP*, VoIP por sus siglas en inglés) consiste en la transmisión de voz y contenido multimedia a través de una conexión a una red basada en el Protocolo de Internet (*Internet Protocol*, IP por sus siglas en inglés). Al operar sobre IP, un protocolo de "Mejor Esfuerzo", VoIP requiere garantías de Calidad de Servicio (*Quality of Service*, QoS por sus siglas en inglés) debido a la naturaleza en tiempo real y sensible a la pérdida de la comunicación de voz[1]. A diferencia de la telefonía tradicional de conmutación de circuitos, las redes IP fueron diseñadas originalmente para tráfico de datos no sensible a retardos. Por lo tanto, asegurar métricas como baja latencia, *jitter* y pérdida de paquetes es fundamental para lograr calidad en las llamadas VoIP.

VoIP hace posible que la señal de voz viaje a través de protocolos de *Internet*. Divide el audio y video en paquetes IP, codificando la señal, convierte la señal análoga a señal digital, y reensamblando estos paquetes al receptor final por medio de protocolos de señalización, logrando la comunicación entre usuarios. Por ello, es claro que, debido a su naturaleza, sea potencialmente integrable a sistemas informáticos y de tratamiento de datos [2]. Los proveedores de telefonía utilizan VoIP para potenciar sus servicios telefónicos para los clientes en lugar de tener que instalar y mantener líneas y equipos telefónicos físicos. VoIP ayuda a realizar y recibir llamadas de alta calidad y ofrece funciones avanzadas que normalmente no están disponibles en el servicio de telefonía fija[3].

El servicio de VoIP ya ha sido implementado en la red de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA), pero aún no se ha llevado a cabo una evaluación adecuada de los niveles de QoS que ofrece. Es fundamental que las llamadas telefónicas se escuchen con claridad, sin interrupciones, y con un retraso imperceptible, similar al de una llamada en una red telefónica tradicional. Además, la infraestructura de la red debe estar en capacidad de gestionar el tráfico de VoIP de manera eficiente.

La implementación del servicio de VoIP en la red existente de ETECSA promueve una eficiencia económica considerable en comparación con las soluciones convencionales, al aprovechar la infraestructura ya presente en la red. Los costos recurrentes de mantenimiento son más asequibles, lo que genera beneficios económicos a largo plazo para la empresa y contribuye a su responsabilidad social en el desarrollo del país. Al monitorizar la calidad de servicio, ETECSA puede garantizar que la implementación de VoIP en su red no solo genere eficiencia económica y beneficios a largo plazo, sino que también cumpla con su compromiso de proporcionar servicios de telecomunicaciones de alta calidad. Esto contribuirá al desarrollo del país y mejorará la calidad de vida de los cubanos.

Expuesto lo anterior, este artículo tiene como objetivo definir un procedimiento que permita medir y evaluar los parámetros de QoS de VoIP en la red móvil, Nauta-Hogar y Zona-Pública Wi-Fi dentro la red de ETECSA.

## 2. PROPUESTA DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE QOS EN VOIP SOBRE LA RED MÓVIL, NAUTA-HOGAR Y ZONA-PÚBLICA WI-FI EN LA RED DE ETECSA

### Marco de trabajo

Establecer un marco de trabajo para la planificación y ejecución del diseño de pruebas de medición y evaluación de QoS en VoIP sobre red móvil, ADSL y Wi-Fi es fundamental ya que proporciona claridad y dirección. El marco de trabajo que se propone consta de 5 fases consideradas durante la elaboración del diseño. Las fases 1, 2, 3 establecen las bases para la realización del diseño. La fase 4 agrupa un conjunto de elementos importantes a la hora de establecer las condiciones en las que se realizarán las pruebas, resulta importante tener en cuenta el orden de estos elementos y que se cumpla con las condiciones que todos indican. Por último, se encuentra la fase 5, de vital importancia al pues en ella se darán conclusiones y se mostrarán los resultados del procedimiento.

### Fase 1: Objetivos del monitoreo de QoS

Los objetivos del monitoreo se dirigen a:

- Medir y evaluar la QoS: El objetivo principal es medir y evaluar los parámetros que determinan la calidad del servicio VoIP.
- Identificar problemas: Detectar y comprender cualquier problema que pueda afectar la QoS.

El enfoque del procedimiento está orientado a la recolección de datos reales y confiables, lo cual es esencial para el manejo eficiente de redes. Tomar decisiones basadas en datos precisos permite evitar una gestión inadecuada de las capacidades de la red. Este enfoque sistemático es clave para garantizar una QoS óptima, apoyando tanto la operación eficiente de la red como su evolución futura.

**Fase 2: Establecimiento de los parámetros a medir durante las pruebas de QoS en VoIP**

Los parámetros de QoS se emplean para evaluar la calidad de diversos aspectos de un servicio. Según los objetivos de medición y evaluación, se establecen los parámetros más adecuados para medir la calidad global del servicio, tal como la percibe el usuario. Dentro del conjunto de parámetros de QoS, es fundamental seleccionar aquellos que tengan mayor relevancia para la experiencia del usuario y que sean aplicables en el monitoreo práctico. Como resultado de la investigación realizada se proponen los siguientes parámetros claves: latencia o retardo, *jitter* y pérdida de paquetes. En la Tabla 1 se muestran los umbrales establecidos para estos tres parámetros en términos de QoS de la tecnología VoIP.

- Latencia: es un parámetro crucial para la comunicación en tiempo real. Los retrasos perceptibles en la conversación afectan la interacción natural. Una latencia excesiva puede provocar dificultades en la comprensión, especialmente en llamadas interactivas o colaborativas.
- *Jitter:* es un parámetro que afecta la sincronización entre los paquetes de voz. Si hay una variabilidad significativa en el tiempo de llegada de los paquetes, la calidad del audio se ve comprometida. Un alto *jitter* puede causar eco, interrupciones en la conversación y una experiencia deficiente para los usuarios. La inconsistencia en la llegada de paquetes afecta la fluidez de las llamadas.
- Pérdida de Paquetes: en un parámetro relacionado directamente con la fragmentación o distorsión del audio. Incluso una pequeña tasa de pérdida afecta significativamente la calidad de la llamada. La pérdida de paquetes puede resultar en palabras o frases inaudibles, lo que afecta la experiencia del usuario.

*Tabla 1. Valores esperados de los parámetros de QoS para servicios en tiempo real [4] ,[5], [6], [7]*

| | |
|---|---|
| Latencia o Retardo | 0 a 150 ms: Bien<br>150 a 400 ms: Aceptable<br>Más de 400 ms: Mal |
| Jitter | 0 a 30 ms: Bien<br>30 a 50 ms: Aceptable<br>Más de 50 ms: Mal |
| Pérdida de Paquetes | Menor que 3%: Bien<br>Mayor que 3%: Mal |

**Fase 3: Caracterización de la red VoIP a evaluar**

La caracterización de la red es un componente esencial en el desarrollo de pruebas de QoS, y debe realizarse a partir de los datos proporcionados por el operador. Es crucial comprender el comportamiento actual de la red para seleccionar los escenarios de evaluación más adecuados. Además, la caracterización facilita la determinación de la distribución temporal de las mediciones, basándose en un análisis del tráfico y en la identificación de los horarios pico, que representan los períodos de máxima carga en la red, donde las demandas de tráfico son más elevadas. El análisis detallado de los datos específicos de la red es clave para implementar un procedimiento de medición y evaluación de QoS robusto y relevante, garantizando una evaluación precisa y una mejora continua del servicio VoIP en la red.
Al evaluar los servicios de un Proveedor de Servicios de Internet (*Internet Service Provider*, ISP por sus siglas en inglés), es crucial caracterizar la red específica del ISP en cuestión, ya que cada ISP puede tener una configuración de red única, adaptada a sus necesidades, con su propia topología, protocolos y equipos. Definir estos detalles es fundamental para realizar pruebas de QoS efectivas.

Es fundamental realizar un estudio detallado de la topología de la red VoIP del proveedor de servicios y comprender el comportamiento del tráfico a nivel de protocolos. Es necesario analizar los elementos específicos de la arquitectura de la red VoIP, como el protocolo de señalización y el *codec* de audio

utilizados, así como conocer las rutas que toman tanto la información de señalización como los paquetes de voz a través de los componentes de la red. Conocer estos aspectos es clave para garantizar una medición precisa de la calidad del servicio. Además, una configuración óptima de los dispositivos de acceso a la red evita problemas de interoperabilidad y optimiza la gestión del ancho de banda, previniendo complicaciones adicionales en la red. En el caso de la red de ETECSA, el servicio VoIP se configuró con el protocolo SIP y el *codec* G.711.

Es esencial definir los equipos de acceso para las pruebas de QoS en los escenarios de Zona-Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar, debido a las diferencias en la forma en que los usuarios se conectan. En la Zona-Pública Wi-Fi, los usuarios se conectan a puntos de acceso (*Acces Point*, AP por sus siglas en inglés) con variaciones en la capacidad de señal, manejo de interferencias y número de usuarios. En Nauta-Hogar, la conexión se realiza mediante módems, donde la estabilidad y velocidad varían según el uso de cable Ethernet o Wi-Fi, y la distancia a la central telefónica.

Se propone utilizar los AP Huawei WA251DK y WA201DK para Zona-Pública, y los módems ADSL TP-LINK TD W8901NS y TD W8961NS para Nauta-Hogar. ETECSA ofrece acceso a través de cuentas Nauta permanentes o temporales, y distintas velocidades para Nauta-Hogar. Para las pruebas, se sugiere usar la velocidad más baja (1024/512 kbps) para evaluar el peor escenario de QoS en VoIP y asegurar el funcionamiento del servicio en condiciones desfavorables.

**Fase 4: Condiciones para realizar las pruebas de medición y evaluación de QoS en VoIP sobre redes Zona-Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar**

Se propone realizar mediciones activas mediante pruebas manuales en el punto final de la red, ya que son esenciales para entender cómo los usuarios perciben la QoS. Estas pruebas brindan una visión completa de extremo a extremo, crucial para los operadores por razones regulatorias. Además, permiten verificar la precisión de las métricas, así como la disponibilidad y continuidad del servicio.
En el contexto de las telecomunicaciones, el término “terminal de extremo” se refiere a los dispositivos en los extremos de una comunicación. Estos pueden ser cualquier dispositivo que envíe o reciba información a través de una red. Esto incluye no solo teléfonos móviles, sino también computadoras, *tablets*, y otros dispositivos conectados a la red. Por lo tanto, se proponen 3 subescenarios para realizar llamadas entre terminales de extremos:

- Comunicación *Softphone* -*Softphone* (escenarios red móvil, Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi): Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, con un teléfono móvil igualmente conectado a una aplicación *Softphone.* Esta situación simula un entorno donde la comunicación de voz se transmite exclusivamente a través de paquetes de datos en una red IP, permitiendo evaluar la calidad del servicio en un contexto tecnológico homogéneo.
- Comunicación *Softphone* -Red Móvil Tradicional (escenarios red móvil, Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi): Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, con un teléfono móvil conectado a la red móvil tradicional. Esto evalúa la interoperabilidad entre la red VoIP y la Red Móvil Pública Terrestre (*Public Land Mobile Network*, PLMN por sus siglas en inglés) a la que se conecta el dispositivo receptor. Este escenario plantea desafíos adicionales en términos de calidad y estabilidad de la comunicación.
- Comunicación *Softphone* -Red Fija Tradicional (escenarios Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi ): Se propone una llamada entre una *laptop* con una aplicación *Softphone* instalada, se comunica con un teléfono conectado a la red fija tradicional. Esto evalúa la interoperabilidad entre la red VoIP y la Red Telefónica Pública Conmutada (*Public Switched Telephone Network*, PSTN por sus siglas en inglés) a la que se conecta el dispositivo receptor. Este escenario plantea desafíos adicionales en términos de calidad y estabilidad de la comunicación.

En los escenarios de Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi, es crucial identificar zonas de alta y baja congestión de usuarios para las pruebas de QoS, debido a las diferencias en la densidad de usuarios. En áreas con alta congestión, como los parques Wi-Fi, la gran demanda simultánea puede afectar la QoS, causando velocidades más lentas o interrupciones, por lo que realizar pruebas en estas zonas es esencial para optimizar la red. En contraste, zonas con menor congestión, como las salas de navegación (Joven

Club), enfrentan menos demanda debido al aumento de servicios Nauta-Hogar y datos móviles. En Nauta-Hogar, aunque hay menos usuarios, es clave evaluar la QoS durante las horas pico en el hogar.

En el escenario de la red móvil, es fundamental estudiar los entornos geográficos de medición para evaluar el rendimiento en distintas condiciones. Se deben priorizar áreas de alta demanda, como ciudades con centros sociales (hospitales, universidades, sitios turísticos), debido a su alta densidad de población y tráfico de datos y voz, lo que ofrece una visión representativa del rendimiento general de la red. Las mediciones se dividen en entornos interiores y exteriores, siendo ambos importantes. En interiores, el tráfico es alto por el uso doméstico, mientras que en exteriores se realizan pruebas estacionarias y en movimiento. Identificar áreas de mayor congestión es clave para seleccionar escenarios que reflejen las condiciones reales de la red y permitir una evaluación precisa del servicio VoIP.

Para realizar pruebas de QoS en redes VoIP de manera efectiva, es crucial considerar los requisitos de *hardware* y *software.* Los dispositivos de medición, como celulares y *laptop*s, deben ser capaces de capturar y analizar el tráfico de VoIP de manera precisa y eficiente, compatibles con los protocolos de VoIP y el volumen de tráfico esperado. Se propone el uso del *Softphone* Zoiper para generar y recibir llamadas VoIP, y de las herramientas PCAPdroid y Wireshark para la captura y análisis de tráfico. Además, los equipos utilizados deben contar con suficiente RAM, almacenamiento y capacidad de procesamiento para asegurar la precisión y eficiencia en las pruebas.

La inclusión de llamadas de diferentes duraciones en las pruebas de QoS de VoIP es esencial para evaluar con precisión el rendimiento de la red, ya que refleja el comportamiento real de los usuarios. Simular esta variabilidad permite una visión más completa del desempeño de la red, dado que problemas como la degradación del audio o la pérdida de paquetes afectan de manera distinta según la duración de las llamadas. Se recomienda que el operador proporcione datos sobre las duraciones más comunes de las llamadas basándose en el comportamiento de la red.

La distribución temporal de las mediciones es crucial para garantizar la validez y representatividad de los resultados de QoS. Las pruebas deben abarcar tanto momentos de alto como de bajo tráfico, especialmente en horas pico. Identificar horarios de congestión en la red móvil, Zona-Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar es clave para detectar cuellos de botella que afectan la calidad del servicio, como retrasos, pérdida de paquetes y degradación del rendimiento. Simular momentos de alta demanda permite identificar estos puntos críticos y tomar medidas correctivas para optimizar la red. Las pruebas en horarios de mayor uso reflejan condiciones reales y anticipan problemas bajo estrés, mejorando la calidad del servicio y la experiencia del usuario. Si el servicio se comporta bien en estos periodos críticos, es probable que el rendimiento sea aceptable en momentos de menor demanda. Se propone enfocar las mediciones en los horarios de mayor congestión, incluyendo tanto días laborales como fines de semana, debido a las variaciones en la carga de la red. Las mediciones deben realizarse en intervalos de unos 20 minutos, para obtener una visión precisa y estadísticas confiables del desempeño de la red.

**Fase 5: Análisis de los resultados y modo de presentación**

El análisis posterior a las mediciones de QoS en redes VoIP sobre infraestructuras móviles, ADSL y Wi-Fi es un proceso crítico para la evaluación del desempeño del sistema. Este procedimiento debe comenzar con la recopilación y organización meticulosa de los datos obtenidos durante las pruebas de QoS, asegurando su accesibilidad y análisis, se propone el uso del *software* Excel para esta tarea.

Posteriormente, se realiza una comparación exhaustiva de los resultados con los estándares de QoS establecidos para servicios VoIP, identificando tanto áreas de conformidad como aquellas que requieren mejoras. Para facilitar la interpretación de los resultados, se propone utilizar gráficos y otras visualizaciones que destaquen las características clave de los parámetros de QoS evaluados. Además, se propone realizar cálculos estadísticos, para detectar patrones promedios significativos en los datos. De esta manera se proporciona una comprensión más clara de las variaciones en la calidad del servicio. Paralelamente, se debe llevar a cabo la identificación de patrones y tendencias en la calidad del servicio. Se recomienda analizar

el rendimiento de la red por los diversos criterios tomados en cuenta en las mediciones como la duración de las llamadas y los entornos tanto interiores y exteriores.

El procedimiento propuesto se enfoca exclusivamente en la medición y evaluación de los parámetros de QoS, proporcionando una visión general del estado de la red. Los resultados obtenidos a partir de estas pruebas permitirán identificar si la red cumple con los umbrales establecidos.

## 3. VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE QOS EN VOIP SOBRE LA RED MÓVIL, NAUTA-HOGAR Y ZONA-PÚBLICA WI-FI EN LA RED DE ETECSA

### Validación en el escenario Red Móvil

En concordancia con el procedimiento propuesto, el objetivo principal de su ejecución es medir y evaluar la QoS de VoIP sobre la red móvil del operador ETECSA en la provincia de La Habana. Esta evaluación se centró en los parámetros fundamentales de rendimiento: *jitter*, latencia y pérdida de paquetes, los cuales proporcionaron una visión integral del comportamiento del servicio VoIP en la infraestructura móvil del operador.

La red de ETECSA se estructura en capas: acceso, transporte, control y aplicación y emplea tecnologías avanzadas como Redes de Nueva Generación (*Next Generation Networks*, NGN por sus siglas en inglés) y Subsistema IP Multimedia (*IP Multimedia Subsystem*, IMS por sus siglas en inglés). Aunque las pruebas iniciales se realizaron en la red NGN, se prevé un enfoque futuro en la red IMS, debido a su capacidad de convergencia de servicios de datos, voz y multimedia en una única plataforma, lo que la convierte en un componente clave para el desarrollo y expansión del servicio VoIP en Cuba. De manera específica, las mediciones se centraron en la red LTE, dado que representa la tecnología móvil más extendida en el país y cuenta con una vasta base de usuarios, lo que garantizó una muestra representativa para el análisis de la calidad del servicio [8].

El acceso al servicio VoIP se configuró a través de la APN NAUTA, utilizando la red de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (*Multiprotocol Label Switching*,MPLS por sus siglas en inglés) para el enrutamiento del tráfico. El Protocolo de Inicio de Sesión (*Session Initiation Protocol*, SIP por sus siglas en inglés) y el *codec* G.711 son los elementos empleados para la transmisión de voz, garantizando la compatibilidad con la infraestructura de ETECSA y facilitando la evaluación de la QoS mediante herramientas de medición especializadas [9].

Las pruebas de QoS se realizaron en los puntos finales de la red, es decir, desde la perspectiva del usuario final, lo que permitió un análisis más preciso del rendimiento real percibido por los usuarios. Para la ejecución de las pruebas se emplearon teléfonos móviles con el *Softphone* Zoiper, que permitió el acceso al servicio VoIP, y la aplicación PCAPdroid, encargada de capturar el tráfico generado durante las llamadas. Posteriormente, los datos recogidos fueron analizados mediante el *software* Wireshark en un ordenador, lo cual posibilitó un estudio detallado del comportamiento del tráfico VoIP.

Se evaluaron dos casos representativos:

1. *Softphone -Softphone:* Comunicación homogénea basada íntegramente en la conmutación de paquetes sobre la red móvil.
2. *Softphone* -Red Móvil Tradicional: Comunicación híbrida entre la red móvil basada en paquetes y la red tradicional de conmutación de circuitos.

Las mediciones se llevaron a cabo en áreas de alta ocupación de la red móvil, específicamente en zonas urbanas de gran relevancia en La Habana, como Habana Vieja y Plaza de la Revolución, identificadas por registrar altos niveles de congestión en horarios pico. Las llamadas de prueba tuvieron duraciones de 1, 3 y 5 minutos, y se realizaron tanto en días laborales como no laborales, con el fin de capturar variaciones en el comportamiento del tráfico durante los periodos de mayor demanda. Estas mediciones permiten obtener

una visión clara del rendimiento de la red y establecieron la base para futuras optimizaciones y mejoras del servicio VoIP.

**Resultados obtenidos**

Una vez concluidas las mediciones se continuó con el análisis de los resultados, se utilizaron los términos de bueno, aceptable y malo para referirse a las llamadas. Una llamada se cataloga como buena cuando los 3 parámetros a tener en cuenta latencia, *jitter* y pérdida de paquete se encuentran dentro de los rangos buenos; una llamada aceptable es cuando los 3 parámetros se encuentran dentro de los rangos aceptables; y una llamada mala es cuando al menos uno de sus parámetros se encuentra dentro de rango de malo. Esto quiere decir que, aunque una llamada tenga una pérdida de paquetes menor que el 3% y un *jitter* menor que 30ms, se considerará mala si su latencia pasa los 400ms.

**Escenario Habana Vieja**

A continuación, la Figura 1 muestra el total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados, y el porcentaje de llamadas buenas, aceptables y malas en ambos.

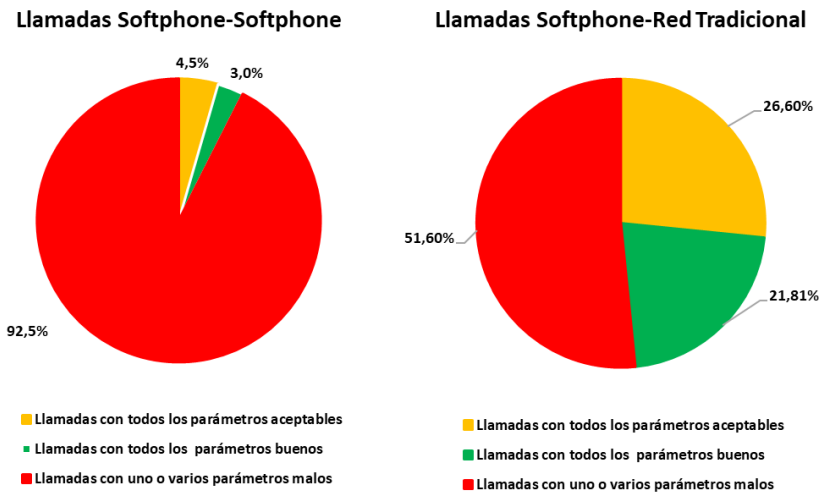



*Figura 1 Total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados en Habana Vieja*

Resultados generales de las llamadas *Softphone -Softphone:*

- La congestión es consistente durante los picos de tráfico, tanto en entornos interiores como exteriores, debido a la cantidad de usuarios conectados a la red. Afectando además la accesibilidad y estabilidad del servicio VoIP.
- De manera general, se evidencia un mal estado en cuanto a congestión en la red, reflejado en el hecho de que el 93% de las llamadas presentan parámetros de QoS fuera de los rangos aceptables. Estos resultados subrayan la urgente necesidad de implementar mecanismos avanzados de priorización de tráfico y gestión de colas para asegurar el despliegue eficiente de servicios sensibles y en tiempo real, como es el caso de la VoIP.

Resultados generales de las llamadas *Softphone* -Red Tradicional:

- Revela una mejora general en los parámetros de calidad de servicio gracias a la integración con la red PLMN. Sin embargo, persisten desafíos como fluctuaciones en los parámetros durante diferentes horarios y dificultades en mantener un rendimiento estable durante llamadas largas. La congestión de la red sigue siendo un problema significativo, afectando la accesibilidad y estabilidad del servicio VoIP, tanto en entornos interiores como exteriores.
- El 52% de las llamadas presentan parámetros fuera de los rangos aceptables, lo que representa una disminución del 40% en con respecto a las llamadas *Softphone -Softphone.* Esto indica que hay

una mayor probabilidad de mantener la calidad del servicio una vez se implementen mecanismos de QoS en la red.

Después de analizar los distintos subescenarios dentro de esta zona de interés, se identificó una comparación clara entre los criterios que impactaron significativamente en la QoS durante las pruebas. En particular, el las llamadas *Softphone* -Red Tradicional, que integra la comunicación de la red IP con la red PLMN, mostró una mejora notable en los parámetros de QoS, lo que resultó en una experiencia de llamadas más satisfactoria. La red PLMN, al ofrecer recursos dedicados durante las llamadas de voz, proporcionó una mayor estabilidad y calidad en comparación con las llamadas que dependían exclusivamente de la comunicación sobre IP.

**Escenario Plaza de la Revolución**

A continuación, la Figura 2 muestra el total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados, y el porcentaje de llamadas buenas, aceptables y malas en ambos.

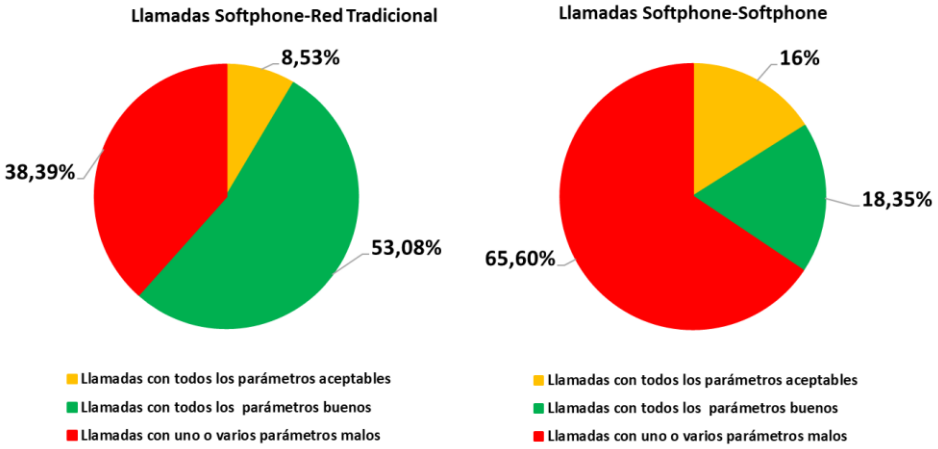



*Figura 2 Total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados en Plaza de la Revolución*

Resultados generales de las llamadas *Softphone -Softphone:*

- Mientras que los entornos interiores muestran un desempeño aceptable con algunas limitaciones de los parámetros latencia y *jitter*, los entornos exteriores revelan un comportamiento empeorado, especialmente durante días laborables. La infraestructura de la red necesita mejoras para manejar la demanda en ambos entornos y horarios pico.
- El hecho de que el 66% de las llamadas presentan parámetros de QoS fuera de los rangos aceptables indica en términos generales, que la red se encuentra en un estado funcional pero no óptimo, es necesario implementar mecanismos avanzados de priorización de tráfico y gestión de colas para asegurar el despliegue eficiente de servicios sensibles como es el caso de la VoIP.

Resultados generales de las llamadas *Softphone* -Red Tradicional:

- Este caso muestra resultados alentadores, reflejando una mejora notable en la calidad del servicio en entornos interiores gracias a la integración con la red PLMN. Sin embargo, en entornos exteriores y durante periodos de alta congestión en horarios pico, se revela la necesidad de implementar mecanismos adicionales para mantener una calidad de servicio óptima**.**
- El hecho de que más del 60% de las llamadas presenten todos los parámetros de QoS dentro de los rangos aceptables indica que es una opción prometedora para la futura generalización del servicio VoIP. No obstante, este porcentaje también sugiere que, aunque la mayoría de las llamadas cumplen con los estándares de calidad, hay un margen significativo para la mejora continua de la infraestructura y la gestión de la red, a fin de alcanzar condiciones óptimas de servicio.

**Validación en los escenarios Zona Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar**

Se establece como objetivo principal del monitoreo medir y evaluar los parámetros: latencia, *jitter* y pérdida de paquetes que determinan la calidad del servicio VoIP. Se realizó un análisis sobre la topología general de los servicios de Zona-Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar. Estos servicios viajan a través de la misma red IP/MPLS, solo se diferencian por la forma de acceder a la red; Zona-Pública Wi-Fi a través de un AP y Nauta-Hogar a través de un *Modem.* Para obtener el servicio VoIP en este escenario se accede desde el *softphone* Zoiper instalado en una *laptop*, en la casa u oficina del cliente que tiene contratado el servicio de Nauta-Hogar, o que ese encuentre conectado a una Zona-Pública Wi-Fi. En este tipo de acceso la red MPLS encamina el tráfico de VoIP hacia uno de los Servidores Remotos de Acceso de Banda Ancha (*Broadband Remote Access Server*, BRAS por sus siglas en inglés) existentes en la red, el cual realiza el Traductor de direcciones de red (*Network Address Translation*, NAT por sus siglas en inglés) al rango de la Red Privada Virtual (*Virtual Private Network*, VPN por sus siglas ) del Controlador de Borde de Sesión (*Session Border Controller*, SBC por sus siglas en inglés) para garantizar la seguridad de la misma. El servicio VoIP implementado en la red de ETECSA está configurado con el protocolo de señalización SIP, y tiene implementado en todos las Pasarelas de Medios (*Media Gateways*, MG por sus siglas en inglés) de acceso de la red el *codec* G.711 [8].

Las pruebas de medición y evaluación de QoS se llevaron a cabo a través de la conexión a APs de interiores y exteriores en el escenario de Zona-Pública Wi-Fi. Se establece el uso de los modelos WA251DK y WA201DK, ambos Huawei, como equipos de acceso. En el caso del escenario de Nauta-Hogar se llevarán a cabo las pruebas a través de la conexión a Módems. Se selecciona el uso del modelo Módem ADSL 2 + TPLINNF TD W 8901 NS y *Modem* ADSL2+TP Link TD W 8961 NS. Además, se realizaron las mediciones con el uso de Cuentas Nautas Permanentes Recargables para conectarse a la red en ambos escenarios. En el escenario de Nauta-Hogar específicamente se utilizó la oferta de velocidad de 1024kbps de subida, 512kbps de bajada.

Las pruebas se realizaron en los puntos finales, en un parque Wi-Fi y una sala de navegación donde se instalan los puntos de acceso Wi-Fi en el caso del escenario Zona-Pública Wi-Fi , y en un hogar de un usuario, donde se instalan los Módems en el caso del escenario Nauta-Hogare, y en tres terminales de extremo:

- Comunicación *Softphone -Softphone:* llamadas entre una *laptop* con una aplicación *softphone* instalada, con un teléfono móvil igualmente conectado a una aplicación *softphone.*
- Comunicación *Softphone* -Red Móvil Tradicional: llamadas entre una *laptop* con una aplicación *softphone* instalada, con un teléfono móvil conectado a la red móvil tradicional.
- Comunicación *Softphone* -Red Fija Tradicional: llamadas entre una *laptop* con una aplicación *softphone* instalada, se comunica con un teléfono conectado a la red fija tradicional.

Se estableció que en el escenario de Zona-Pública Wi-Fi se llevarán a cabo las mediciones en parques Wi-Fi, como zona de mayor densidad de usuarios, y en salas de navegación, o también conocidos como Joven Club, como zona de menor densidad de usuarios. Y se realizaron con una *laptop* como dispositivo representativo en el cual se instaló el *softphone* Zoiper con las configuraciones pertinentes. Asimismo, se instaló la aplicación Wireshark para capturar el tráfico generado durante las llamadas y posteriormente analizar los paquetes SIP y RTP capturados. La *laptop* seleccionada cumple con los requisitos establecidos por ambas aplicaciones.

Por último, se estableció que las pruebas tendrán una duración de 30 segundos, 1 minuto, 3 minutos y 5 minutos, y se realizó un análisis de los horarios de congestión con datos proporcionados por ETECSA , este análisis indica dos horarios de congestión fundamentales en ambos escenarios Zona-Pública Wi-Fi y Nauta-Hogar; durante la tarde de 1:00pm a 5:00pm, y durante la noche de 7:00pm a 11:00pm; presentando una leve disminución de la congestión durante los días no laborales; destacando la importancia de realizar las pruebas durante dos días laborales y uno no laboral. Hay que añadir que para el caso particular del escenario de Zona-Pública Wi-Fi evaluado en salas de navegación con una menor densidad de usuarios, se toman como horarios de congestión la mañana de 8:00am a 11:00am y la tarde de 2:00pm a 5:00pm, debido a que este es el horario en que se encuentran abiertos al público. También, se establece que las mediciones

se realizaron a lo largo de los meses de abril y mayo con un intervalo de 10 a 20 minutos, y se muestrearon una cantidad de 1893 pruebas en el escenario Zona-Pública Wi-Fi y una cantidad de 1922 pruebas en el escenario Nauta-Hogar.

**Resultados obtenidos**

Una vez concluidas las mediciones se continúa con el análisis de los resultados, se utilizan los términos de bueno, aceptable y malo para referirse a las llamadas. Una llamada se cataloga como buena cuando los 3 parámetros a tener en cuenta latencia, *jitter* y pérdida de paquete se encuentran dentro de los rangos buenos; una llamada aceptable es cuando los 3 parámetros se encuentran dentro de los rangos aceptables; y una llamada mala es cuando al menos uno de sus parámetros se encuentra dentro de rango de malo. Esto quiere decir que, aunque una llamada tenga una pérdida de paquetes menor que el 3% y un *jitter* menor que 30ms, se considerará mala si su latencia pasa los 400ms.

**Escenario Zona Pública Wi-Fi**

A continuación, la Figura 3 muestra el total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados, y el porcentaje de llamadas buenas, aceptables y malas en ambos.

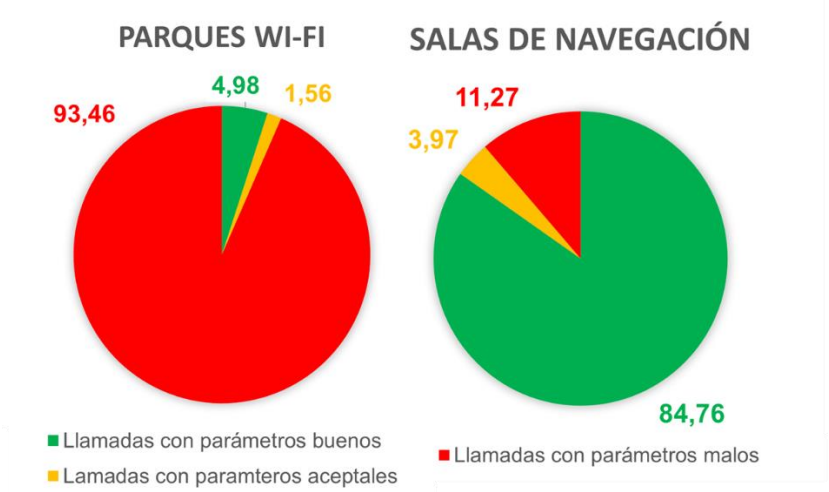



*Figura 3 Total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados en Zona Pública Wi-Fi*

- Se observó homogeneidad de los parámetros tanto para el horario de congestión de la tarde como el de la noche, esto indica que el terminal hacia donde se realizaron llamadas no es representativo en los parámetros de QoS en estos subescenarios. Y En ambos subescenarios se evidencia un aumento en la congestión de la red los días no laborales
- En ambos subescenarios existe un aumento de los parámetros a medida que aumenta la duración de las llamadas, por lo tanto, mientras más se prolongue la llamada más críticos serán los valores de los parámetros.
- Existe un mal estado en la red, enfocado en llamadas en parques Wi-Fi; esto se debe a la gran cantidad de usuarios conectados en estas zonas y que pueden existir una mayor cantidad de interferencias entre el usuario y el AP de exterior, por ejemplo, la lejanía entre ambos o las malas condiciones climáticas en ciertos momentos del día como podría ser la lluvia o el viento.
- Existe un buen estado en la red, enfocado en salas de navegación; esto se debe a la poca cantidad de usuarios que acceden a estos sitios y además, a diferencia de parques Wi-Fi, no existen tantas interferencias entre el usuarios y el AP de interior; porque al ser AP de interior no está sujeto a interferencias debido al clima.
- Es fundamental trabajar en el mal estado que existe en los parques Wi-Fi a partir de la aplicación de mecanismos de QoS, y enfocarse en un futuro despliegue de servicios VoIP en las salas de navegación.

**Escenario Nauta-Hogar**

A continuación, la Figura 4 muestra el total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados, y el porcentaje de llamadas buenas, aceptables y malas en ambos.

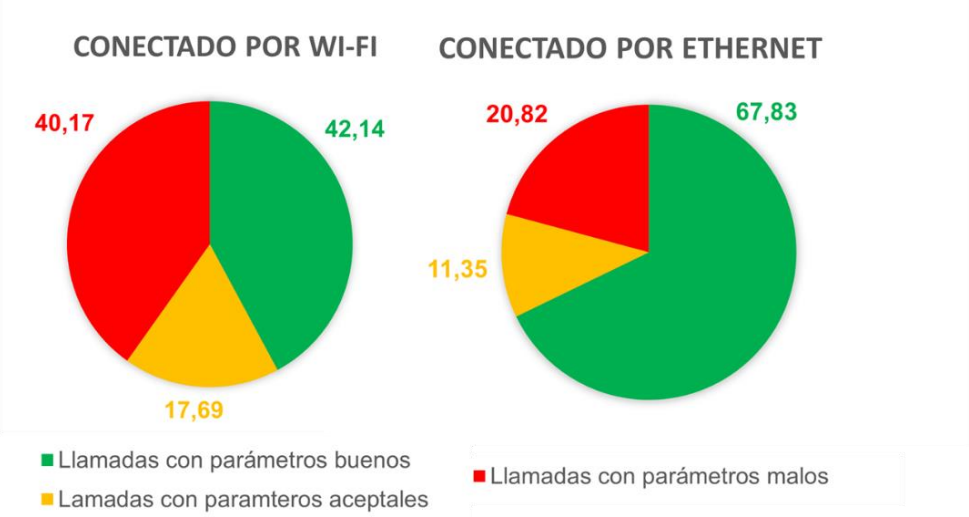



*Figura 4 Total de llamadas hechas en los subescenarios evaluados en Nauta-Hogar*

- Se observó homogeneidad de los parámetros tanto para el horario de congestión de la tarde como el de la noche, hacia los terminales de red fija tradicional, esto indica que el terminal hacia donde se realizaron llamadas si es representativo en los parámetros de QoS en estos subescenarios. Por lo tanto, se observa un pequeño aumento de los parámetros hacia los terminales de red móvil tradicional y *softphone.*
- En ambos subescenarios se evidencia un aumento en la congestión de la red los días laborales. Esto puede estar dado al aumento del teletrabajo después del paso de la pandemia de COVID-19.
- En ambos subescenarios existe un aumento de los parámetros a medida que aumenta la duración de las llamadas, por lo tanto, mientras más se prolongue la llamada más críticos serán los valores de los parámetros.
- Existe un buen estado en la red, aunque no se encuentra en óptimas condiciones.
- Existe una gran diferencia entre los subescenarios. Esto se encuentra dado fundamentalmente por el tipo de conexión hacia el Módem.
- Es fundamental trabajar en el mejoramiento de la red existente a partir de la aplicación de mecanismos de QoS, y enfocarse en un futuro despliegue de servicios VoIP en los subescenarios.

## 4. CONCLUSIONES

La evaluación de la QoS es fundamental para garantizar una experiencia confiable en las redes donde se despliega el servicio VoIP. Los indicadores clave para medir la calidad de las llamadas incluyen la latencia, el *jitter* y la pérdida de paquetes. Estos parámetros influyen directamente en la percepción del usuario, por lo que su control y análisis son cruciales.

El diseño de un procedimiento de pruebas para la medición y evaluación de la QoS es esencial para la supervisión y mejora de la tecnología VoIP. Un procedimiento bien estructurado proporciona una visión detallada del rendimiento de la red, permitiendo identificar y resolver problemas de manera eficaz, lo que contribuye a la optimización general del sistema.

El procedimiento propuesto consta de cinco fases, cada una con requisitos específicos que deben ser estudiados y puestos en práctica en un orden determinado. Cada fase tiene una importancia crítica, y juntas sientan las bases para obtener resultados objetivos sobre el estado actual de la red.

La implementación del procedimiento de medición y evaluación de QoS en la red móvil, Nauta-Hogar y Zona Pública Wi-Fi de ETECSA fue exitosa, proporcionando resultados que reflejan fielmente las características y el comportamiento de la red. Además, el procedimiento diseñado tiene un alcance significativo debido a su aplicabilidad en diversas áreas del país. Esto se debe a que ha sido desarrollado teniendo en cuenta diferentes escenarios y condiciones de red, lo que permite su implementación en diversos contextos geográficos y tecnológicos.

Una de las principales fortalezas del procedimiento es su capacidad de generalización. A pesar de haber sido desarrollado y validado en contextos específicos, los principios y métodos que utiliza son lo suficientemente universales como para aplicarse en una amplia variedad de situaciones y entornos.

Finalmente, la aplicación del procedimiento ha arrojado tanto resultados positivos como negativos. Si bien es esencial trabajar con mecanismos de QoS en la red, las mediciones obtenidas, aunque dentro de los rangos recomendados, presentan fluctuaciones y no son constantes, lo que resalta la importancia de seguir optimizando estos mecanismos.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los tutores y profesores de la CUJAE por su invaluable apoyo y orientación durante la realización de este artículo.

## REFERENCIAS

[1] «The Status of Voice over Internet Protocol (VoIP) Worldwide», International Telecommunication Union (ITU), FoV/04, 2007.
[2] D. J. Sanchez Espinoza, «Diseño e implementación de una central telefónica Voip de bajo costo mediante Asterisk y Raspberry Pi para pequeñas o medianas empresas», 2021, Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uch.edu.pe//handle/20.500.12872/647
[3] C. Johnson, «What Is VoIP? The Definitive Guide to VoIP in 2023», Nextiva Blog. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.nextiva.com/blog/what-is-voip.html
[4] *Recomendación UIT-T G.114 Tiempo de transmisión en un sentido*, 2003. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/es
[5] T. Chakraborty, I. S. Misra, y R. Prasad, *VoIP Technology: Applications and Challenges*. en Springer Series in Wireless Technology. Springer International Publishing, 2019. Accedido: 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-95594-0
[6] J. Cioara y M. H. Valentine, *CCNA Voice 640-461 Official Cert Guide | Cisco Press*. Cisco Press, 2011. Accedido: 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ciscopress.com/store/ccna-voice-640-461-official-cert-guide-9781587204173
[7] *Recomendación G.1010 : Categorías de calidad de servicio para los usuarios de extremo de servicios multimedios*, 2001. Accedido: 12 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I/es
[8] Ing. Y. L. Cecilio Nuñez, «Pruebas para la implementación de la VoIP en la red de ETECSA», Tesis para optar por el título de Máster en Telecomunicaciones y Telemática, Universidad Tecnologica de La Habana Jose A. Hecheverria, Habana,Cuba, 2022.
[9] Y. L. C. Nuñez y A. F. Moreno, «PRUEBAS DE ESCENARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VOZ SOBRE IP EN CUBA», *Telemática*, vol. 20, n.º 2, Art. n.º 2, mar. 2021, Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/475

### Sobre los Autores

Ing. Gabriela Milián Teijeiro, Ing. Diana Gil Quintero: Graduada Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de la Habana ¨José Antonio Echeverría¨ (CUJAE), actualmente empleada Especialista ¨B¨ en Departamento de Supervisión, Dirección de Aseguramiento de la Red (DAR), Vicepresidencia de Operaciones de la Red (VPOR), Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA).

Ms.C. Ing.Yoan Larry Cecilio Núñez: Especialista de Nivel 3 en la Dirección de Aseguramiento de la Red (DAR), Vicepresidencia de Operaciones de la Red (VPOR), Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA).

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# *Wearable Device* basado en sensor inercial, con capacidad de almacenamiento en SD

**Samuel Casanova Calzadilla [1], Osniel Alejandro García Orihuela [2], Elías Osmany García Alvaredo[3], Mario Bernal Pérez [4], Gianna Arencibia Castellanos[5], Fidel Ernesto Hernández Montero[6]**

[1]Universidad Tecnológica de la Habana, calle 114 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]samuelca@tele.cujae.edu.cu
[2]osnielaga@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La automatización para obtener determinados parámetros de la marcha procedentes de unidades inerciales es una necesidad fundamental para facilitar la evaluación del desempeño físico.
Este proyecto propone el desarrollo de un dispositivo de medición de parámetros biomecánicos de la marcha, que pueda ser utilizado como prueba médica en pacientes de la tercera edad. Utiliza un microcontrolador ESP32 y un módulo ICM-20948. El microcontrolador ESP32 recopila datos del sensor inercial y los transmite vía Bluetooth o los almacena en una tarjeta SD para su posterior análisis.

**PALABRAS CLAVES:** monitoreo parámetros biomecánicos de la marcha, sensor inercial IMU

**ABSTRACT**

Automation to obtain certain gait parameters from inertial units is a fundamental need to facilitate the evaluation of physical performance.
This project proposes the development of a biomechanical gait parameter measurement device that can be used as a medical test for elderly patients. It uses an ESP32 microcontroller and an ICM-20948 module. The ESP32 microcontroller collects data from the inertial sensor and transmits it via Bluetooth or stores it on an SD card for further analysis.

**KEY WORDS:** biomechanical gait parameters monitoring, IMU inertial sensor, IMU inertial sensor.

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad física es utilizada en las áreas médicas para evaluar la condición funcional humana, la fragilidad y trastornos cognitivos. Las pruebas del movimiento asociadas a la marcha son de gran importancia en la actualidad, para su total desempeño se necesita equipamiento específico ya que no dependen solamente de la observación visual del paciente y su reconocimiento sino, más bien, del equipamiento adecuado [1].
Existen métodos para el análisis y estimación de las características espacio-temporales de la marcha que usan sensores, los cuales son colocados en diferentes partes del cuerpo del paciente y además se han empleado varios algoritmos basados principalmente en el registro de patrones de la marcha a partir de la adquisición de señales con estos dispositivos electrónicos [2].
En la actualidad Cuba presenta un alto índice de envejecimiento, fenómeno que va en aumento y es irreversible, llegándose a esperar para el 2030 que alcance un 30 % [3]. Esto ha condicionado el desarrollo de estudios y proyectos para mejorar la calidad de vida del adulto mayor. Avances en la geriatría y la neurología se ven asociados a este proceso de mejoramiento de la condición humana; la ciencia y la tecnología han pasado a formar un eslabón fundamental en la búsqueda de soluciones cada vez más factibles para la medicina en este aspecto.
La Universidad Tecnológica de La Habana de conjunto con el Centro de Neurociencias de Cuba trabaja en proyectos de investigación que permitan desarrollar productos cada vez más precisos en la evaluación

de la marcha. Con este trabajo se pretende desarrollar una propuesta de un dispositivo para la medición de parámetros biomédicos de la marcha.

## 2. ANTECEDENTES

En [4], para realizar un análisis rápido de la marcha, se emplea un sensor inercial que se ubica en la pelvis de las personas, a la altura de la vértebra S2. Se presenta un sistema compuesto por un sensor inercial y un programa de procesamiento para la evaluación funcional de movimiento. Este sistema tiene incorporado un sensor de temperatura para ajustar la medición de los parámetros y reducir el efecto de esta variable física. A través de una antena Bluetooth se transmite la información de la cinemática del movimiento que permite realizar pruebas clínicas esenciales en la rehabilitación.
En [5] se cuantifica el movimiento generado en las articulaciones del paciente por medio de las curvas de respuesta de sensores IMU. Para captar el movimiento mientras el paciente camina, se utiliza una disposición de 7 sensores IMU, 3 colocados en cada pierna y uno colocado en la cintura. Las señales emitidas por los sensores IMU son transmitidas vía Bluetooth a una computadora.
En [6], se presenta un sistema inalámbrico para la adquisición y análisis de parámetros esenciales de la marcha humana basado en la biomecánica del pie. Para esto utiliza la combinación de sensores FSR (Resistencia Sensible a la Fuerza) con el sensor inercial MPU6050 que combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes.

## 3. REQUISITOS DE DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL SISTEMA

En el diseño del sistema se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:
• Dispositivo electrónico capaz de muestrear de forma fiable a una frecuencia máxima de 1 kHz, con el fin de aprovechar al máximo el ancho de banda del sensor y conseguir una mayor precisión en la determinación de los parámetros de la marcha.
• Transmisión y visualización de datos en tiempo real.
• Almacenamiento de los datos en tarjeta SD.
• Diseño de interfaz sencillo, capaz de establecer la frecuencia de trabajo del sistema y controlar el proceso de adquisición de datos, así como el modo de trabajo.
• Dispositivo electrónico portátil y ligero.
El sistema contará con dos elementos fundamentales: un dispositivo electrónico para la adquisición de muestras y una aplicación de escritorio para el control del modo de trabajo del sistema ya sea almacenamiento en SD o vía Bluetooth, así como visualización y procesamiento de los datos obtenidos. Ambas partes se comunicarán vía Bluetooth sin necesidad de utilizar un módulo aparte ya que el microcontrolador utilizado dispone de un adaptador interno.

## 4. PROPUESTA DE DISPOSITIVO

El dispositivo propuesto utiliza un Sensor de Medición Inercial combina un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes, un magnetómetro de 3 ejes junto con un procesador integrado que permite obtener datos precisos de movimiento, orientación y posición.
El ESP-32 controla la frecuencia de muestreo y rangos de medición de sensores. Además, determina el Inicio/Parada de las mediciones e intercambiar entre los modos Comunicación Bluetooth y Almacenamiento en Memoria SD (Ver Figura 1).

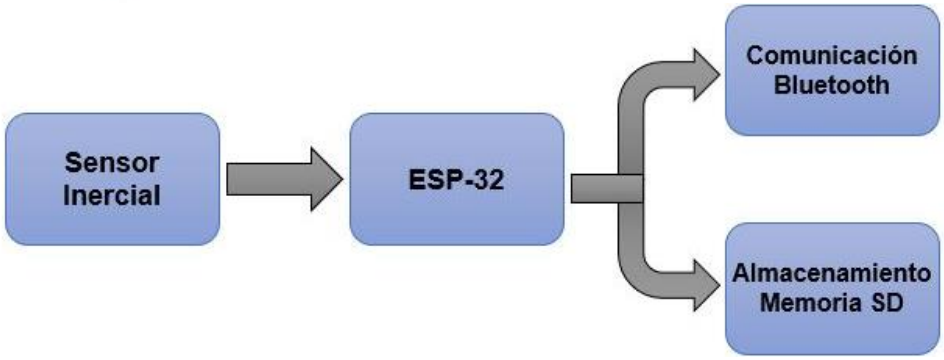



Figura 1: Diagrama de Bloques Funcionales.

### 4.1 MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema eléctrico del dispositivo de medición de parámetros biomecánicos de la marcha está constituido por los siguientes módulos (Ver Figura 2).

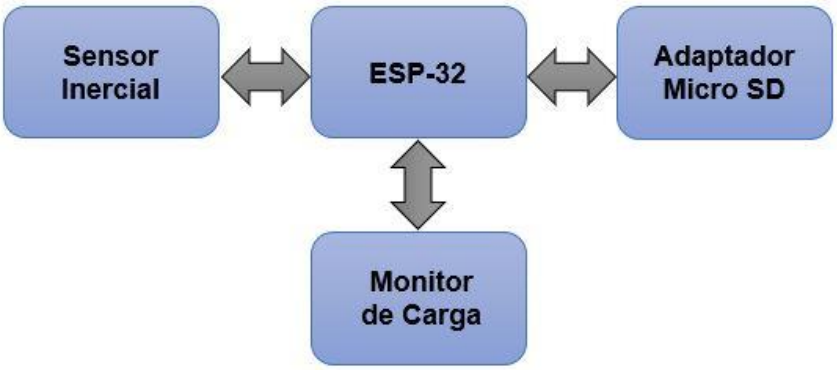



Figura 2: Principales módulos.

**ICM-20948**
El ICM-20948 es un sensor inercial de 9 ejes, que combina un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y un magnetómetro de 3 ejes, junto con un procesador integrado que permite obtener datos precisos de movimiento, orientación y posición en un dispositivo compacto. El ICM-20948 puede entregar 9 grados de libertad y para una captura precisa de movimiento rápido y lento, con una frecuencia de muestreo máxima de 1 kHz [7].

**ESP32 DFR0654**
El módulo DFRobot FireBeetle ESP32 DFR0654 es un microcontrolador compacto de la familia de chips SoC de bajo costo y consumo de energía. Combinado con funciones adicionales como tecnología WiFi y Bluetooth de modo dual integrada. Incluye amplificador receptor de bajo ruido, filtros, y módulos de administración de energía. Diseñado para dispositivos móviles; tanto en las aplicaciones de electrónica y las de IoT (Internet de las cosas). ESP32 logra un consumo de energía ultra bajo a través de funciones de ahorro de energía [8].
El ESP-32 en este proyecto realiza la función de controlar la frecuencia de muestreo y rangos de medición de sensores. Además, determina el Inicio/Parada de las mediciones e intercambia entre los modos Comunicación Bluetooth y Almacenamiento en Memoria SD.

**LTC2942**

Para el monitor de carga se utilizó el LTC2942-1, el cual calcula los amperios hora consumidos, mide el estado de carga y voltaje de la batería y la temperatura del chip. Este se utiliza en aplicaciones que requieren monitorización y medición precisas de energía y batería. Este dispositivo cuenta con umbrales altos y bajos para estas tres cantidades, los cuales son programables y de esta forma si uno de estos umbrales programado es superado se genera una alerta que lo indica [9].

**Adaptador micro SD**

En el caso de este circuito se realizó un diseño específico de un PCB que se ajustará a las características propias del proyecto, con la función de permitir la conexión entre el ESP-32 y una tarjeta SD mediante el protocolo SPI. Se utilizó el conector de tarjetas Micro SD DM3AT-SF-PEJM5 por su estructura rígida y resistente con 4 puntos de contacto con la PCB para garantizar una conexión segura del circuito de tierra y que brindar protección EMI. Además de su pequeño tamaño y alta confiabilidad. Incluye push-push con mecanismo de expulsión para facilitar la extracción de la tarjeta SD []. El circuito también cuenta con resistencias y capacitores para permitir su funcionamiento.

Estos elementos se encuentran conectados formando el circuito interno del dispositivo (Ver Figura 3).

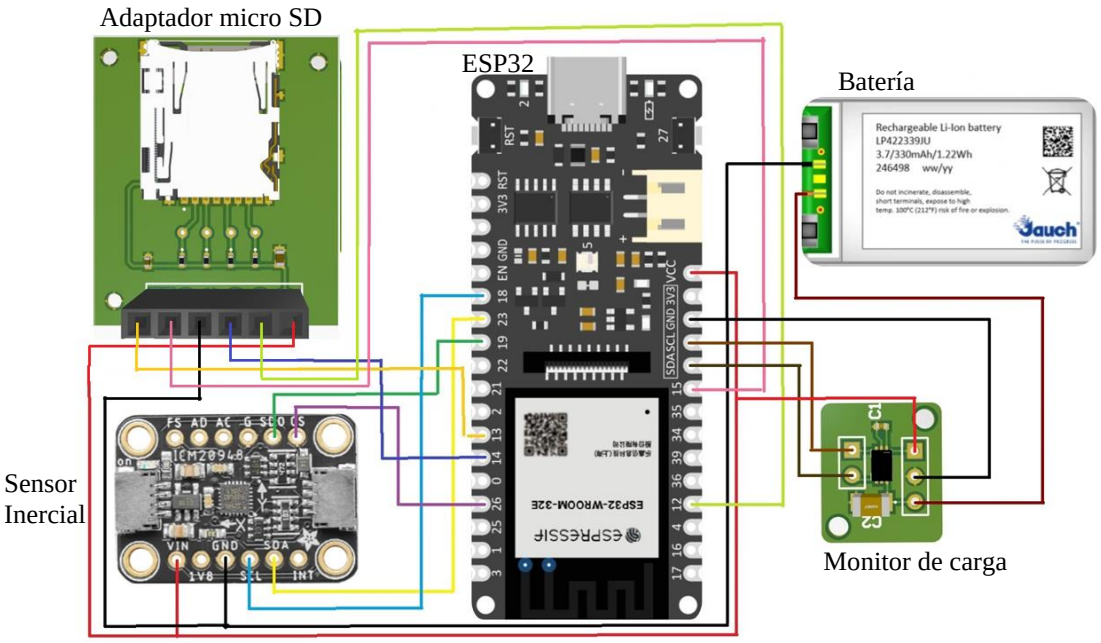



Figura 3: Esquema eléctrico.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La nueva versión del dispositivo IMU-WearableDevice para la medición de parámetros biomecánicos de la marcha presenta características comúnes con la versión anterior, pero incorporando nuevas funciones:

• Disponibilidad de Dato: Esta nueva versión continua con la función de Transmisión Bluetooth, pero incorpora también la posibilidad de almacenar los datos en una tarjeta SD permitiendo tomar muestras de forma independiente para ser analizadas posteriormente

• Gestión Energía: El dispositivo cuenta con reserva de batería, la cual es monitoreada utilizando un LTC2942 para calcular los amperios/hora consumidos. El cual está comprendido en uno de los circuitos impresos incorporados. Además de indicadores led del estado de la misma.

• Encendido/Apagado: Se añade un botón con la función de activar o desactivar el modo deep-sleep. Este modo sueño del ESP-32 permite consumos bajos de energía, lo que permite no tener que desenergizar por completo el dispositivo.

• Aditamentos: Se logró el diseño de una carcasa atractiva, dándole al dispositivo una mejor apariencia virtual. Además de nuevas formas de sujeción que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios en su uso práctico.

### 4.3 ELEMENTOS DE DISEÑO INDUSTRIAL

El diseño de la carcasa y otros aditamentos emplean los recursos y tecnologías con los que cuenta el Centro de Neurociencias de Cuba y nuestra universidad.
Se previó en el diseño que las dimensiones fueran pequeñas y las formas se adecuaran para poder ser usado sin generar incomodidad en los usuarios. El botón de encendido del dispositivo no sobresale de la carcasa para evitar que pueda ser apagado por accidente. Además de poseer una apariencia atractiva que le permita competir en el mercado internacional (Ver Figura 4).
En el caso de la sujeción para el empeine se decidió fabricarla enteramente del material de neopreno que permite cierta elasticidad para que se garantice un ajuste de 4cm de diferencias que puede existir entre un pie delgado y otro grueso. Además de ser cómodo durante su uso (Ver Figura 5).
Entre las ventajas en el diseño de este dispositivo encontramos que:
• No emplea cables sobre el usuario: esto repercute positivamente, pues el usuario se siente menos invadido, existen menos posibilidades de roturas o falso contacto en el dispositivo.
• Reducción a un solo componente: representa un ahorro tanto económico como ecológico, pues son menos elementos a fabricar, más sencillo de producir y con menor gasto de energía y materiales.

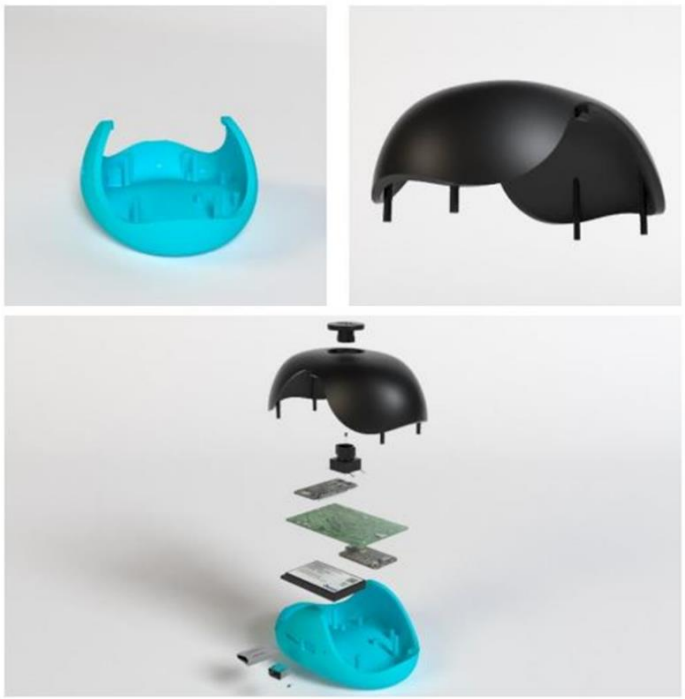


Figura 4: Diseño de la carcasa del dispositivo.

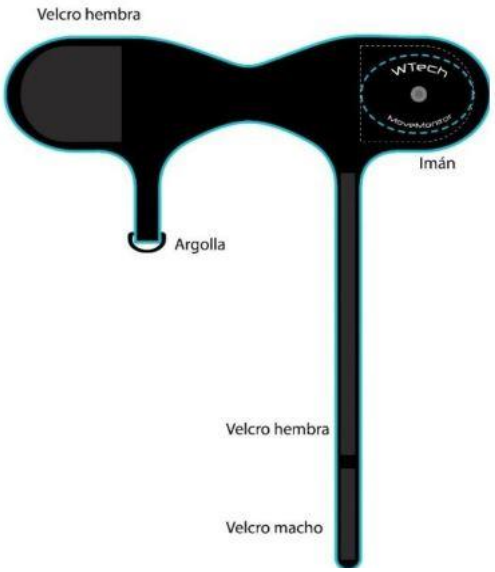



Figura 5: Medios de sujeción.

### 4.4 PROGRAMACIÓN Y SOFTWARE

Se han desarrollado dos softwares, uno para Computadora y el otro para Teléfonos Móviles, con el objetivo de controlar y establecer los parámetros de inicio del dispositivo Wearable Device. Ambos softwares se comunican con el dispositivo mediante Bluetooth y presentan una interfaz gráfica sencilla para el usuario. Dentro de las funcionalidades que presenta el software se encuentran la selección del modo de trabajo entre guardar en memoria SD datos y/o transmitir los mismos por Bluetooth, establecer los parámetros de inicio como la frecuencia de muestreo, los rangos del acelerómetro y el giroscopio, también se controla el inicio y la parada del funcionamiento del dispositivo.
El software para Computadora se desarrolló en Python con el uso de la librería PyQt5 para el diseño gráfico de la misma. Además de las funcionalidades generales de los softwares éste en particular permite graficar los diferentes parámetros recibidos en tiempo real y también realiza una salva de los mismos en un documento denominado para su posterior análisis y procesamiento (Ver Figura 6).

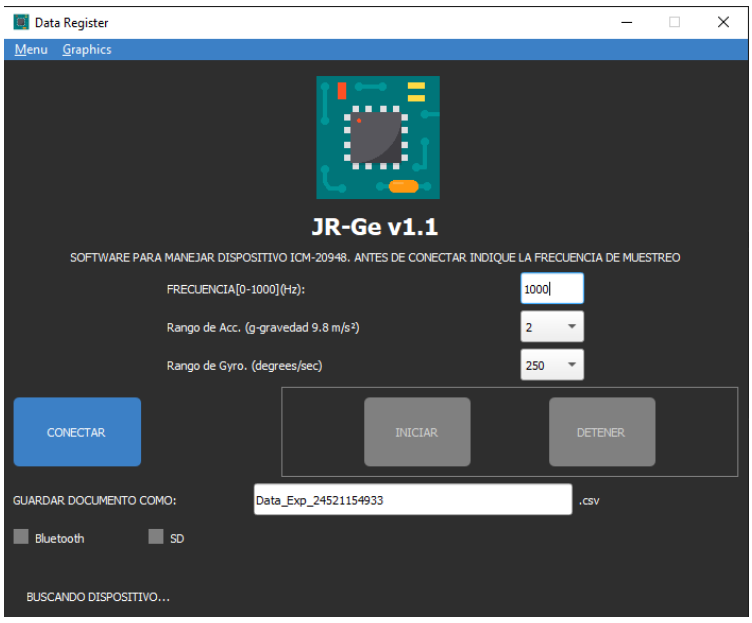



Figura 6: Software de la PC.

El software desarrollado para Teléfonos Móviles con Android se programó en AppInventor el cual utiliza un lenguaje de programación en bloques que lo hace intuitivo y fácil de programar. Este software presenta las funcionalidades básicas para el control del dispositivo lo cual lo hace fácil de operar y brinda mayor potabilidad al encontrarse en un Teléfono Móvil (Ver Figura 7).

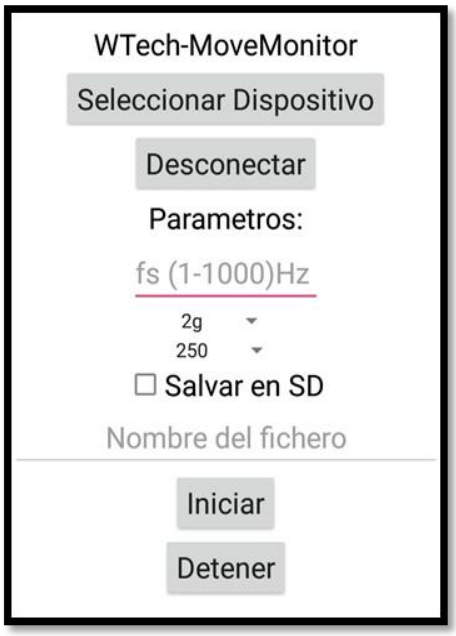



Figura 7: Software del teléfono móvil.

El dispositivo Wearable Device presenta un microcontrolador ESP32 el cual fue programado con el IDE PlatformIO de Microsoft Visual Studio Code en la plataforma Arduino usando el lenguaje de programación C/C++.

## 5. RESULTADOS

Para la adquisición de la señal, la transferencia y almacenamiento de los datos, ya se encuentra desarrollado un prototipo del dispositivo. Este posee un sensor inercial fijado a la superficie inferior, buscando mayor precisión de las muestras y protegiéndolo de perturbaciones que puedan provocarse al caminar. El dispositivo integra todos los módulos en un diseño compacto de una sola pieza, eliminando la necesidad de cables externos gracias al respaldo de energía por batería en su interior y a la transferencia de los datos mediante Bluetooth o su almacenamiento en tarjeta SD (Ver Figura 8).



Figura 8: Prototipo del dispositivo.

El sensor se encuentra calibrado según los parámetros de orientación y posición necesarios para el correcto funcionamiento del dispositivo. Este se ubica en la zona del empeine o el tobillo para que el movimiento sea detectado de manera eficaz (Ver Figura 9).



Figura 9: Uso del dispositivo.

Para validar el funcionamiento del dispositivo, se realizaron pruebas en las que se tomaron muestras de movimiento en diferentes direcciones. Estas muestras fueron almacenadas y transmitidas por Bluetooth, comprobando que los datos obtenidos coincidieran con los movimientos realizados. Además, se compararon los datos adquiridos en ambos modos, verificando que no existiera pérdida de información (Ver Figura 10).

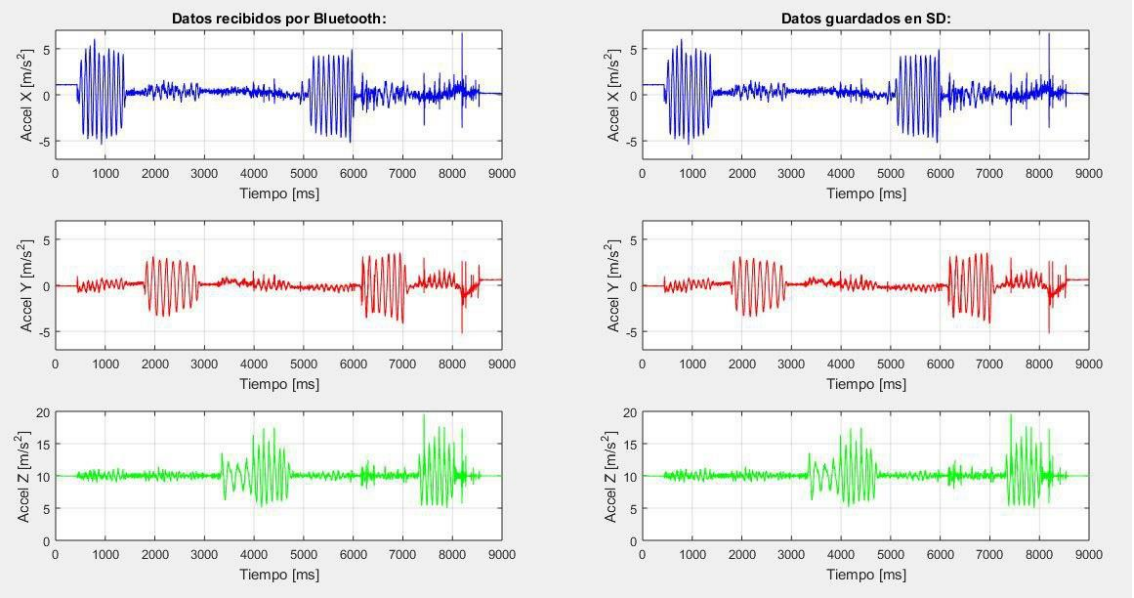



Figura 10: Gráficas de aceleración de las muestras almacenadas en SD y transmitidas por Bluetooth.

## 6. CONCLUSIONES

Partiendo de los avances obtenidos anteriormente en otras investigaciones se logró realizar una propuesta de un dispositivo para la medición de parámetros biomédicos de la marcha. Se pudo combinar dos modos de trabajo con los datos obtenidos, Transmisión por Bluetooth y almacenamiento en tarjeta SD. Se diseñó un software de interfaz sencillo, capaz de establecer los parámetros de operación del dispositivo, así como su modo de trabajo. El dispositivo electrónico es portátil, ligero y comodo para los usuarios durante su uso. La propuesta constituye un ahorro económico considerable con un precio significativamente más bajo a los que se pueden encontrar en el mercado.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por OGFPI, proyecto con referencia PN305LH013-066.

## REFERENCIAS

[1] C. D'hyver, L. M. G. Robledo, y C. H. Z. Gil, Geriatría. Editorial El Manual Moderno, 2024.
[2] A. A. Salgado, F. E. Hernández Montero, y G. Castellanos, «Dispositivo electrónico para el estudio de la marcha», Revista de Ciencia y Tecnología, n.º 38, pp. 11-20, 2022.
[3] J. Menéndez Jiménez, «El decenio del envejecimiento saludable (2020-2030), una oportunidad para Cuba», Revista Cubana de Salud Pública, vol. 46, p. e2748, 2021.
[4] R. A. G. Carbonell, I. S. Sánchez, D. V. Ayala, J. M. D. González, A. O. Prado, y V. H. J. Armendáriz, «Prueba de valoración biomecánica de Marcha con el sensor inercial.».
[5] N. D. Jerez *et al.*, «Sistema biométrico para el análisis de la marcha utilizando unidades de medida inerciales (IMU)», *Tecnología y Ciencia*, n.º 49, pp. 47-67, 2024.
[6] L. A. Macas Gusqui, «Diseño e implementación de un sistema inalámbrico para realizar la adquisición y análisis de parámetros de la marcha humana», 2023.
[7] «Adafruit TDK InvenSense ICM-20948 9-DoF IMU (MPU-9250 Upgrade) [STEMMA QT / Qwiic] : ID 4554 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits». [En línea]. Disponible en: https://www.adafruit.com/product/4554

[8] «FireBeetle ESP32-E IoT Microcontroller». Mouser, 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.mouser.com/pdfDocs/Product_Overview-DFRobotDFR0654FireBeetleESP32-EIoTMicrocontroller2.pdf
[9] «LTC2942-1 29421f Typical Application Description 1A Battery Gas Gauge with Internal Sense Resistor and Temperature/Voltage Measurement». Mouser. [En línea]. Disponible en: https://www.mouser.com/datasheet/2/609/29421f-1270348.pdf
[10] «DM3AT-SF-PEJM5 Hirose Connector | Mouser México». [En línea]. Disponible en: https://www.mouser.mx/ProductDetail/Hirose-Connector/DM3AT-SF-PEJM5?qs=LZSZKJVF%252B2WTDKp%252BR7IYAQ%3D%3D

**SOBRE LOS AUTORES**

- Samuel Casanova Calzadilla Edad: 22 Sexo: M
Email: samuelca@tele.cujae.edu.cu Teléfono: 55726392
Categoría ocupacional: Estudiante. Centro de trabajo: Cujae, MES

- Osniel Alejandro García Orihuela Edad: 22 Sexo: M
Email: osnielga@tele.cujae.edu.cu Teléfono: 54382244
Categoría ocupacional: Estudiante. Centro de trabajo: Cujae, MES

- Elías Osmany García Alvaredo Edad: 26 Sexo: M
Email: eliasgarcia2206@gmail.com Teléfono: 53920275
Categoría ocupacional: Profesor Universitario. Centro de trabajo: Cujae, MES

- Mario Bernal Pérez Edad: 24 Sexo: M
Email: mayitobp99@gmail.com Teléfono: 58466847
Categoría ocupacional: Profesor Universitario. Centro de trabajo: Cujae, MES

- Gianna Arencibia Castellanos Edad: 27 Sexo: F
Email: gianna960525@gmail.com Teléfono: 50637459
Categoría ocupacional: Profesor Universitario. Centro de trabajo: Cujae, MES

- Fidel Ernesto Hernández Montero Edad: 51 Sexo: M
Email: fhernandez@tele.cujae.edu.cu Teléfono: 50637459
Categoría ocupacional: Profesor Universitario. Centro de trabajo: Cujae, MES

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE LA ETAPA DE VIGILANCIA DE UN SISTEMA AVANZADO DE GUIADO Y CONTROL DE MOVIMIENTO DE SUPERFICIE CON EL EMPLEO DE UN FILTRO KALMAN

**[1]Dr. C. José A. Rodríguez Rojas[2] Ing. Ivel Urquia Santana[3] Shirley Robert Castillo**

[1]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", La Habana,
[2]Empresa IVROTEC S.U.R.L. Zona Especial Mariel
[3]Empresa Cubana de Navegación Aérea
[1]e-mail:joserojas280957@gmail.com,[2] e-mail:iverlurquia419@gmail.com

## RESUMEN

La presente investigación plantea como objetivo principal la propuesta de diseño de la etapa de vigilancia de un Sistema Avanzado de Guiado y Control de Movimiento en Superficie, A-SMGCS por sus siglas en inglés, que asegure la vigilancia en la superficie del aeropuerto en cuestión. Ello implica indagar en el principio de funcionamiento y características de los Sistemas de Vigilancia Aeronáutica; entre los que figuran: radares primarios, secundarios y de movimiento en superficie, sistemas de Multilateración, vigilancia dependiente automática por radiodifusión, sistema de aumentación basado en tierra y también sistemas de vigilancia mediante videocámaras. A través de los mismos el controlador de tráfico aéreo puede asegurar las
distancias mínimas establecidas entre aeronaves, lo que posibilita gestionar eficientemente grandes volúmenes de tráfico aéreo.
Con el estudio y análisis de la integración de los sistemas de vigilancia mediante la fusión de datos multisensor se logra que el A-SMGCS propuesto garantice la vigilancia aeroportuaria aún bajo condiciones de visibilidad nula y ante la existencia de un gran volumen de tráfico.

**PALABRAS CLAVES:** A-SMGCS, Sistemas de Vigilancia Aeronáutica, Fusión de Datos Multisensor, Filtro Kalman.

## GUIDELINES FOR PREPARING ARTICLES FOR THE XXI SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE

## ABSTRACT

The design proposal of stage the surveillance of the Advanced Surface Movement Guidance and Control System, A-SMGCS, that guarantees airborne surveillance in the current airport is the main goal of this research. It implies deepen in the working principle and main features of airborne surveillance systems. Among which are: primary surface radar, secondary surface radar, Surface movement radar, multilateration, automatic dependent surveillance broadcast, ground based augmentation system and surveillance through live video cameras. Through these systems the air traffic controller is able to secure the minimal established separation between aircrafts. Which makes possible the effective management of dense air traffic. In order to the Advanced Surface Movement Guidance and Control System proposal guarantees airport surveillance even under the hardest visibility conditions and dense air traffic the integration of the surveillance systems through the multi sensor data fusion is analyzed and studied.

**KEY WORDS:** A-SMGCS, airborne surveillance systems, multi sensor data fusion, Kalman Filter

## 1. INTRODUCCIÓN

El sustancial aumento del tráfico aéreo a nivel mundial ha devenido en un incremento del número de operaciones aeroportuarias. Lo cual, en condiciones de baja visibilidad y ante el aumento del flujo de operaciones, implica como reto garantizar la seguridad de los pasajeros y mantener la distancia adecuada entre aeronaves y vehículos terrestres en el aeródromo. Ciertamente Cuba no es ajena a esta situación,

sobre todo en la región occidental del país donde se encuentran los principales polos turísticos, La Habana y Varadero, razón por la cual encamina acciones orientadas a lograr una circulación más fluida y ordenada de aeronaves y vehículos que operan al unísono en superficie, de forma tal que disminuya la probabilidad de ocurrencia de accidentes e incidentes.

Los sistemas de vigilancia aeronáutica permiten mantener la distancia adecuada entre aeronaves y vehículos de operaciones dentro del aeródromo. Efectúan el seguimiento en tiempo real de las aeronaves y su posición. Con la finalidad de perfeccionar estos sistemas para alcanzar una mayor precisión y efectividad del seguimiento antes mencionado, se emplea la integración de la información de múltiples sistemas de vigilancia. Ello demanda la utilización de técnicas novedosas como la fusión de datos heterogéneos procedentes de distintas fuentes con características específicas.

## 2. MARCO TEORICO

El sistema A-SMGCS asegura las operaciones de movimiento en superficie en el aeródromo bajo las más adversas condiciones climáticas Fig.1. Gestiona la posición, identificación y seguimiento de elementos móviles e incluye los siguientes servicios,: Servicio de vigilancia: facilita al controlador de tráfico aéreo la posición e identificación de todas las aeronaves y vehículos relevantes en el área de operaciones, El Servicio de Respaldo a la Seguridad Aeroportuaria, (ASSS Airport Safety Support Service) realiza las siguientes funciones: monitorización de la pista y alerta de conflictos (RMCA Runway Monitoring and Conflict Alerting), autorizaciones conflictivas de ATC (Conflict ATC Clearances CATC), conformidad de la monitorización de alertas para controladores (CMAC Conformance Monitoring Alerts for Controllers), El servicio de guiado que tiene como funciones la de Conmutación Automática de las Luces de las Vías de Rodaje (TCL Taxiway Centerline Lights), Conmutación Automática de las Barras de Parada y Activación Automática de los Sistemas Avanzados de Guiado de Acoplamiento Visual (A-VDGS Advanced Visual Docking Guidance Systems). El servicio de enrutamiento que genera las trayectorias en tierra para vehículos y aeronave [1], [2].

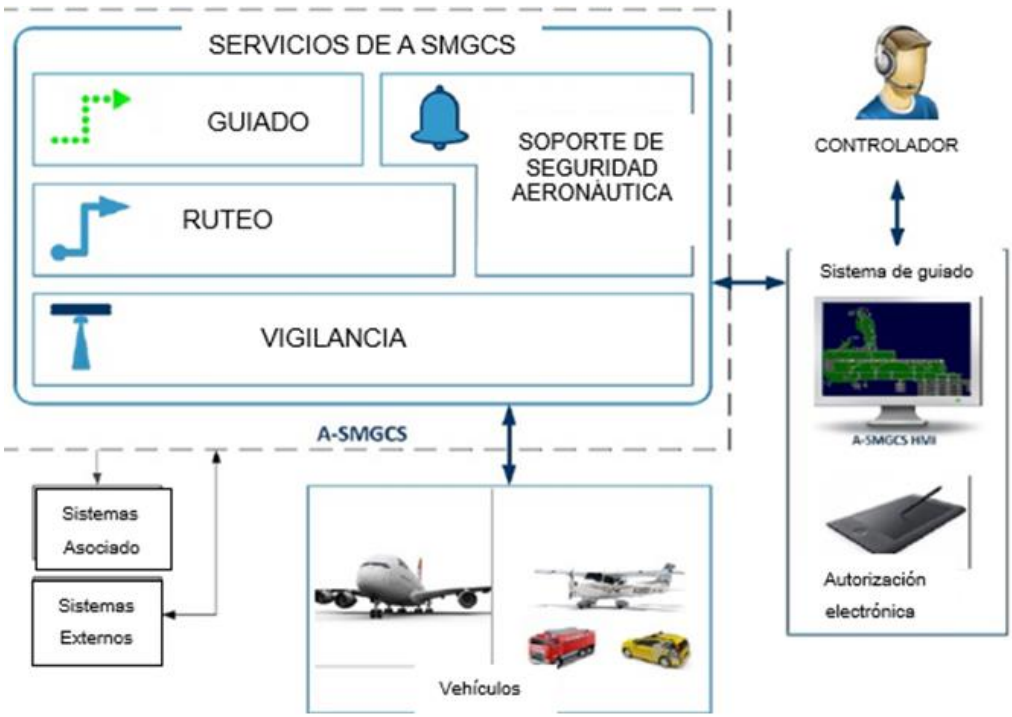



Figura 1. Concepción general del sistema A-SMGCS.

### 1.1 Sistema de Vigilancia.

La vigilancia es el servicio primario y su implementación es clave para poder desplegar los demás servicios que conforman el A-SMGCS. Consiste en un sistema que facilita al controlador de tráfico aéreo la posición e identidad de todas las aeronaves y vehículos relevantes en el área de operaciones. Se emplea para reemplazar la observación visual como medio para la toma de decisiones por parte del controlador. El tráfico se controla a través de procedimientos adecuados que permiten emitir información y autorizaciones válidas, basadas en los datos de vigilancia [2].

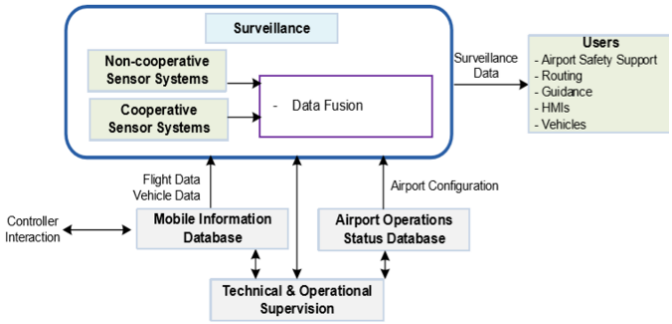



Figura 2: Estructura general de la etapa de vigilancia de un sistema A-SMGCS [2]

En la Fig. 2. todos los sensores cooperativos y no cooperativos después de la fusión de sus datos transfieren la información a los diferentes usuarios del A-SMGCS y actualiza la situación aérea y de superficie del aeródromo y sus accesos en los indicadores del controlador de torre, Fig. 3. De acuerdo con [2]la plataforma A-SMGCS A3000, Figura 3 ha implementado un sistema A-SMGCS con algoritmos de seguimiento avanzados y de vallas de seguridad, con capacidad para seguir cada objetivo en el aeródromo, desde las maniobras más lentas hasta las de más dinamismo, como los despegues y aterrizajes. Lo que resulta en una elevada probabilidad de detección y una baja tasa de falsas alarmas.




Figura 3: Representación de la plataforma del sistema A-SMGCS A3000 [2].

Este sistema A-SMGCS incluye el control de las incursiones en la pista, un sistema de alerta de conflictos, además monitorea las vías de rodaje, áreas restringidas, alerta de la conformidad de ruta, historial y predicción de tráfico. Tiene funciones de más alto nivel como las líneas de vuelo electrónico, herramienta para establecer rutas en las vías del rodaje, controlar y monitorizar las barras de parada, así como las TCL.

### 2.2 Fusión de datos multisensor.

La fusión de datos multisensor más conocida por sus siglas MSDF, del inglés Multisensor Data Fusion es el proceso que combina información o datos preprocesados de diferentes fuentes y sensores activos con el objetivo de obtener una descripción robusta y confiable del entorno o evento de interés y en el caso del seguimiento de un blanco mediante sensores de vigilancia la principal tarea de la MSDF es la estimación de las características del mismo basándose en los datos aportados por cada uno de ellos. Las fuentes de vigilancia que puede procesar la MSDF bien pueden ser la información del radar de movimiento de superficie (SMR), del sistema automático dependiente de vigilancia ADS-B, del sistema de

multilateración MLAT u otros, Fig. 4. Para la fusión de estas fuentes se emplean algoritmos de seguimiento multisensor que producen una pista única del estado del sistema, en este caso el seguimiento de un blanco [2].

El núcleo de la MSDF Fig. 4 recibe reportes de diferentes sensores y de acuerdo a estos puede realizar las siguientes tareas: Procesamiento de los reportes, Procesamiento de las pistas locales de videovigilancia, Seguimiento multisensorial, Gestión de los parámetros derivados de la aeronave, Verificación en línea del error de los sensores, así como de sus demás características. Los reportes asociados a un mismo blanco actualizan una única pista de vigilancia. El procesamiento de sensor depende de las características del mismo para poder optimizar funciones de correlación, asociación y de actualización de seguimiento. En dependencia de la naturaleza de los datos del sensor, la correlación, asociación o actualización del seguimiento se logran con el empleo de reportes y pistas locales.

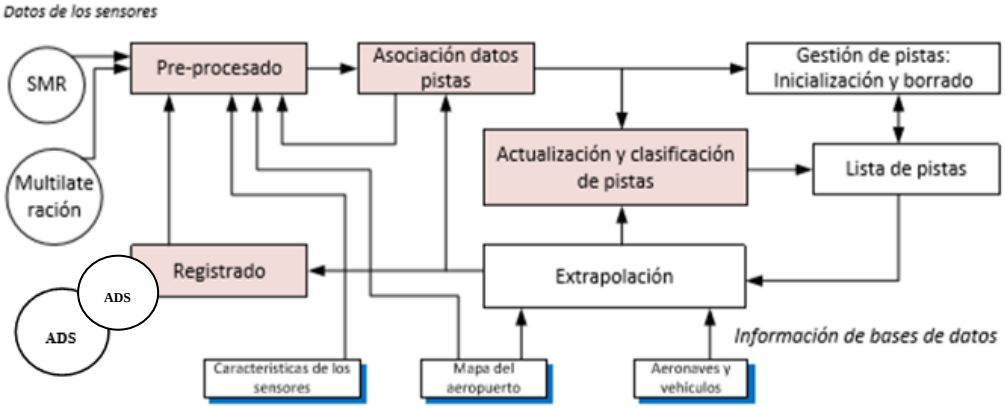



Figura. 4¨Diagrama funcional capa de vigilancia del A-SMCGS. [2]

De manera que la estructura de un sistema de fusión de datos multisensores estará compuesta por varias etapas fundamentales entre de ellas se destacan Transformación de coordenadas, actualización de covariancia, (Preprocesado), Asociación de datos con pistas de seguimiento. Gestión, actualización y clasificación de pistas, Filtrado de pistas y Estimación y corrección del sesgo.

**2.3 Fusión de datos de cámaras de video**

En los Sistemas A-SMGCS, los sensores de vigilancia antes mencionados pueden sufrir oclusiones o presentar puntos ciegos dentro del área de vigilancia por lo que amen de los sensores de vigilancia se pueden utilizar una red de cámaras de video para complementar la información [3], [4].



Fig. 5 Arquitectura de una red de cámaras de vigilancia ¨[3]

Para ello despliega un sistema de video detección avanzado de vehículos de área amplia del inglés Wide Area Video Vehicle Detection System compuesto por cámaras, Fig. 5 que incorpora la tecnología Autoscope® Solo, [2] se describe un sistema avanzado de vigilancia para el tráfico, capaz de producir mediciones de elevada precisión mediante el empleo de la visión computacional, del inglés Machine Vision, con su propio Servidor de Datos de Vigilancia, SDS del inglés Surveillance Data Server, proporciona una capacidad de recopilación de datos y seguimiento de múltiples cámaras. La función principal de la SDS es recopilar la información del servidor de fusión de datos de sensores de video VSDF y del radar de aproximación. Mediante un proceso de fusión de datos determina la mejor

estimación de la posición de cada objetivo y distribuye la información resultante a usuarios específicos. La Fig. 6 ilustra la integración del SDS en un entorno de vigilancia aeronáutica.

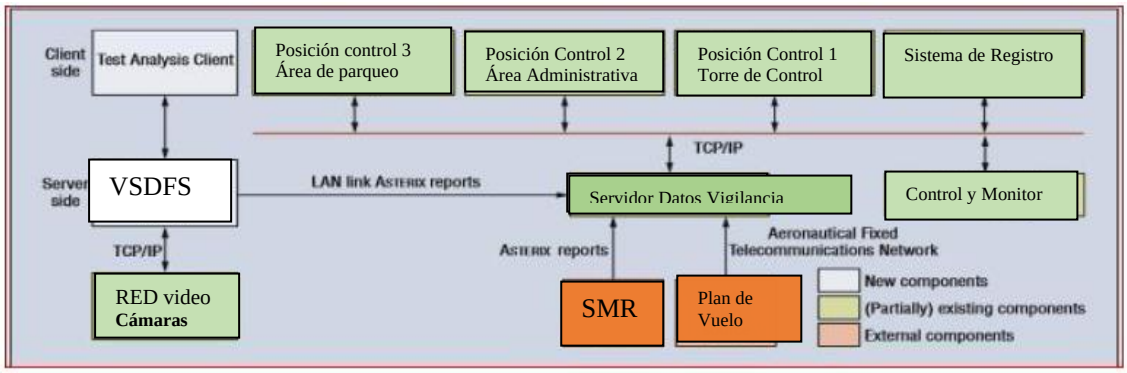



Figura 6 Integración del SDS en el sistema MSDF [2]

**2.4 Protocolo de intercambio de información para la vigilancia aeronáutica: ASTERIX**

Sus siglas vienen dadas del inglés All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange y como su nombre lo indica es un sistema multipropósito destinado a garantizar el intercambio de información de vigilancia que generan los distintos tipos de sensores bajo los estándares de EUROCONTROL. Es un protocolo que se encarga del ensamblaje y la transmisión de los datos de vigilancia, de acuerdo al modelo OSI, del inglés Open Systems Interconection Reference Model, pertenece a las capas de transporte y aplicación. La transmisión de los datos de vigilancia mediante ASTERIX, Fig. 7 bien puede realizarse a través de cualquier medio de comunicación disponible. Define la estructura de los datos a intercambiar desde la codificación de cada bit de información hasta la organización de todos los datos en el formato de un mensaje ASTERIX

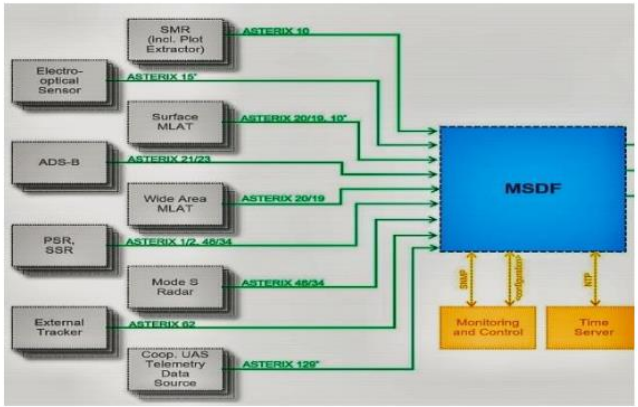



Figura 7. Principales protocolos de intercambio de información.

**2.5 Seguimiento con múltiples sensores.**

La etapa de filtrado mediante el filtro Kalman estándar se realiza para la estimación de los vectores de estado para sistemas lineales cuyas ecuaciones se muestran en la Fig. 8.

El filtro no lineal óptimo propaga las funciones no gaussianas y evalúa su raíz principal, lo que constituye un elevado gasto computacional. Una forma no óptima de resolver este problema es el empleo de diferentes tipos de filtros que de una manera u otra realizan la linealización del filtro no lineal original, alrededor de estimaciones previas con el empleo de matrices jacobianas. El reto que supone el trabajo con sistemas no lineales ha conllevado al surgimiento de nuevas variantes del KF entre ellas el Filtro Kalman extendido, EKF [3], [5] que se considera un sistema dinámico no lineal caso de fusión de los datos en los sistemas aeronáuticos.

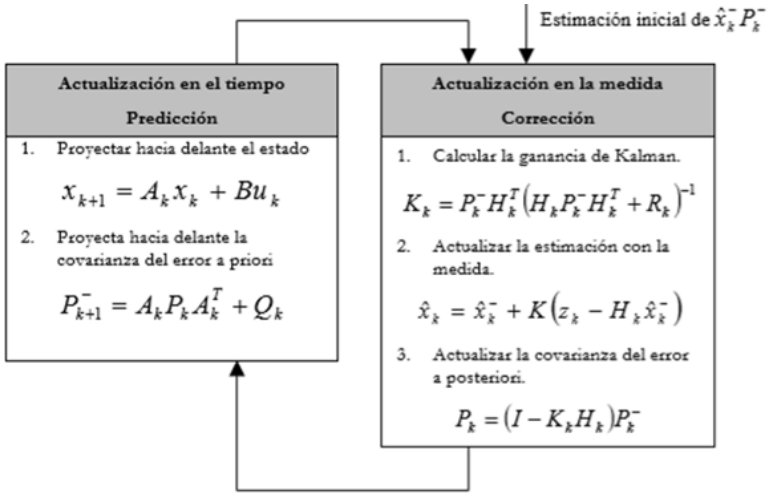



Figura 8 Ecuaciones del Filtro Kalman estándar [2]

Para el seguimiento con múltiples sensores es ampliamente utilizado el Filtro interactivo de modelos múltiples que no es más que un estimador de Múltiple Modelo Interactuante, IMM por sus siglas en inglés el cual es un filtro híbrido subóptimo. Este algoritmo combina las estimaciones producidas por un número fijo de filtros, cada uno adaptado a un tipo de modo de movimiento del blanco (posición, velocidad y aceleración) útil para un sistema de seguimiento por radar y rentable para rastrear un objetivo en maniobra. Un ciclo del filtro IMM tiene una estructura recursiva que consta de cuatro etapas: interacción, predicción, actualización y combinación; como se observa en la Fig. 9.
Cada vez que se ejecuta, combina los modelos apropiados de su base de datos de modelos y elige la combinación de modelos de movimiento de aeronaves que mejor se ajusta a los datos de posición. Después de elegir el modelo, se adapta a la dinámica de la aeronave para generar la mejor representación del modelo de movimiento de la aeronave.

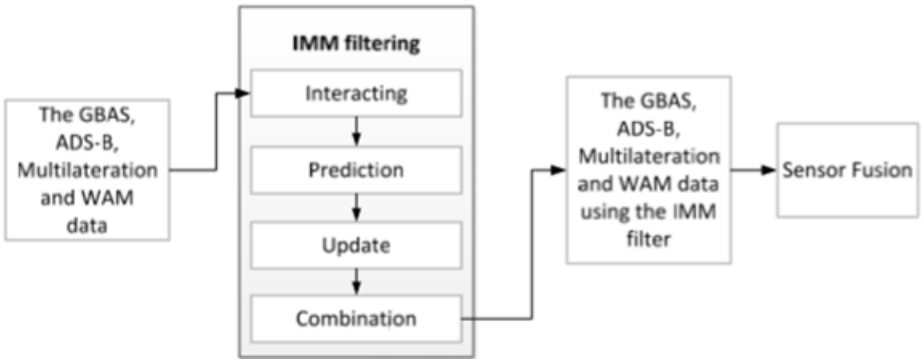



Figura 9 Modelo de filtro IMM [2]

La implementación del KF en un FPGA Puede justificarse debido a la posibilidad de procesamiento en paralelo que este ofrece, lo cual aplicado a este tipo del filtro significa una mayor rapidez en su ejecución pues: Permite efectuar la multiplicación, operación de gran complejidad computacional de matrices en paralelo y no elemento a elemento, así como la ejecución en paralelo de los procesos de actualización y corrección. Además, la capacidad de reconfigurabilidad del FPGA junto a la flexibilidad de diseño del lenguaje de descripción de hardware permite implementar circuitos integrados de aplicación específica ASIC, del inglés Aplication Specific Integrated Circuit, sin necesidad de rediseñar por completo el filtro.

**3. Simulación, Análisis, y Diseño de la etapa de vigilancia de un sistema A-SMGCS en el aeropuerto Internacional Juan Gualberto Gómez**

El aeropuerto internacional Juan Gualberto Gómez cuenta con un número de operaciones considerables, tanto de despegues y aterrizajes, como de circulación de vehículos de abastecimiento y servicio. Situación que adquiere un carácter más complejo bajo condiciones de baja visibilidad por lo cual se propone un sistema compuesto por tres SMR y un MLAT (ADS-B) se añade, además, un sistema de fusión de datos de video al que tributarán seis cámaras, con lo cual se persigue obtener un entorno de vigilancia aún más robusto, Fig. 10.

El esquema Fig. 10 refleja el despliegue funcional de los sistemas de vigilancia propuestos y la integración de MLAT en Modo S con el seguimiento por SMR. El sistema MLAT provee la posición de los blancos en su zona de cobertura de forma precisa mediante la determinación de la TDOA. Sin embargo, con la posibilidad de trabajar en Modo S se pueden emplear MLAT para captar mensajes ADS-B y por tanto de esa forma MLAT obtiene la posición y demás parámetros contenidos en el mensaje ADS-B.

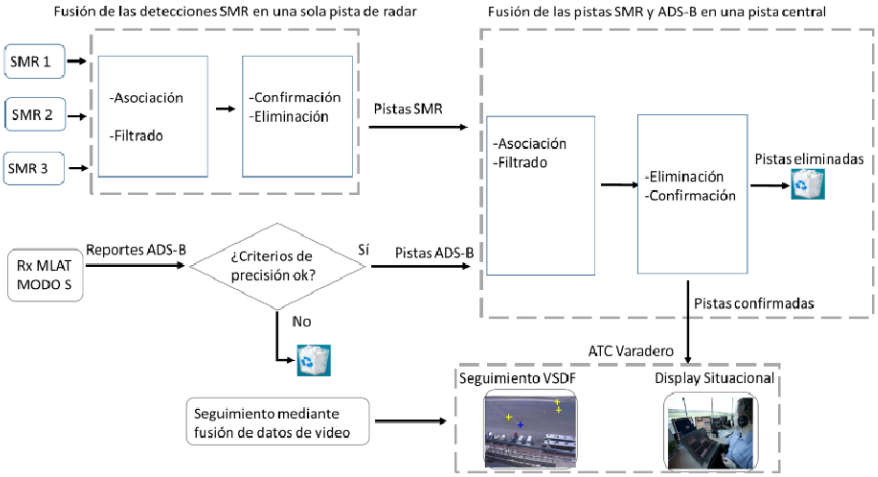



Figura 10 Esquema de fusión propuesto

Para simular la integración de las fuentes de vigilancia SMR y MLAT(ADS-B), que se ilustra en la Fig. 11, se utiliza el software MatlabR2021b para recrear un escenario de seguimiento de un avión en ruta en coordenadas Earth-Centered, Earth-Fixed más conocidas por sus siglas en ingles ECEF titulado Simulate and Track En-Route Aircraft in Earth-Centered Scenarios [6]

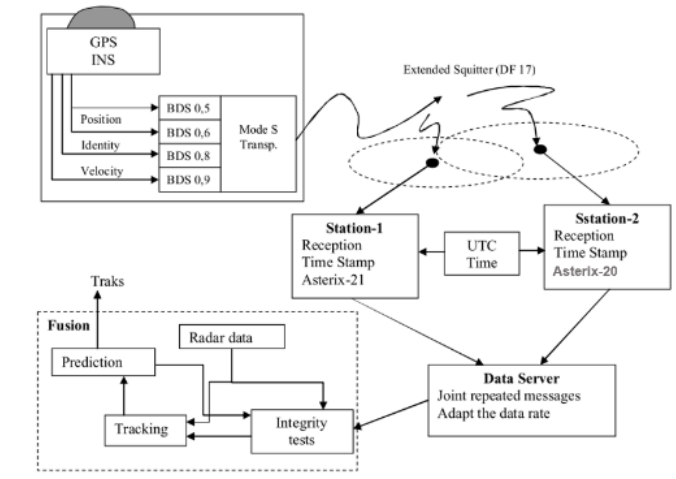



Fig.11 Fusión de SMR y MLAT(ADS-B) [3]

### 3.1 Simulación de la integración de las estaciones SMR y MLAT (ADS-B)

En los primeros momentos de la simulación del escenario la aeronave está alejada de la estación de vigilancia MLAT (ADS-B), por lo que no se generan reportes de esta fuente y el seguimiento del avión se basa solamente en radar. En la Fig.12a se observa lo antes descrito, las detecciones menos precisas son generadas por las estaciones de radar más alejadas. Razón por la cual dichos reportes no serán asociados a la pista de seguimiento por radar, la línea blanca es la trayectoria real mientras que la amarilla es la trayectoria estimada por el seguimiento de radar. El primer tramo de vuelo está lejos de cualquiera de las estaciones de radar, por ello las detecciones correspondientes presentan un elevado ruido en las mediciones. Se le añade que el modelo de velocidad constante no ofrece una modelación precisa durante el giro luego del despegue. La pista de seguimiento por radar pasa a la fusión y en esta se crea una pista fusionada mostrada en naranja en la que se observa muy cercana a la pista de radar En la Fig.12b se muestra que la aeronave vuela en el rango de cobertura del receptor MLAT (ADS-B) y se establece una nueva pista MLAT (ADS-B). La fusión entonces, procesó esta nueva pista y mejoró la precisión de la pista fusionada. En la Fig.12c el avión entra en el cono de silencio de radar, por lo que el seguimiento por radar elimina la pista luego de varias iteraciones sin recibir nuevas detecciones. En este punto de la simulación la fusión se basa únicamente en la pista MLAT (ADS-B) para estimar la posición de la aeronave. A medida que el avión entra en el área cubierta por la segunda y tercera estación de radar, Fig.12d se inicia una nueva pista de seguimiento por radar. Las detecciones de las dos estaciones de radar se fusionan por el seguimiento mediante radar y en la fusión central se fusiona, entonces la nueva pista de radar con la pista de MLAT (ADS-B) [6].

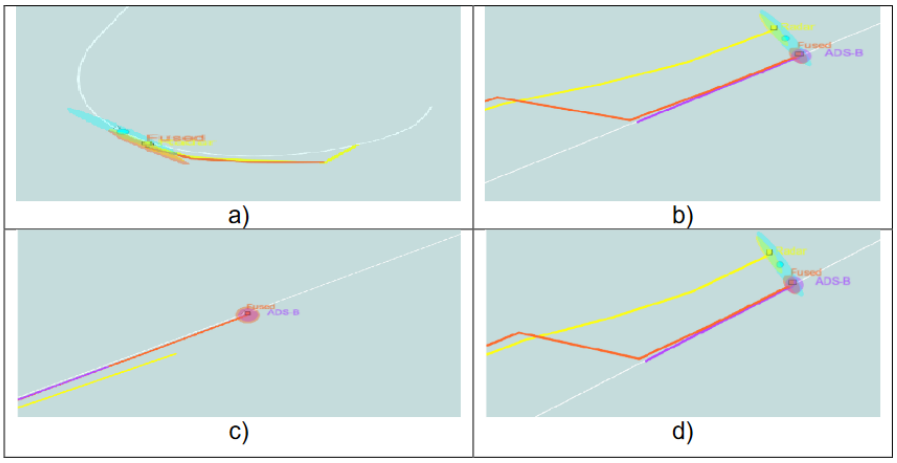



Figura.12 Primeros momentos de la simulación, sin reportes de ADS-B y poca precisión del seguimiento por radar a) La aeronave vuela en la zona de cobertura ADS-B b) La pista de radar creada se fusiona y se muestra cercana al seguimiento por radar c) Iniciación de una nueva pista de seguimiento por radar cuando la aeronave vuela sobre la zona cubierta por la segunda y tercera estación de radar d)

### 3.2 Evaluación del seguimiento mediante los radares SMR y MLAT (ADS-B)

Para comparar los datos almacenados del seguimiento mediante radar y ADS-B se emplea la Asignación Óptima de Subpatrones, más conocida por sus siglas en inglés como la métrica OSPA [7] que permite evaluar la calidad del seguimiento a partir de la fusión de los datos de radar y MLAT (ADS-B), Fig.13, para ello se emplea los ajustes predefinidos del objeto “trackOSPAMetric.

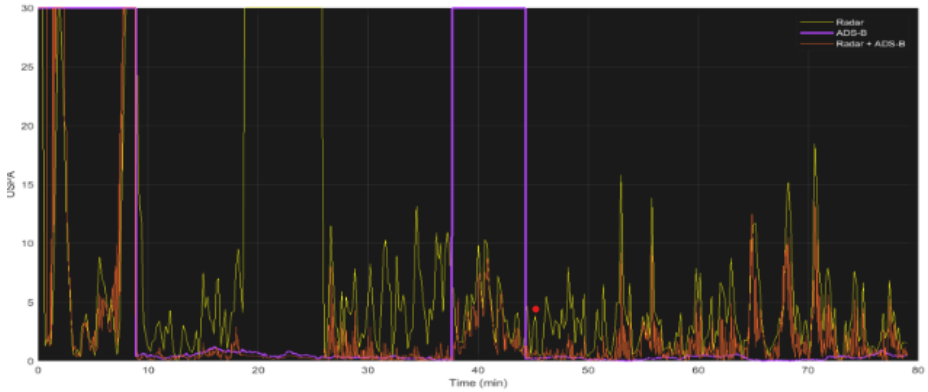



**Figura 13 Comportamiento de la OSPA en el tiempo de simulación**

La métrica OSPA muestra mejoras obtenidas desde la fusión de las pistas de radar con las pistas ADS-B, Fig. 13. Entre los 19 y 25 minutos de simulación la OSPA de radar es elevada debido a que el avión vuela sobre la zona de silencio de la red de radares. La disponibilidad de ADS-B en dicha área presenta un incremento significativo en el desempeño del seguimiento, como se indica en el OSPA fusionado. De forma adicional la métrica muestra dos picos al inicio lo cual se le atribuye a mal desempeño del modelo de velocidad constante durante los giros iniciales y la indisponibilidad de ADS-B en la región donde esto ocurre. Sobre los 40 minutos el OSPA de ADS-B se degrada por la pérdida de cobertura de ADS-B en la región que cursa el blanco ese momento. En segmentos posteriores de la simulación está disponible la cobertura de ambos sistemas de vigilancia. El OSPA de seguimiento por radar es peor que el OSPA de ADS-B debido a que los radares presentan una pobre precisión vertical frente al GPS que emplea ADS-B.

## 4. Diseño de la etapa de vigilancia del sistema A-SMGCS en el aeropuerto Internacional Juan Gualberto Gómez

Se propone a partir de la posición del sistema MLAT Fig.14 la siguiente ubicación según Tabla 1 para las tres estaciones SMR y las cámaras de vigilancia. Los tres radares de superficie estarían uno sobre la torre y los otros dos en cada extremo del aeródromo, pues así se garantiza la cobertura total de la pista principal, las vías de carreteo y de las zonas de aproximación. Se ubican, además seis cámaras de forma tal que cubran por completo el aeropuerto en especial el área de la terminal donde hay más movimiento del personal y de vehículos de operaciones y servicio.

Tabla 1 Coordenadas del sistema ASMRCG




| Estación | Latitud | Longitud |
|---|---|---|
| SMR TWR | 23°02´17.97´´N | 081°26´15.80´´O |
| SMR 2 | 23°01´32.95´´N | 081°27´07.13´´O |
| SMR 3 | 23°02´35.67´´N | 082°25´09.82´´O |
| Cámaras de vigilancia | | |
| Cámara No. 1 | 23°01´03.35´´N | 081°26´41.66´´O |
| Cámara No. 2 | 23°01´59.95´´N | 081°25´54.88´´O |
| Cámara No. 3 | 23°02´20.44´´N | 081°25´23.74´´O |
| Cámara No. 4 | 23°02´25.62´´N | 081°26´01.83´´O |
| Cámara No. 5 | 23°02´16.91´´N | 081°26´19.85´´O |
| Cámara No.6 | 23°01´55.75´´N | 081°26´39.7´´O |
| Multilateración | | |
| TWR | 23°02´17.97´´N | 081°26´15.80´´O |
| Cumbres | 23°04´47.10´´N | 081°32´24.77´´O |
| Varadero | 23°08´37.04´´N | 081°16´14.27´´O |
| Jacán | 22°49´37.56´´N | 081°20´43.21´´O |
| TX1/RX1 | 23°01´54.24´´N | 081°25´48.28´´O |
| RX2 | 22°54´42.47´´N | 081°36´11.75´´O |

Fig.14 Propuesta del sistema A SMCG ubicación del sistema MLAT, las tres estaciones SMR y las cámaras de vigilancia.

## 5. Cálculo del alcance máximo de los sensores de vigilancia del sistema

La simulación de la cobertura de los sensores de vigilancia del sistema propuesto se realizó a partir de los parámetros técnicos de cada uno de los sistemas que los componen.

**5.1Cálculo de alcance de radar primario de superficie** [1].

$$Rmax = \sqrt[4]{\frac{P_T \cdot G^2{}_A \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\cdot\pi)^3 \cdot S_{min} \prod L_{sist}}} \quad (1)$$

Donde: $P_T$: Potencia pico transmitida 5 W, $G_A$: Ganancia de la antena 36 dBi, λ: Longitud de onda 0.032 m, $\sigma$: Corte transversal del blanco 100 $m^2$ para un avión o vehículo, Smin: Mínima señal detectable 10-16 W, Lsist: Pérdidas del sistema, Pérdidas Tx: 2,2 dB, Pérdidas Rx: 1,3 dB, Pérdidas del ancho del haz: 1,5 dB, Pérdidas por razón de falsa alarma constante: 0,5 dB

Sustituyendo los datos técnicos en la ecuación (1) el alcance del radar de superficie será de 6.28 Km lo que permite entre los tres garantizar la cobertura completa del aeródromo y sus accesos en la aproximación de las aeronaves

### 4.2 Cálculo de alcance del sistema ADS-B

Para el cálculo del alcance de este sistema se toman aeronaves que vuelan por debajo de los 15000 pies, con una sensibilidad en estaciones receptoras de -69 dBm. Se consideran pérdidas en los cables de 3.5 dB. A partir de la observación de estas consideraciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$Lb = 48.5\ dBm + 5\ dBi + 12\ dB - 3\ dB + 0\ dBi - 3.5\ dB + 96\ dBm, Lb = 155\ dBm \quad (2)$$

Se calcula la máxima distancia que puede existir entre una aeronave y el receptor ADS-B a través de la ecuación (2) con la consideración de los valores numéricos de las pérdidas. Para ello se sustituyen los valores de las pérdidas por la atenuación que causan el oxígeno y el agua:

$$Lb = 92.45 + 20log[f(GHz)] + 20log[d(km)] + Aoxig * d(km) + Avap * d(km) \quad (3)$$

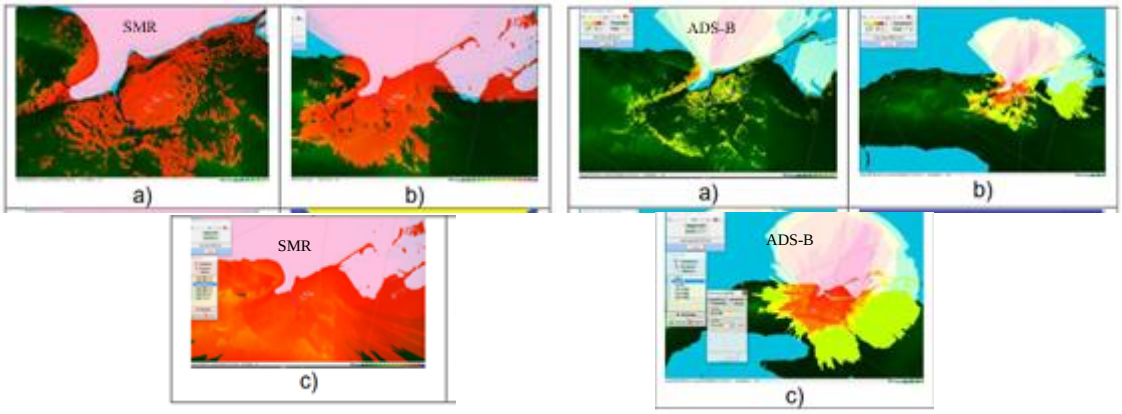
$$155\ dBm = 92.45 + 0.748 + 20\ log[d(km)] + (5.62 * 10{-}3 + 5.164 * 10{-}6) * d(km)$$

$$61.802 = 20\ log[d(km)] + (5.62 * 10{-}3) * d(km)$$

De manera que el alcance máximo del sistema ADS B será de $d(km) = 726\ km$

### 6. La simulación de la cobertura de los sensores de vigilancia del sistema propuesto.

La simulación de cobertura Fig.15 de las tres estaciones SMR, estación ADS-B y el sistema MLAT está basada en los parámetros técnicos de cada uno de estos sensores mediante el software AsTools y son realizados con un blanco a alturas de 1, 30 y 300 metros sobre el nivel del suelo, casos a), b), c) respectivamente. Estas alturas constituyen los valores de interés para la detección de blancos en la superficie del aeródromo sobre la pista y también en maniobras de aproximación y despegue.



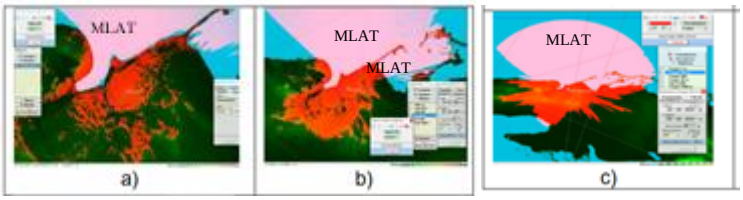



Fig.15 Simulación de las coberturas de las tres estaciones SMR, estación ADS-B y el sistema MLAT para las alturas de 1(a), 30(b) y 300(c) metros con el software Astool

## 5. CONCLUSIONES

Se diseñó la etapa de vigilancia de un A-SMGCS en el Aeropuerto Internacional Juan Gualberto Gómez mediante el empleo del Filtro Kalman Extendido para la fusión de los datos generados por los sensores de vigilancia aeronáutica propuestos que permitirá garantizar la cobertura sobre la superficie del aeródromo durante en maniobras de aproximación y despegue.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo.

## REFERENCIAS

1. Castillo S. R., "Diseño de un Sistema Avanzado de Guía y Control de Movimiento en Superficie en el Aeropuerto Internacional José Martí," Proyecto de Diploma en opción del título Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica La Habana, Cuba 2021
2. EUROCONTROL Specification for Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Services, EUROCONTROL, 22 April 2020.
3. Urquia I. Diseño de la etapa de vigilancia de un sistema A-SMGCS con el empleo de un Filtro Kalman Proyecto de Diploma en opción del título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica La Habana, Cuba 2023.
4. Cámara de Video detección AUTOSCOPE Vision http://wwwsmaforos.com.mx. Consulta 17.08.24
5. Zulueta Jiménez M. E."Diseño de un Sistema de un Sistema de Vigilancia para el TMA de Santiago," Proyecto de Diploma en opción del título Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica La Habana, Cuba 2021
6. The Mathworks "Help Center " The Mathworks , Inc.
https://www.mathwoks.com/help/maltab/system-objects.html (consulta Mayo 13, 2023).
7. Beard Michael, Ba-Ngu Vo, "OSPA(2): Using the OSPA Metric to Evaluate Multi-target tracking Performance," presented at the 2017 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), Chiang Mal, Thailand, October 31-November 3, 2017, 2017.

## Sobre los autores

**José Armando Rodríguez Rojas** es Doctor en Ciencias y Profesor Titular Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE, Ingeniero Radiotécnico y Especialista en sistemas de Radares
**Ivel Urquia Santana** es Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica graduado de la Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE, especialista en automática y electrónica en la Empresa IVROTECS.U. R.L. Zona Especial Mariel.
**Shirley Robert Castillo es** Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica graduado de la Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE, Especialista en Sistemas de Radiocomunicación, Navegación y Vigilancia en la Empresa Cubana de Navegación Aérea

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ARQUITECTURAS COMPUTACIONALES DE ALTO RENDIMIENTO SOBRE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA ORGANIZACIONES DE TELECOMUNICACIONES

**Omar Antonio Hernández Duany[1], Caridad Anías Calderón[2], Roberto Sepúlveda Lima[3], Fernando de la Nuez García[4], Cornelio Yáñez-Márquez[5]**

[1 2 3 4] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE)
[5] Instituto Politécnico Nacional de México
[1]email: omar.hd@tele.cujae.edu.cu, [2]email: cacha@tesla.cujae.edu.cu, [3]email: rsepulvedalima@gmail.com, [4]email: fernandela@tele.cujae.edu.cu, [5] email: cyanez@cic.ipn.mx

**RESUMEN**

En el contexto de la transformación digital de la sociedad muchas organizaciones de pequeñas y medianas dimensiones del sector de las telecomunicaciones y otros sectores afines, requieren mejorar sus indicadores productivos y de negocios, por tal razón están conminadas a la resolución de problemas heterogéneos pertenecientes a sus propios entornos organizacionales, con una alta eficacia y eficiencia. En muchos casos estos procesos tienen un alto costo computacional o deben ejecutarse en tiempo real. Este es un importante factor de motivación para intensificar el trabajo en función de aumentar el rendimiento y la eficiencia de las aplicaciones en función de las infraestructuras computacionales o la planificación estratégica para su diseño y desarrollo perspectivo. En tales circunstancias se requiere lograr la aceleración de estos procesos empleando diseños algorítmicos o métodos de Inteligencia Artificial basados en enfoques paralelos, para conseguir minimizar los tiempos de ejecución en base a maximizar el aprovechamiento de la infraestructura computacional disponible. Esta investigación describe una arquitectura o modelo para construir con un enfoque sistémico este tipo de infraestructuras escalables, que contribuye de modo determinante a lograr el desarrollo de aplicaciones científicas y de ingeniería con la pretensión de optimizar procesos cotidianos de naturaleza diversa, a partir de la integración del alto rendimiento, alta eficiencia, alta disponibilidad y bajo costo, que resultan pertinentes en organizaciones académicas, científicas y productivas del sector, aunque no se restringe solamente a este ámbito.

**PALABRAS CLAVES:** Infraestructuras de alto rendimiento, computación en la nube, Aplicaciones paralelas, inteligencia artificial, Telecomunicaciones

# HIGH PERFORMANCE COMPUTATIONAL ARCHITECTURES ON CLOUD COMPUTING FOR TELECOMMUNICATIONS ORGANIZATIONS

**ABSTRACT**

In the context of the digital transformation of society, many small and medium-sized organizations in the telecommunications sector and other related sectors need to improve their productions and business indicators, for this reason they are required to solve heterogeneous problems belonging to their own organizational environments, with high effectiveness and efficiency. In many cases these processes have a high computational cost or must be executed in real time. This is an important factor of motivation to intensify the work to increase the performance and efficiency of applications depending on the computational infrastructures or strategic planning for their perspective design and development. In such circumstances it is required to achieve the acceleration of these processes using algorithmic designs or Artificial Intelligence methods based on parallel approaches, in order to minimize executions times based on maximizing the use of the available computational infrastructure. This research describes an architecture or model to build with a systematic approach this type of scalable infrastructures that contributes in a decisive way to achieve the development of scientific an engineering applications with the aim of optimizing daily process of diverse nature, based on the integration of high performance, high efficiency, high performance and high efficiency.

**KEY WORDS:** High Performance infrastructures, cloud computing, parallel applications, Intelligence artificial, Telecommunications

## 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la transformación digital de la sociedad, muchas organizaciones de pequeñas y medianas dimensiones del sector de las telecomunicaciones y otros sectores afines, requieren trabajar en función de la mejora de sus indicadores productivos y de negocios. En tales circunstancias, los procesos de telecomunicaciones de captura, procesamiento, transmisión y almacenamiento de grandes volúmenes de datos a partir de la gestión simultanean de muchos flujos heterogéneos: datos, audio, video, multimedia, señales de radio, entre otros [1], requieren ser acelerados para lograr una efectividad superior, a partir de considerar que estos flujos suelen contener información relevante para la toma de decisiones [2].

Las infraestructuras HPC contribuyen significativamente a la realización de cálculos complejos a gran velocidad, incluyendo el procesamiento de grandes volúmenes de datos en tiempo real, que es una clase de aplicación típica del campo de las telecomunicaciones [3]. En este entorno las aplicaciones avanzadas pueden ejecutarse de forma eficiente, fiable y rápida en correspondencia con las demandas de los usuarios [4]. La HPC es ampliamente utilizada en diversos entornos científicos a nivel internacional y cada día se expande hacia el sector productivo, con vistas al diseño y obtención de nuevos productos, servicios y su optimización [5]. En la etapa más reciente se han desarrollado diversas herramientas y plataformas de gestión configurables en entornos virtuales [6], utilizando los modelos de despliegue Infraestructura como Servicio (IaaS) [7] Plataforma como Servicio (PaaS) y Software como Servicio (SaaS) [8].

Un informe [9] publicado en 2023 hace referencia a que las dimensiones del mercado de computación HPC se valoró en 48.510 millones de dólares en 2022 y se espera que se expanda a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 7,5% desde 2023 hasta 2030. La creciente demanda de computación de alto rendimiento, los avances en virtualización, la continua diversificación y expansión de la industria de TI y la creciente preferencia por soluciones híbridas de computación de alto rendimiento (HPC) son los factores que se espera que impulsen el crecimiento.

Por otro lado, muchas organizaciones están llevando a cabo un proceso de repatriación desde la nube. Este es el proceso de mover aplicaciones, servicios y datos fuera de las nubes públicas (como AWS, Azure o GCP) y volver a los centros de datos, en las instalaciones, nube privada, o híbrida. Las empresas optan por la repatriación desde la nube para reducir costos, mejorar la privacidad y satisfacer las necesidades empresariales cambiantes [10]. Es importante considerar que muchos procesos heterogéneos de las organizaciones de telecomunicaciones deben ejecutarse lo más rápidamente posible para apoyar el rendimiento de la organización, teniendo en cuenta el aumento de la complejidad de sus problemas organizativos [11].

Las nubes públicas ofrecen sus servicios a los clientes a nivel internacional, posibilitando acceder a un pool virtual de recursos compartidos, incluyendo servicios de computación, almacenamiento y redes, que están gestionados bajo sus dominios de administración [8]. No se puede descartar que a algunas organizaciones les resulte más rentable utilizar soluciones HPC disponibles realizando pagos bajo demanda en lugar de construir sus propias infraestructuras computacionales HPC [9].

## Diseño y despliegue de la infraestructura HPC sobre Cloud en organizaciones del sector de las telecomunicaciones

En muchos casos las organizaciones requieren gestionar y controlar sus propias infraestructuras HPC para la ejecución de procesos intrínsecos de la organización. Por tanto, resulta conveniente la formulación de estrategias organizativas basadas en HPC armónicas en función de lograr la aceleración de cada uno de sus procesos intrínsecos. Las potencialidades de las infraestructuras HPC de las organizaciones constituyen una plataforma para resolver cálculos complejos pertenecientes a sus procesos cotidianos para obtener la eficiencia de sus respectivos trabajos organizacionales [3].

Las infraestructuras HPC constituyen plataformas de mucha importancia para la configuración de entornos cloud computing [12]. Algunas características como la escalabilidad a partir del uso de

contenedores también han suscitado interés en los sectores académico y científico. Sin embargo, las cuestiones de seguridad en la nube, como la confidencialidad de los datos, todavía deben tomarse en consideración a la hora de decidir entre la nube pública y los recursos HPC locales [13]. Es importante significar que se produce una notable mejora del rendimiento y una reducción de la latencia de las comunicaciones, al utilizar redes con altas tasas de transferencia de datos. Ambos factores tienen un impacto directo en el retorno de la inversión (ROI) [14].

La configuración de infraestructuras HPC basadas en la computación en nube ofrece una mayor rentabilidad y flexibilidad para la ejecución de cargas de trabajo en las organizaciones [15]. Esta estrategia garantiza que las organizaciones o usuarios que puedan acceder a los servicios. Permite la migración de los servicios HPC del borde hacia la nube, garantizando que los datos de las organizaciones no estén confinados a un centro de datos específico y facilitando la reutilización de recursos computacionales de terceros.

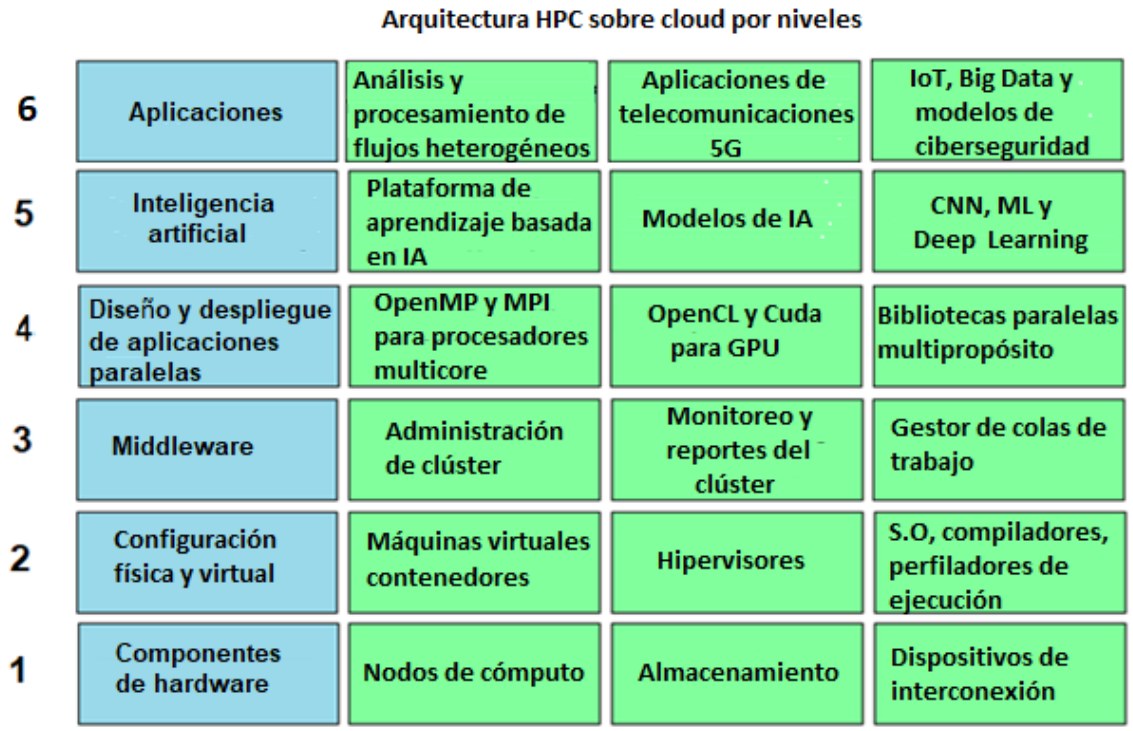



Fig. 1: Componentes de la infraestructura HPC por niveles

La Fig. 1 muestra la arquitectura diseñada en el laboratorio HPC de Telecomunicaciones para el despliegue de infraestructuras HPC. Contiene los niveles más representativos empleados para gestionar los entornos HPC en la nube, que son configurados a partir del nodo maestro, que a su vez es portador de todas las herramientas necesarias para el aprovisionamiento de los nodos de cómputo, que contribuyen a la resolución de los procesos. Para el despliegue han sido validados diferentes entornos HPC empleando herramientas open source desarrollados por la comunidad HPC a nivel internacional.

Desde el punto de vista del propio sistema HPC basado en la estrategia de la organización este proceso es un poco más complejo y necesita ser concebido incluyendo el análisis del ROI. Existen herramientas que han sido desarrolladas o han tenido una larga evolución, pero su despliegue sigue siendo viable en arquitecturas emergentes, dada su fiabilidad, estabilidad y reducido consumo de recursos. Es necesario considerar que las organizaciones no siempre tienen acceso a servidores de alta gama, sin embargo, existe la posibilidad de reutilizar los recursos hardware on-premise [16] si estos se configuran en infraestructuras de clústeres HPC para resolver procesos heterogéneos de alto costo computacional.

Las infraestructuras HPC son de gran utilidad para las organizaciones de telecomunicaciones, ya que proporciona un soporte integrado para la administración de servidores HPC, almacenamiento y redes que gestionan un número indeterminado de nodos de computación híbridos con CPUs multinúcleos, GPUs, FPGAs y otros dispositivos conectados [17]. Las herramientas de gestión de infraestructuras HPC que han sido desplegadas se aplican a sistemas pequeños, medianos y grandes. Deben correlacionarse con las demandas de las organizaciones. En el caso de sistemas pequeños y medianos, los entornos de administración pueden ser gestionados desde un único nodo, de forma centralizada, incluyendo la monitorización directa y el control de cada uno de los nodos de computación que componen la infraestructura HPC [18].

Esta arquitectura para construir infraestructuras HPC puede ser extensible a muchas organizaciones académicas, científicas y productivas de pequeña y mediana dimensión basadas en el uso de componentes de hardware que contribuyen a potenciarla; orientada fundamentalmente el desarrollo y ejecución de aplicaciones de Telecomunicaciones. En este enfoque se han integrado nodos de computación on-premise y nodos de computación dispersos con el propósito de mejorar el rendimiento computacional [15]. El despliegue de las infraestructuras HPC se utiliza en gran medida para solucionar problemas de que no son factibles de realizar utilizando computadoras convencionales, debido a que demandan requisitos superiores de CPU, memoria, red y espacio en disco. Para facilitar los cálculos intensivos resulta conveniente la inclusión y escalamiento sistemáticos de recursos de hardware emergentes, tales como GPU.

## 1. COMPONENTES DE HARDWARE

Para la HPC se consideran tres componentes principales un sistema HPC: Computación, Red y Almacenamiento [17]. El nodo de computación puede contener diferentes procesadores o coprocesadores CPUs, GPUs, memoria RAM local y dispositivos de interconexión. Las GPU son un componente relevante de una arquitectura HPC, usualmente poseen un rendimiento superior a las CPU y son capaces de soportar cargas de trabajo más complejas a velocidades mucho más rápidas. La red debe ser rápida y fiable para garantizar la efectividad de la comunicación interproceso de las aplicaciones paralelas, también basada en la transferencia de datos entre el nodo maestro, los nodos de computación y el almacenamiento compartido para gestionar elevados volúmenes de datos y el rápido acceso y recuperación de la información que contribuyen a incrementar rendimiento general de las aplicaciones.

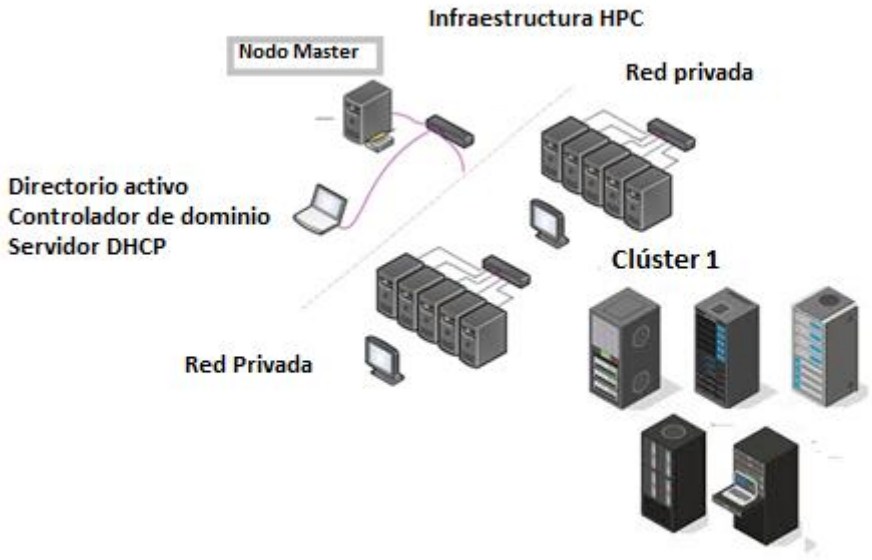



Fig. 2 Infraestructura de hardware HPC

La Fig 2. presenta el diseño de la infraestructura física HPC basada en un clúster federado integrado por nodos de altas prestaciones adecuados, en racks y un número indeterminado de nodos de computación dispersos on-premise. Todos los nodos de computación se gestionan de forma centralizada mediante el dispositivo de interconexión de alta transferencia de datos en un Centro de Datos.

Los tres componentes principales de una infraestructura HPC descritos en el nivel 1 son: computación, red y almacenamiento. Cada componente de un clúster coopera con los restantes para mejorar la potencia de cálculo a partir de la integración de los nodos de cómputo con el mayor rendimiento posible. Es recomendable emplear dispositivo de interconexión con altas tasas de transferencia de modo que contribuyan a la mejora del rendimiento de la red. Las pequeñas y medianas organizaciones deben analizar meticulosamente su disponibilidad financiera para diseñar las infraestructuras HPC. Es preferible adquirir las tecnologías hardware más avanzadas disponibles en el mercado a partir del análisis del comportamiento de la relación costo/eficacia en correspondencia con el ROI.

Esta inversión es un factor clave para el desarrollo de las infraestructuras HPC, ya que determina la potencialidad de los recursos tecnológicos que forman parte de la infraestructura. Las características técnicas y rendimientos de los nuevos recursos de hardware que son comercializados por las empresas fabricantes más importantes a nivel internacional deben ser analizados exhaustivamente en el momento preciso en que la organización se propone diseñar su infraestructura HPC. El acceso a estos componentes tecnológicos depende de la disponibilidad de recursos financieros en la organización. [20].

Los nodos de computación son el componente de hardware más importante para alcanzar el rendimiento computacional basado en sus potencialidades y en la cantidad de nodos de computación integrados en la infraestructura HPC. El rendimiento de los nodos debe estimarse previamente a la construcción de la infraestructura. Es deseable el mayor rendimiento posible de los nodos de computación, pero esta facilidad depende de los recursos financieros disponibles. Actualmente se pueden tomar como referencia al menos las series de procesadores producidas por los fabricantes de hardware más relevantes [21]. El nodo maestro es un tipo especial de nodo que realiza un número diferente de funciones y responsabilidades adicionales más allá de los nodos de computación cliente [22]. Desde el punto de vista del hardware, es necesario tener en cuenta que los requerimientos del nodo servidor o nodos maestros dependen de las dimensiones del clúster, ya que estos son responsables de controlar sus funcionalidades más importantes.

Para la configuración de la infraestructura HPC en la nube en el laboratorio TeleHC el nodo maestro debe disponer de procesadores de alta gama, un mínimo de 96 Gb de RAM y dispositivos de interconexión que garanticen una alta tasa de transferencia de datos entre nodos, al menos de 10Gbps. La infraestructura HPC desarrollada cuenta con 2 armarios Dell Poweredge m1000e. Cada recinto contiene 16 servidores blade PowerEdge M610SMP con CPU Intel Xeon L5520-2.27Ghz, Core Speed 2.26 Ghz, Bus Speed 5.86 GT/s Caché L2: 4x256 kb, Caché L3: 8 MB 4 cores/CPU. El nodo maestro tiene 96 GB de memoria RAM ECC DDR3 1067 Mhz. Cada nodo dispone de 2 NIC Gbe. Los nodos de computación del clúster tienen procesadores similares con 64GB de RAM como media y las mismas NICs. Se han incorporado al clúster otros nodos dispersos de las organizaciones con procesadores Intel Core I7 e Intel Core I5, con 8GB y 4GB de memoria RAM respectivamente.

El almacenamiento de datos soporta aplicaciones paralelas de datos intensivos. Resulta muy importante una alta capacidad como almacenamiento persistente. Con el almacenamiento compartido las organizaciones pueden almacenar y analizar sus datos de forma segura dentro de la infraestructura HPC on-premise. Para validar el despliegue de la infraestructura se ha utilizado un HP StorageWork que dispone de utilidades y características que facilitan la tarea de administración asociada a la gestión del sistema. El insight manager es una herramienta que constituye un componente clave en el entorno de gestión de sistemas [18]. La herramienta permite monitorizar las operaciones de los nodos de computación proporcionando a los administradores del sistema un mayor control a través de una interfaz visual.

La infraestructura de red es otro factor crítico porque debe permitir el establecimiento de comunicaciones estables entre los nodos. Deben proporcionar una conectividad de gran ancho de banda y baja latencia entre los nodos de cálculo y los sistemas de almacenamiento. Esto facilita la transferencia de datos de forma eficiente y las capacidades de procesamiento en paralelo. La selección de los dispositivos de interconexión de red es muy importante porque repercute directamente en el rendimiento de las aplicaciones. Es deseable tener una alta transferencia de datos porque esto contribuye a la comunicación entre procesos cuando se utiliza el paradigma de memoria distribuida con interfaz de paso de mensajes (MPI).

## 2. CONFIGURACIÓN FÍSICA Y VIRTUAL

El desarrollo nativo en la nube ha rediseñado el panorama del software con un importante impacto en las transformaciones digitales, cambiando la forma en que las organizaciones construyen, despliegan y gestionan aplicaciones con una mayor simplicidad [16]. Los administradores de la infraestructura HPC pueden incluir configuraciones cloud, on-premise o híbridas dependiendo de las demandas de la organización. Resulta un componente crítico para la gestión de cargas de trabajo más exigentes en las organizaciones de telecomunicaciones, que se centra en el desarrollo de un modelo operativo para acelerar la transformación hacia una estrategia de TI sostenible para las organizaciones.

La infraestructura tecnológica virtual ha sido configurada y validada en un Centro de Datos HPC integrando el potente hardware de servidores blade y PCs como nodos dedicados en la organización acercando la potencia de todos los procesadores, y las potencialidades de las GPUs (Unidades de Procesamiento Gráfico), memoria para optimizar el procesamiento paralelo en las aplicaciones, lo que permite a estas realizar cálculos complejos a velocidades mucho más rápidas que las computadoras tradicionales [23].

### 2.1. Máquinas virtuales

El entorno virtual se refiere a cómo se organizan y despliegan los recursos de las Máquinas Virtuales (VM) [24] para permitirles operar con eficacia en una infraestructura de hardware HPC, funcionando como un sistema informático virtual con sus propios procesadores, memoria RAM, almacenamiento e interfaces de red, creado sobre un sistema de hardware físico. Estos pueden estar ubicados fuera o dentro de las instalaciones y competir con la configuración del clúster HPC. Las VM permiten la configuración de múltiples entornos de gestión HPC y cada uno de los componentes de software para desplegar la gestión del clúster.

Cada VM se ejecuta del mismo nodo que un entorno HPC físico y las aplicaciones normalmente en el hardware del host. Así, los usuarios finales no logran identificar si sus aplicaciones se ejecutan en una máquina física o virtual. La tecnología de virtualización ha permitido configurar una plataforma experimental para validar diferentes entornos de gestión HPC en el nodo maestro del clúster. Por este motivo, es necesario que el hardware asociado a este nodo maestro tenga las mayores prestaciones posibles [25].

Desde el punto de ciberseguridad las VM HPC o HPCaas tiene condiciones equivalentes a las máquinas físicas tras la realización de un análisis exhaustivo por el grupo de expertos en ciberseguridad de la organización. Las máquinas virtuales añaden nuevas funcionalidades con mayor facilidad y ajustan las configuraciones según se requiera como para optimizar sucesivamente los nodos maestros de los clústeres. En el proyecto se han utilizado máquinas virtual box con la configuración HPC. Se trata de un producto de virtualización apropiados para las organizaciones cuya versión base de Oracle VirtualBox es gratuita.

### 2.2. Contenedores

Los contenedores son instancias de software portátiles que pueden ejecutarse en una máquina física o virtual. Se trata de imágenes de software ligeras, autónomas y ejecutables que incluyen todo lo necesario para ejecutar la aplicación: código, herramientas del sistema en tiempo de ejecución, bibliotecas del

sistema y configuraciones [23]. Los contenedores permiten descomponer una aplicación monolítica en microservicios. Esta alternativa resulta de mucha utilidad para el diseño modular y la implementación de aplicaciones paralelas. Los contenedores son unidades de software estándar e independientes que empaquetan el código y todas sus dependencias para que las aplicaciones paralelas se ejecuten de forma rápida y fiable de un entorno informático a otro. Los contenedores son más portables que las VM, y es una forma adecuada para desplegar rápida y fácilmente una configuración HPC estable. En el despliegue de la infraestructura se han utilizado contenedores LXC manteniendo el enfoque de software libre.

### 2.3. Hipervisores

El hipervisor es un software que aísla los recursos de hardware de la máquina y los aprovisiona adecuadamente para que puedan ser utilizados por la máquina virtual. Una infraestructura virtual orientada a servicios suele estar gestionada por una tecnología que proporciona agregación, gestión, disponibilidad y movilidad de recursos; el núcleo fundacional de la infraestructura virtual es el hipervisor. Como principio para desarrollar la infraestructura HPC se ha utilizado el hipervisor ProxMox Virtual Environment. Se trata de una plataforma de código completo para la virtualización empresarial y resulta conveniente emplear una solución no propietaria y de libre distribución. Con ProxMox [26] también es posible gestionar fácilmente VMs y contenedores, almacenamiento y redes definidas por software, clustering de alta disponibilidad, entre otros para centros de datos empresariales que deberían ayudar tanto a los responsables de la toma de decisiones de TI como a los usuarios finales a elegir el hipervisor de virtualización adecuado para sus centros de datos. El servidor Proxmox ofrece el rendimiento y la escalabilidad necesarios para implementar un centro de datos eficiente con capacidad de respuesta.

## 3. MIDDLEWARE

Para el despliegue de las infraestructuras HPC puede configurarse la instalación integrando nodos heterogéneos con diferentes potencialidades de modo que contribuyan a alcanzar un rendimiento superior. La Arquitectura HPC prevé la escalabilidad, facilitando expansión de los recursos para satisfacer las crecientes demandas de rendimiento que son gestionadas por medio de un software middleware y sistemas de archivos distribuidos.

La gestión y supervisión de la infraestructura de HPC implica un amplio conjunto de procesos y herramientas para garantizar el rendimiento, la fiabilidad y la eficiencia óptima de las instalaciones. Esto incluye la supervisión del estado y el rendimiento del hardware computacional, los sistemas de refrigeración, la infraestructura de red y las soluciones de almacenamiento, así como el monitoreo del consumo de energía y las condiciones ambientales. Los sistemas de supervisión avanzados recopilan y analizan datos en tiempo real sobre diversos parámetros, como la temperatura, el consumo de energía y el tráfico de red, para identificar posibles problemas y facilitar un mantenimiento proactivo.

La construcción de las infraestructuras HPC on-premise, (servidores, almacenamiento y redes que están ubicados físicamente en instalaciones de la organización), suele requerir la disponibilidad de los recursos financieros para adquirir los componentes hardware. Los administradores deben emplear herramientas de automatización y orquestación para simplificar el despliegue, la configuración y la gestión de los recursos computacionales, el software y las cargas de trabajo. Estas herramientas ayudan a mantener altos niveles de disponibilidad del sistema, optimizar la utilización de los recursos y minimizar el tiempo de inactividad, a la vez que garantizan que el centro de datos HPC opere dentro de los parámetros de rendimiento y eficiencia deseados [27].

El proceso de construcción de un clúster HPC en la nube requiere componentes de software para desplegar y gestionar la infraestructura, incluidas herramientas de aprovisionamiento, herramientas de desarrollo y bibliotecas científicas. La máquina virtual con la configuración del clúster en los nodos maestros permite su desplegué relativamente rápido solamente ajustando las características del hardware, previa estructuración del sistema conteniendo sistemas de archivos en nube simplificados y rápidos para combinar múltiples fuentes de datos en un único sistema HPC. La adición de recursos se refiere a la capacidad de agrupar, compartir memoria, potencia de procesamiento, red y almacenamiento entre instancias de nodos de cómputo con la capacidad de realizar migraciones dinámicas de máquinas virtuales

o contenedores en ejecución de un servidor físico a otro en respuesta a la disponibilidad de recursos de hardware. Este proceso es transparente para los usuarios finales.

### 3.1. Configuración del nodo master

El nodo maestro es el componente más relevante de la infraestructura de hardware HPC dado que asume las funcionalidades fundamentales del clúster: configuración, gestión del sistema, supervisión, administración de planificadores de tareas, servidores de bases de datos, balanceadores de carga, software de gestión de datos de los sistemas de archivos, redes y aplicación web para el acceso a la infraestructura. Todo el sistema está gestionado y controlado por al menos un nodo maestro dedicado. También se recomienda utilizar software libre. Los usuarios sólo pueden acceder al clúster HPC a través del nodo maestro utilizando el front end del sistema.

Los trabajos en el Clúster no funcionan simplemente "out of the box". Es necesario utilizar un software especializado denominado scheduler como orquestador de los recursos computacionales compartidos y que realmente contribuye a que los nodos puedan trabajar eficientemente con la arquitectura HPC. Estos deben distribuir los trabajos utilizando de forma balanceada los nodos de computación de la infraestructura, esa herramienta de sistema HPC siempre utilizará en su lugar software de programación de computación en clúster. Este software es responsable de gestionar las operaciones de gestión del sistema, tales como el movimiento de datos entre el almacenamiento en la nube a largo plazo y los clústeres HPC u optimizar los sistemas de archivos en la nube.

La herramienta de gestión HPC es un software de sistema optimizado para la administración de las infraestructuras HPC que debe seleccionarse tomando en consideración de las necesidades específicas de la organización. En este proyecto se han desplegado diferentes entornos de gestión de clústeres HPC con capacidades similares. Estos han sido validados en Proxmox utilizando VM: Virtual Box y contenedores LXC y pueden ser útiles para diferentes organizaciones en función de sus necesidades en escenarios heterogéneos. Por ejemplo: Platform Cluster Manager-Dell Edition, HPC Intel Orchestrator, xCAT Extreme Cloud Administration Toolkit, Warewulf, Openstack HPC, Apache CloudStack, Oscar, OpenNebula, entre otros como se describió en la monografía Herramientas de administración de clúster HPC, despliegue, gestores de trabajo, monitoreo y supervisión [28].

El sistema HPC se ha sido validado empleando la distribución de Linux Ubuntu 20.04 y el gestor de cargas de trabajo SLURM para la programación de trabajos. El clúster puede contener un número indeterminado de nodos de computación de propósito general (GP), nodos de computación de propósito especial (SP) y 2 nodos frontales interconectados; este aspecto también depende de los recursos financieros. La E/S intensiva está soportada por HP Storagework, mientras que los directorios de inicio están atendidos por el sistema de archivos NFS con acceso global. Toda la comunicación entre nodos (OpenMPI) se realiza a través de una red de baja latencia.

### 3.1. Configuración de los nodos de cómputo

Los nodos clientes o de computación son los encargados de realizar los cálculos enviados desde el nodo maestro. Cada uno de dichos nodos, ha sido configurado como nodos clientes sin disco, que emplean el arranque a través de la red para cargar las imágenes de su sistema operativo recibidas del servidor (nodo maestro). Este método es tan apropiado y útil para obtener una forma de gestión centralizada que reduzca el costo de despliegue y contribuya a las sucesivas actualizaciones de las infraestructuras HPC y su escalabilidad más fácilmente. La única configuración requerida para el nodo de computación es establecer Preboot Execution Environment (PXE) en el BIOS como interfaz cliente-servidor en la red del clúster para arrancar desde el nodo maestro.

Después del aprovisionamiento de los nodos de cómputo de destino la imagen del sistema operativo y la configuración HPC podrá comenzar el trabajo. Los nodos de computación previo a su configuración no almacenan ninguna información o estado de sesión sobre la solicitud anterior en un almacenamiento local. Toda la información sobre el estado se ubica en el almacenamiento compartido gestionado por el nodo maestro.

## 4. MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Muchas soluciones tecnológicas del campo de las telecomunicaciones de la etapa actual emplean para su solución aplicaciones basadas en la inteligencia artificial (IA). Un algoritmo de IA contiene tres componentes principales. La entrada de datos, una función o modelo entrenado con los datos, y los resultados de salida. Es posible construir muchos algoritmos de IA para distintos fines. Las organizaciones pueden llevar a cabo muchas funcionalidades en el campo de las telecomunicaciones: gestión, mantenimiento de infraestructuras, operaciones de atención al cliente, optimización de redes, mantenimiento predictivo, asistentes virtuales, ciberseguridad, procesamiento de video, procesamiento de señales y otras.

Existen tres grandes categorías de algoritmos de IA: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje reforzado. En todos los casos, el modelo de IA contiene un conjunto de algoritmos seleccionados y los datos utilizados para su entrenamiento con el fin de obtener predicciones más precisas [29]. Estos algoritmos son, por naturaleza, más complejos, ya que funcionan a partir de datos de entrenamiento que contribuyen al aprendizaje. Los datos se adquieren y etiquetan para que los utilicen los algoritmos de IA en función de generar los datos de salida.

El entrenamiento de modelos de IA es el proceso de alimentar los algoritmos con datos, examinar los resultados y ajustar el resultado del modelo para aumentar su precisión y eficacia [30]. Es un proceso que tiene aplicabilidad transversal. Es relevante para la ejecución de algoritmos más eficaces. La plataforma de aprendizaje basado en IA en infraestructuras HPC es una herramienta valiosa para las organizaciones de telecomunicaciones, durante el entrenamiento de modelos de IA como proceso de alimentación de datos curados a algoritmos seleccionados, contribuye al perfeccionamiento del sistema para producir respuestas precisas a las consultas.

Para entrenar modelos de modo que "aprendan más rápido" se requiere realizar la captura de datos masivos y procesamiento haciendo uso de una infraestructura HPC escalable que posibilite el desarrollo de soluciones a problemas heterogéneos del campo de las telecomunicaciones. Así, los científicos de datos en este campo siempre demandarán una plataforma que no sólo sea potente procesando enormes cantidades de datos "en bruto", sino que necesitan no tener que preocuparse demasiado por el lenguaje de programación que estos estén utilizando ofreciéndoles una experiencia integrada.

En la actualidad, los modelos de HPC y de IA deben estar estrechamente vinculados para contribuir de forma más eficiente a la mejora de los algoritmos. La potencia de cálculo y la escalabilidad del clúster HPC son factores relevantes para el software basado en IA. Un clúster con un rendimiento superior podría reducir el tiempo que se tarda en entrenar los modelos de IA y también ofrecer potencialidades para la generación de modelos más precisos. Estos modelos generativos se utilizan como representación computacional para hacer predicciones, tomar decisiones o realizar trabajos específicos en este campo.

## 5. DISEÑO Y DESPLIEGUE DE APLICACIONES PARALELAS

Las aplicaciones paralelas en el campo de las telecomunicaciones tienen cada vez una mayor presencia con el denominador común de acelerar el tiempo de ejecución de las aplicaciones. Los desarrolladores pueden utilizar muchas de las mismas técnicas empleadas en los sistemas HPC tradicionales para diseñar [13], acelerar y optimizar aplicaciones mejorando la eficiencia de los procesadores de alto rendimiento: CPU, GPU, FPA y otros dispositivos. En este nivel el primer objetivo es el conocimiento de los principios de diseño de algoritmos paralelos dividiendo un cómputo en porciones más pequeñas y asignándolos a diferentes procesadores para su ejecución en paralelo. El diseño puede definirse como un conjunto de procesos o tareas que se ejecutarán simultáneamente y podrán comunicarse entre sí para resolver un problema de grandes dimensiones o de complejidad superior.

En este contexto el lenguaje de programación más pertinente es C++ ya que en el campo de las telecomunicaciones es necesaria la programación a nivel de hardware, a nivel de sistema y a nivel de aplicación, para conseguir la mayor aceleración posible. La forma compositiva es adecuada para

desarrollar aplicaciones utilizando bibliotecas paralelas basadas en los paradigmas de memoria compartida (OpenMP) [7] y de memoria distribuida haciendo uso de Message Passing Interface (MPI). Por otro lado, C++ también es extensible con OpenCL para la aceleración de aplicaciones paralelas utilizando Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU) independientemente de los fabricantes. La eficiencia del código en aplicaciones paralelas es siempre crítica, al margen de que los compiladores modernos suelen optimizar el código con el propósito de desarrollar aplicaciones "próximas al hardware".

Existe una serie de bibliotecas de computación científica, que son de utilidad para desarrollar funcionalidades del campo de las telecomunicaciones: Visión computacional: OpenCV, Yolo, Point Cloud Library (PCL), Robot Operating Systems (ROS), Matlab, Mathematic. Procesamiento digital de audio: Biblioteca de proyectos PDS (PDSPLib), SoLoud, Biblioteca Essentia, Ajaakman, Maximilian. Comunicación lógica IOT en tiempo real: SON, ibm-Watson-iot, POCO. Comunicación serie TCP/IP: Seriallib, Serialport, Serial communication. Gestión de redes: Superpowered Networking Library, Apache Serf, Boost Asio, cpp-netlib, cpr, dlib y libcurt.

## 6. APLICACIONES

En la etapa actual, la IA, Big data, IoT, visión por computadoras, AI sobre 5G, extensibilidad de AI hacia la computación en el borde, procesamiento de señales en tiempo real, tienen en la HPC a su principal aliado para la resolución de problemas que requieren minimizar sus tiempos de ejecución, logrando así ampliar el alcance de sus resultados [2]. La evolución tecnológica que se ha producido en el campo de la HPC ha tenido como estímulo adicional en la migración de las implementaciones tradicionales basadas en servidores "bare metal" a plataformas híbridas en la nube mediante contenedores.

La HPC contribuye a la aceleración de los motores analíticos y la IA. Muchas aplicaciones que son desarrolladas proveen un entorno para compartir conocimientos, recursos y experticia acerca de problemas científicos complejos, ejecución de modelación de soluciones tecnológicas heterogéneas del campo de las telecomunicaciones. Pueden emplearse también para la realización de simulaciones, Telecomunicaciones basadas en AI, AI usando soluciones Machine Learning y Deep Learning, Telecomunicaciones en servicios en el borde y usando soluciones diversas dentro de las organizaciones.

## CONCLUSIONES

La formulación de estrategias HPC basado en la arquitectura de despliegue por parte de las organizaciones se convierte en un objetivo de cardinal importancia que puede impactar directamente la obtención de procesos de toma de decisiones más efectivos, basado en plataformas más orgánicas y eficientes, con una reducción significativa de sus tiempos de ejecución haciendo uso eficiente de hardware optimizado y minimizando la intervención humana.

La evolución de HPC desde entornos físicos hacia entornos virtuales ofrece un modelo operativo con un entorno común estructurado que puede ser desplegado desde cualquier localización geográfica para conjuntos de organizaciones de pequeñas y medianas dimensiones del sector de las telecomunicaciones.

Las infraestructuras HPC virtuales juegan un rol importante en el soporte de las demandas computacionales de las organizaciones de telecomunicaciones, debido a que pueden contribuir a acelerar disimiles procesos complejos que contienen tareas asociadas al procesamiento de grandes de grandes volúmenes de diversos flujos de datos en tiempo real, para la toma de decisiones como parte de sus procesos intrínsecos.

La infraestructura computacional desplegada constituye una referencia para la migración hacia diferentes entornos con costos relativamente bajos y adicionando nuevas funcionalidades bajo demanda de las organizaciones. Para este propósito se considera la posibilidad de escalamiento horizontal y vertical en correspondencia con las necesidades de las organizaciones y sus disponibilidades financieras.

El presupuesto de las organizaciones de pequeñas y medianas dimensiones del sector usualmente es limitado, pero el proceso de construcción de sus propias infraestructuras no debe considerarse como un

gasto, sino como una inversión que puede ser una fuente para la generación de recursos financieros si se calcula exhaustivamente el ROI.

Las organizaciones empresariales pueden monetizar ofreciendo infraestructura HPC como servicio a terceros y también configurando productos y servicios nuevos y extendidos basados en diferentes diseños y despliegues para otras organizaciones cuyos resultados pueden ser relevantes. Las utilidades generadas pueden ser empleadas ulteriormente en función de la amortización de inversiones para lograr el mejoramiento del capital productivo de las organizaciones y el escalamiento futuro de las infraestructuras HPC.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores quieren agradecer por el apoyo de diversa índole recibido de las organizaciones que se relacionan a continuación: Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE) y su Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento para las Telecomunicaciones, perteneciente al Grupo de Investigaciones en Telemática del Centro de Estudio de Telecomunicaciones e Informática (CETI). A la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. A la Empresa de Tecnología de la Información (ETI) del Grupo Empresarial Biocubafarma. Al centro de Investigaciones en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional de México.

## REFERENCIAS

[1] S. Sullivan, “2023 Telecom trends update, 2023.,” 2023. [Online]. Available: https://kpmg.com/us/en/articles/2023/2023-telecom-trends-update.html
[2] M. Merz and H. Sorgner, “Organizational complexity in big science: strategies and practices,” Synthese, May 2022.
[3] Daniel Reed, Dennis Gannon, and Jack Dongarra, “Reinventing High Performance Computing: Challenges and Oportunities,” Computer Science, 2022.
[4] Paul-Louis Bene, “Supercomputing Market Trends,” Luxinnovation Market Intelligence, Jul. 2023.
[5] Cong Wang, Shi-Jun Liang, and Feng Miao, “Scalable massively parallel computing using continuos-time data representation in nanoscale crossbar array,” Nature Nanotechnology, 2021.
[6] T. Gamblin and D. S. Katz, “Overcoming Challenges to Continuous Integration in HPC”.
[7] L. L. Wu, “Research on the Development and Application of Parallel Programming Technology in Heterogeneous Systems,” Journal of Physics, 2022.
[8] Patel Hiral B., “Cloud Computing Deployment Models: A comprarative Study,” Computer Science and Technology, 2021.
[9] “High Performance Computing Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Server, Storage, Networking Devices), By Deployment (On-premise, Cloud), By End-use, By Region, And Segment Forecast, 2023-2030,” Market Analysis Report, 2023.
[10] “Cloud Repatriation: Example + 9 Considerations for Migrating from Public Cloud to Private, On-Prem+Hybrid,” Cloud Infrastructure automation, 2023.
[11] Jaime Leverton, “Five Key Strategies For Harnessing High Performance Computing,” 2023.
[12] E. Niewiadomska-Szynkiewicz and P. Arabas, “Resource Management System for HPC Computing”.
[13] Guido Schryen, “Speedup and efficiency of computational parallelization: A unifying approach and asymtotic analysis,” Computer Science, 2022.
[14] “HPC Investments Bring High Returns,” Hyperion reearch, 2020.
[15] Edson Borin, L. Maria A., and Phiippe Olivier Alexandre, High Performance in Clouds. Springer, 2023.
[16] Per Bonderson, “Transitioning from on-premise computing to cloud computing,” UPPSALA UNIVERSITET, 2023.
[17] Utz-Uwe Haus, Sai Narasinhamurthy, Maria S. Perez, Dirk Pleiter, and Andreas Wierse, “Federated HPC, Cloud and Data Infrastructures,” European Technology Platform for HPC, 2022.
[18] “The lastest HPC software tools for HPC in 2023,” 2023.
[19] Farrukn Nadeem, “Evaluating and Ranking Cloud IaaS, PaaS and SaaS Models Based on Functional and Non-Functional Key Performance Indicators,” IEEE Access, 2022.

[20] "The list of T0P 500," https://www.top500.org, 2023.
[21] "Unleashing the Power of Bare Metal Services," 2023.
[22] U.-U. Haus, S. Narasimhamurthy, M. S. Perez, D. Pleiter, and A. Wierse, "Federated HPC, Cloud and Data Infrastructures," ETP 4 HPC, Apr. 2022.
[23] Manoj Kumer Patra, Bibhudatta Sahoo, and Ashok Kumar Turuk, "Containerization in cloud computing for OS-level virtualization," Advanced in Cyber Security and Intelligent Analytics, 2022.
[24] Deepa Kalavikatte, "Cluster, Grid Computing or Cloud and Virtualization," 2020.
[25] Surbhi, "Evolution of Cloud Computing: Trends and Future," Networks Kings, 2023, [Online]. Available: www.nwkings.com
[26] "Cybersecurity Of The Proxmox Hypervisor System," OsNet, 2023.
[27] Christian Engelmann, Hong Ong, and Stephen L. Scott, "Middleware in Modern High Performance Computing System Architectures," Computer Science and Mathematics Division Oak Ridge National Laboratory, 2023.
[28] "Monografy: Clusters Management configuration, deployment, job scheduler, monitoring and control," CUJAE, 2024.
[29] "FPGA vs. GPU vs. CPU-hardware options for AI applications," 2021. [Online]. Available: http://my.avnet.com/silica/resources/article
[30] "Infraestructuras de supercomputación e inteligencia artificial para la eficiencia," ATOS, Jose Camacho, 2023.

**Sobre los autores**

Omar Antonio Hernández Duany, Licenciado en Análisis de Sistemas Especiales de Comunicaciones (1986), Licenciado en Cibernética Matemática UH (1989). Master en Ciencias en Procesamiento Digital de Señales Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE) (2005), Profesor Auxiliar e Investigador Auxiliar. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica (CUJAE) Líder del Laboratorio Computacional de Alto Rendimiento para las Telecomunicaciones (TeleHPC Lab) ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0073-1036

Caridad Anías Calderón: Doctora en Ciencias, Profesora Titular. Imparte clases en la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Directora del Centro de Estudio de Telecomunicaciones e Informática. (CETI). Líder del Grupo de Investigaciones en Telemática. Presidenta de la comisión nacional de Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Presidenta del Evento Informática por más de una década. Ex-Vicerrectora de la CUJAE. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5781-6938.

Fernando de la Nuez García: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE, Diploma de oro. Publicación de artículos y presentación de trabajos de investigación en jornadas científicas estudiantiles. https://orcid.org/0009-0002-7138-8973

Roberto Sepúlveda Lima: Doctor en Ciencias, Profesor Titular, Master en Ciencias, Ingeniero Eléctrico por la Universidad Tecnológica de la Habana, Presidente de Comisión Nacional de grados científicos, ex-Director del Centro de Estudios del Ingeniería de Sistemas, Decano de la facultad de Informática, Decano de Facultad de Ingeniería Informática de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". https://orcid.org/0000-0002-9451-6395

Cornelio Yáñez-Márquez: Doctor en Ciencias, Profesor e Investigador Titular del CIC-IPN. Presea Lázaro Cárdenas, 2002. Maestro en Ciencias en Ingeniería de Cómputo (CINTEC-IPN, 1995), Licenciado en Física y Matemáticas de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional de México. Jefe del Laboratorio de Inteligencia Computacional, CIC, IPN. Creador del grupo alfa-beta. Líder del desarrollo de modelos Alfa-Beta. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN AGENCIAS BANCARIAS

**Andrés Subert Semanat**[1]

[1]Universidad de Oriente, Santiago de Cuba
[1]asubert@uo.edu.cu

**RESUMEN**

El presente artículo aborda la transformación digital en las agencias bancarias cubanas, con el objetivo de diseñar un conjunto de mejoras aprovechando los avances de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones para mejorar la calidad de los servicios bancarios. Se realiza un análisis del marco contextual cubano, se exploran las tecnologías aplicables y se analiza la viabilidad de la aplicación de un conjunto de tecnologías clave que pueden mejorar significativamente la calidad de servicio en las agencias bancarias cubanas. Además, se espera encontrar una alta correlación entre la adopción de estas tecnologías y la satisfacción del cliente.

**PALABRAS CLAVES:** Transformación digital, sector bancario, experiencia del cliente.

**DIGITAL TRANSFORMATIONS IN BANK BRANCHES**

**ABSTRACT**

This article addresses the digital transformation in Cuban banking agencies, with the aim of designing a set of improvements taking advantage of advances in information technologies and telecommunications to improve the quality of banking services. An analysis of the Cuban contextual framework is carried out, the applicable technologies are explored and an implementation methodology is proposed.

**KEY WORDS:** Digital transformation, banking, customer experience.

## 1. INTRODUCCIÓN

La transformación digital es un conjunto de acciones que las organizaciones o países toman para adoptar nuevas tecnologías digitales, enfocándose en tecnologías disruptivas. Esta investigación es relevante y puede contribuir al desarrollo de los servicios bancarios en Cuba. A continuación, se presentan varios ejemplos de aplicación de procesos de transformación digital en instituciones bancarias: En [1] se ofrece una visión general de cómo la transformación digital está cambiando el panorama competitivo del sector financiero explora cómo el alcance de esa integración está condicionado por la regulación, las normas de acceso a datos y la política de competencia. Por otro lado en [2] se analizan los desafíos y oportunidades de la transformación digital en el sector bancario, destacando la importancia de adaptarse a las nuevas demandas de los clientes. La digitalización de los bancos representa un desafío constante en la industria bancaria, impulsando la necesidad de adaptarse a innovaciones disruptivas.

El estudio cualitativo de [3] busca identificar los principales obstáculos percibidos en la transformación digital, analizando la perspectiva de la gestión en los sectores bancarios privado y comercial. Se destacan barreras relacionadas con la estrategia, la tecnología, la regulación, y la participación de empleados y clientes. Cada barrera principal incluye sub -barreras que afectan de manera diversa la transformación digital de los bancos.

En [4], publicado en *Journal of Banking and Finance*, se analiza cómo las instituciones bancarias a nivel mundial están adoptando tecnologías digitales. Se identifica que los bancos que han implementado soluciones digitales experimentan una mejora en la eficiencia operativa y en la satisfacción del cliente. Sin embargo, el estudio también resalta la resistencia al cambio dentro de las organizaciones y la importancia de la cultura organizacional en el éxito de estas iniciativas.

## 1. TECNOLOGÍAS APLICABLES AL SECTOR BANCARIO

Para lograr el cambio, las organizaciones necesitan una estrategia clara, una estructura organizativa adecuada, capacidades digitales, una cultura organizativa de apoyo y un sistema de gobernanza equilibrado. En [5] se analiza cómo la adopción de modelos innovadores, como redes sociales, big data, computación en la nube, internet de las cosas, inteligencia artificial, fin-tech, blockchain, realidad virtual y aumentada, ofrece a los bancos oportunidades para presentar nuevas ofertas valiosas al combinar sus servicios existentes con nuevas capacidades digitales.

La transformación digital en la banca implica la adopción de tecnologías como la banca móvil, la inteligencia artificial y el Blockchain. Estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia operativa, la experiencia del cliente y la seguridad de los servicios bancarios.

**Inteligencia artificial.**

La implementación de la Inteligencia Artificial en el sector bancario está impulsada por tecnologías como el aprendizaje automático, el procesamiento del lenguaje natural y las redes neuronales profundas. Estas herramientas permiten desarrollar soluciones innovadoras en áreas como la gestión de riesgos, donde modelos predictivos avanzados analizan grandes volúmenes de datos para identificar patrones de fraude y evaluar la solvencia crediticia. En el ámbito de la atención al cliente, los chatbots y los asistentes virtuales, potenciados por IA conversacional, ofrecen soporte personalizado y eficiente las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Además, la IA facilita la segmentación de clientes, permitiendo a las entidades financieras ofrecer productos y servicios altamente personalizados. La visión por computadora, por su parte, se aplica en la verificación de identidad y en la automatización de procesos como la lectura de cheques. Los resultados cualitativos que presenta [6] revelan que la IA es una herramienta esencial para la detección de fraudes y la prevención de riesgos. La ausencia de requisitos regulatorios, la privacidad y la seguridad de los datos, y la falta de habilidades relevantes e infraestructura de TI son desafíos importantes para la adopción de la IA.

La inteligencia artificial (IA) está desempeñando un papel fundamental en la transformación digital del sector bancario [7]. Estas son algunas áreas clave en las que la IA está teniendo un impacto significativo:

Experiencia del cliente: La IA mejora la experiencia del cliente al proporcionar servicios y recomendaciones personalizados. Por ejemplo, los chatbots y asistentes virtuales impulsados por IA pueden gestionar las consultas de los clientes las 24 horas del día, los 7 días de la semana, ofreciendo un soporte rápido y eficiente. La IA conversacional en la banca utiliza herramientas como chatbots y asistentes virtuales para permitir que los clientes interactúen con los bancos las 24 horas del día, los 7 días de la semana de manera persa pesaronalizada y eficiente, mejorando el servicio al cliente. Esta tecnología permite realizar consultas sencillas, como consultar el saldo de la cuenta, hasta otras más complejas, como recibir asesoramiento financiero sobre productos de inversión.

Detección y prevención de fraudes: Los algoritmos de IA pueden analizar grandes cantidades de datos de transacciones en tiempo real para detectar patrones inusuales y posibles fraudes. Esto ayuda a los bancos a prevenir actividades fraudulentas y proteger las cuentas de sus clientes [8].

Gestión de riesgos: La IA ayuda a evaluar y gestionar los riesgos mediante el análisis de datos históricos y la predicción de tendencias futuras. Esto permite a los bancos tomar decisiones informadas y mitigar los riesgos potenciales de manera más efectiva [9].

Eficiencia operativa: La IA automatiza las tareas rutinarias, como la entrada y el procesamiento de datos, lo que reduce los costes operativos y mejora la eficiencia. Esto permite a los empleados del banco centrarse en actividades más estratégicas.

Cumplimiento regulatorio: La IA ayuda a los bancos a cumplir con los requisitos regulatorios mediante el seguimiento de las transacciones y la garantía del cumplimiento de las normas legales. Esto reduce el riesgo de incumplimiento y las sanciones asociadas.

Marketing personalizado: La IA analiza los datos de los clientes para identificar preferencias y comportamientos, lo que permite a los bancos ofrecer productos y servicios a medida. Este enfoque específico aumenta la satisfacción y la lealtad del cliente[10].

**Fin-tech.**

Las fintech han democratizado el acceso a servicios financieros, ofreciendo productos y servicios personalizados a un costo menor. Por ejemplo, las neobancos han logrado captar una significativa porción del mercado al ofrecer cuentas corrientes sin comisiones y experiencias de usuario altamente intuitivas. Asimismo, plataformas de préstamos peer-to-peer han facilitado la conexión entre prestamistas y prestatarios, democratizando el acceso al crédito. Sin embargo, la integración de las fintech en el ecosistema bancario plantea desafíos como la regulación, la seguridad cibernética y la protección de datos personales. A pesar de estos retos, la colaboración entre bancos tradicionales y fintech se presenta como una oportunidad para acelerar la transformación digital y ofrecer una mejor experiencia al cliente.

En [11] se examina el impacto de las Fintech en los bancos. Al proporcionar nuevas puertas de entrada para el emprendimiento, las Fintech pueden facilitar el acceso a los servicios financieros, fomentando la competencia de nuevos actores. Para sobrevivir, los bancos tradicionales tendrán que reaccionar, enfrentarse a una creciente presión competitiva y adoptar nuevas estrategias.

**Blockchain**

La adopción de tecnología blockchain en el sector bancario, a pesar de su potencial disruptivo, enfrenta una serie de desafíos significativos. Entre los más destacados se encuentran la interoperabilidad entre diferentes plataformas blockchain, la escalabilidad para manejar grandes volúmenes de transacciones en tiempo real y la regulación, que aún se encuentra en desarrollo en muchos países. Además, la resistencia al cambio por parte de las instituciones financieras establecidas y la falta de estándares industriales dificultan la implementación a gran escala. En [12] se analizan los desafíos que enfrentan los bancos para adoptarla.

**Realidad virtual y realidad aumentada**

La realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) están revolucionando la experiencia del cliente en el sector bancario. Mediante la RA, los clientes pueden visualizar productos financieros complejos, como hipotecas o inversiones, de manera interactiva e inmersiva, facilitando la comprensión y la toma de decisiones. La RV, por su parte, permite a los bancos crear entornos virtuales de sucursales, donde los clientes pueden interactuar con asesores financieros de manera remota y realizar transacciones de forma segura. En [13] se describen los avances tecnológicos en RV y RA, destacando su potencial para crear experiencias de marketing inmersivas e interactivas. Luego, explora cómo se están aprovechando estas tecnologías en el sector financiero para mejorar el compromiso del cliente, la demostración de productos y la lealtad a la marca. Se destacan varios estudios de caso donde VR y AR han complementado con éxito los enfoques de marketing tradicionales, resultando en una mayor satisfacción y retención del cliente.

## 2. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL CONTEXTO BANCARIO CUBANO

La infraestructura tecnológica limitada, caracterizada por una conectividad inestable y un acceso desigual a dispositivos digitales, restringe considerablemente la adopción de soluciones innovadoras en el sector bancario cubano. Además, el marco regulatorio, aunque en evolución constante, aún presenta obstáculos que dificultan la plena implementación de tecnologías disruptivas. Los hábitos de los usuarios, acostumbrados a sistemas tradicionales y con niveles variables de alfabetización digital, subrayan la necesidad de desarrollar estrategias de educación y capacitación específicas para promover la adopción de

nuevas tecnologías. A pesar de los desafíos, la transformación digital tiene un potencial significativo, impulsada por la creciente conectividad de la población cubana —con una penetración móvil superior al 80%— y la urgente necesidad de modernizar los servicios financieros. Estas condiciones generan un terreno fértil para la experimentación y la innovación en el ámbito de la transformación digital bancaria.

La combinación de una población joven y cada vez más conectada con la necesidad de modernizar los servicios financieros crea un entorno propicio para la adopción de soluciones tecnológicas disruptivas. Aunque la infraestructura tecnológica y el marco regulatorio plantean retos importantes, estos pueden ser abordados mediante alianzas estratégicas con actores internacionales y la implementación de políticas públicas que promuevan la innovación. Las particularidades del mercado cubano, como la alta penetración de teléfonos móviles y el uso de plataformas de pago digitales informales, representan oportunidades únicas para desarrollar soluciones financieras inclusivas. En este sentido, la transformación digital del sector bancario cubano enfrenta un panorama complejo, en el que convergen factores internos y externos que limitan la velocidad y el alcance de la modernización digital. No obstante, las oportunidades son igualmente considerables.

Por último, la **transformación digital** en el sector bancario cubano puede tener un impacto significativo en la **inclusión financiera** y, en última instancia, en la **calidad de vida** de la población. A continuación, se detallan los principales desafíos y oportunidades que enmarcan este proceso.

**Desafíos**

1. **Infraestructura tecnológica insuficiente** La infraestructura tecnológica en Cuba, aunque en desarrollo, todavía enfrenta limitaciones significativas. Los servicios de Internet, tanto móviles como fijos, no cuentan con la velocidad y estabilidad necesarias para soportar transacciones bancarias masivas en tiempo real. Además, el costo del acceso a Internet para los usuarios sigue siendo elevado, lo que restringe la adopción de los servicios digitales por parte de una porción considerable de la población.

2. **Desactualización de los sistemas bancarios** Los sistemas bancarios actuales en Cuba se encuentran en muchos casos desactualizados o dependen de tecnologías obsoletas. Los bancos cubanos no siempre cuentan con sistemas modernos de gestión que permitan una integración efectiva con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), lo que impacta en la eficiencia de las operaciones y la experiencia del usuario.

3. **Baja adopción de servicios de pago electrónico** Si bien el país ha avanzado en la implementación de plataformas de pago electrónico como Transfermóvil y EnZona (véase la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la penetración de estas herramientas no es homogénea en la sociedad. La falta de educación digital, el acceso limitado a dispositivos móviles inteligentes, y la desconfianza hacia los sistemas electrónicos aún son barreras que deben superarse.

4. **Entorno regulatorio y político** Las restricciones impuestas por el bloqueo económico de Estados Unidos afectan directamente el acceso a tecnologías avanzadas y a plataformas bancarias globales. Esto limita el acceso del sistema financiero cubano a innovaciones tecnológicas que podrían potenciar la transformación digital. Además, la existencia de regulaciones internas estrictas y procesos burocráticos prolongados retrasa la implementación de soluciones tecnológicas ágiles y efectivas.

5. **Cultura organizacional y resistencia al cambio** Un aspecto clave que enfrenta la transformación digital es la resistencia al cambio dentro de las instituciones bancarias. Las estructuras organizacionales tradicionales suelen mostrar una falta de flexibilidad frente a los nuevos modelos operativos digitales. La capacitación del personal en competencias tecnológicas también resulta insuficiente, lo que ralentiza el proceso de transformación.

**Oportunidades**

1. **Aumento de la penetración de Internet y la telefonía móvil** A pesar de las limitaciones actuales, el crecimiento sostenido en la penetración de Internet (véase la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y la telefonía móvil abre una ventana de oportunidades para el desarrollo del sector bancario digital. Según datos recientes, alrededor del 68% de la población cubana tiene acceso a Internet (ONEI, 2023), lo que permite proyectar un crecimiento en la utilización de servicios bancarios electrónicos, especialmente con la expansión de las redes móviles 4G y el incipiente desarrollo de 5G en el país.

   El incremento de la penetración de Internet en Cuba ha sido significativo desde 2015, alcanzando en 2023 un estimado del 72,7% de la población. Este aumento, especialmente impulsado por la adopción masiva de la conectividad móvil y el acceso a redes 4G, ofrece una base sólida para la expansión de los servicios bancarios digitales. A medida que más cubanos acceden a Internet, se crea un entorno favorable para la adopción de servicios electrónicos, como pagos móviles, banca en línea y otras innovaciones financieras que pueden mejorar la inclusión financiera y la eficiencia del sector bancario.

   Esta tabla visualiza cómo el crecimiento sostenido en la penetración de Internet refuerza el argumento de que existe un potencial significativo para que los bancos cubanos incrementen la adopción de servicios digitales, siempre que se superen otras barreras, como la infraestructura tecnológica y la educación digital.

Tabla 1 Crecimiento de la Penetración de Internet en Cuba (2015-2023)

| Año | Población Total (millones) | Usuarios de Internet (millones) | Penetración (%) | Incremento Anual (%) |
|---|---|---|---|---|
| **2015** | 11,38 | 3,45 | 30,3% | - |
| **2016** | 11,38 | 4,09 | 35,9% | +5,6 |
| **2017** | 11,34 | 4,98 | 43,9% | +8,0 |
| **2018** | 11,32 | 5,85 | 51,7% | +7,8 |
| **2019** | 11,33 | 6,42 | 56,7% | +5,0 |
| **2020** | 11,32 | 7,12 | 62,9% | +6,2 |
| **2021** | 11,31 | 7,70 | 68,1% | +5,2 |
| **2022** | 11,30 | 7,95 | 70,4% | +2,3 |
| **2023*** | 11,29 | 8,20 | 72,7% | +2,3 |

*Datos estimados para 2023.**Fuente:** Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

2. **Potencial de las plataformas locales de pago electrónico** La consolidación de Transfermóvil y EnZona como plataformas de pago electrónicas nacionales representa una oportunidad para el sistema bancario cubano de aumentar la inclusión financiera y reducir el uso del efectivo, mejorando la seguridad y eficiencia de las transacciones. El número de usuarios de Transfermóvil superó los 3 millones en 2023, lo que indica un amplio potencial de crecimiento si se superan las barreras de acceso y confianza. No obstante aun existe una brecha digital entre algunos segmentos de la población y grupos etarios como se muestra en la Tabla 2.

La distribución del uso de **Transfermóvil** y **EnZona** muestra varias tendencias clave:

1. **Brecha urbano-rural:**
   - La penetración de **Transfermóvil** es ligeramente mayor en zonas urbanas (68,4%) que en las rurales (31,6%). Esto refleja la mejor conectividad y acceso a dispositivos móviles en las ciudades.

- **EnZona**, aunque también tiene un mayor uso en zonas urbanas (65,2%), presenta una distribución un poco más equitativa entre áreas rurales y urbanas en comparación con Transfermóvil, lo que sugiere una mayor aceptación en regiones menos urbanizadas.

1.

Tabla 2 Distribución del Uso de Transfermóvil y EnZona por Segmento de la Población (Urbano/Rural, por Edades)

| Segmento de la Población | Transfermóvil (%) | EnZona (%) |
|---|---|---|
| Ubicación Geográfica | | |
| **Urbano** | 68,4 | 65,2 |
| **Rural** | 31,6 | 34,8 |
| Grupos de Edad | | |
| **18-24 años** | 12,7 | 17,3 |
| **25-34 años** | 24,6 | 28,9 |
| **35-44 años** | 28,2 | 24,5 |
| **45-54 años** | 20,9 | 17,6 |
| **55-64 años** | 9,6 | 8,7 |
| **65 años o más** | 4,0 | 3,0 |

***Fuente:*** *Datos de estimaciones de uso basadas en reportes del Banco Central de Cuba y estudios de adopción de tecnologías en el país.*

2. **Distribución por edades:**
   - **Transfermóvil** tiene su mayor adopción entre las personas de 35 a 44 años (28,2%), lo que puede estar relacionado con el uso frecuente de los servicios financieros y pagos electrónicos en este grupo etario, que coincide con las edades productivas.
   - **EnZona** muestra una mayor adopción entre los jóvenes de 25 a 34 años (28,9%) y 18 a 24 años (17,3%). Este segmento joven tiende a estar más familiarizado con tecnologías digitales y pagos a través de dispositivos móviles.
   - Ambos servicios muestran una baja penetración entre los mayores de 55 años, lo que sugiere la necesidad de políticas de inclusión digital dirigidas a este grupo.

Como implicaciones, la tabla evidencia una diferencia en la adopción de servicios bancarios digitales entre las áreas urbanas y rurales, y una mayor utilización por los segmentos jóvenes de la población. Estos datos son importantes para diseñar estrategias que promuevan la adopción digital en las zonas rurales y entre los adultos mayores, quienes presentan las mayores barreras para el uso de tecnologías financieras. Si se superan estas brechas mediante políticas de educación digital y expansión de la infraestructura, los servicios bancarios digitales en Cuba podrán contribuir significativamente a la inclusión financiera en todo el país.

3. **Desarrollo de fintechs y emprendimientos tecnológicos** El contexto cubano, con sus restricciones financieras y comerciales, puede convertirse en un terreno fértil para el desarrollo de soluciones fintech locales que se adapten a las necesidades específicas del país. Iniciativas orientadas a la innovación financiera podrían generar nuevas oportunidades de negocio y modernización para el sector bancario, especialmente si se promueve una colaboración más estrecha entre el Estado, el sector privado y las instituciones académicas.
4. **Modernización de la infraestructura bancaria** La inversión en la modernización de la infraestructura bancaria, en términos de hardware, software y capacitación de recursos humanos, representa una oportunidad clave para el avance del sistema financiero cubano. El desarrollo de infraestructuras de datos seguras y la integración con tecnologías emergentes como el blockchain y la inteligencia artificial podrían permitir una mayor automatización y personalización de los servicios.
5. **Impulso gubernamental a la digitalización** El gobierno cubano ha mostrado interés en fomentar la digitalización en diversas áreas económicas, y el sector bancario no es la excepción. El Programa

Nacional de Informatización de la Sociedad, implementado por el Ministerio de Comunicaciones, tiene como uno de sus objetivos principales la digitalización de los servicios financieros. Este respaldo institucional puede ser un motor clave para acelerar el proceso de transformación digital, siempre y cuando se logren sortear las barreras tecnológicas y financieras actuales.

## 3. VIABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL CONTEXTO CUBANO.

La transformación digital en el sector bancario cubano enfrenta desafíos particulares relacionados con la infraestructura, el acceso a tecnologías avanzadas y las restricciones regulatorias. No obstante, el entorno también ofrece oportunidades significativas que, si se aprovechan adecuadamente, pueden posicionar al sistema bancario como un actor clave en la digitalización del país. A continuación, se analiza la viabilidad de cada una de las tecnologías propuestas en el epígrafe anterior, tomando en cuenta experiencias de países con economías de desarrollo similar.

### Inteligencia Artificial (IA)

La inteligencia artificial (IA) tiene un potencial significativo en la mejora de la eficiencia operativa y la atención al cliente en el sector bancario cubano. La aplicación de chatbots, asistentes virtuales y sistemas de detección de fraudes basados en IA puede optimizar procesos, reducir tiempos de espera y mejorar la experiencia del cliente. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías enfrenta varios desafíos en el contexto cubano:

1. **Infraestructura limitada:** La IA requiere de grandes capacidades de procesamiento y almacenamiento de datos, lo que puede verse afectado por la infraestructura tecnológica obsoleta de los bancos cubanos. La limitada capacidad de servidores locales y la conectividad inestable hacen que la adopción de sistemas avanzados de IA sea compleja en el corto plazo.
2. **Falta de expertos en IA:** La formación de personal especializado en IA es aún incipiente en el país, lo que representa una barrera para la implementación de esta tecnología. Aunque las universidades cubanas están haciendo esfuerzos en la formación en TIC, la experiencia práctica en IA todavía es limitada.

Países como Vietnam y Bangladesh, con economías en desarrollo, han implementado soluciones de IA a nivel bancario de manera gradual, priorizando áreas de atención al cliente como chatbots y asistentes virtuales antes de expandir el uso de IA a procesos más complejos como la detección de fraudes. En Cuba, este enfoque gradual sería viable, comenzando por la implementación de IA en servicios más accesibles como la atención al cliente, para luego expandir su uso en áreas más críticas.

### Fintech

Las fintech ofrecen soluciones innovadoras que pueden mejorar la inclusión financiera y democratizar el acceso a servicios bancarios. En el contexto cubano, donde la adopción de plataformas de pago como Transfermóvil y EnZona ha sido positiva, las fintech podrían ser un catalizador para la modernización del sistema bancario. Sin embargo, la viabilidad de las fintech en Cuba está sujeta a las siguientes consideraciones:

1. **Restricciones regulatorias:** El marco regulatorio cubano, aunque en evolución, presenta barreras para el crecimiento de fintechs. Las estrictas regulaciones en cuanto a la seguridad cibernética y la protección de datos, así como la limitada conectividad a redes internacionales, dificultan la integración de soluciones fintech extranjeras.
2. **Falta de infraestructura digital:** Aunque Transfermóvil y EnZona han tenido éxito, el acceso desigual a dispositivos móviles y a Internet sigue siendo un obstáculo para la expansión de fintechs en zonas rurales y entre los grupos más vulnerables.

En países como Kenia, donde el acceso a servicios bancarios es limitado, las fintech han jugado un papel clave en la inclusión financiera. Servicios como M-Pesa han facilitado transacciones entre personas sin acceso a bancos tradicionales. En Cuba, las fintech locales tienen el potencial de ofrecer soluciones similares, adaptadas a las particularidades del sistema financiero cubano.

**Blockchain**

Blockchain, como tecnología subyacente de criptomonedas y contratos inteligentes, podría mejorar la transparencia y seguridad en las transacciones bancarias. Sin embargo, la adopción de blockchain en Cuba enfrenta importantes desafíos:

1. **Interoperabilidad y escalabilidad:** La integración de blockchain con los sistemas actuales del sector bancario cubano es compleja debido a la falta de interoperabilidad entre plataformas. Además, la capacidad de manejo de grandes volúmenes de transacciones en tiempo real es limitada.
2. **Regulación restrictiva:** El uso de criptomonedas y blockchain en Cuba está restringido por las regulaciones internacionales y por la desconfianza hacia estas tecnologías, debido al temor a su mal uso en actividades ilícitas.

Países como Argentina y Brasil han explorado el uso de blockchain en sectores financieros para aumentar la seguridad y eficiencia de las transacciones. Sin embargo, en Cuba, la adopción de esta tecnología a gran escala requeriría no solo un cambio en la infraestructura tecnológica, sino también en el marco regulatorio.

**Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV)**

Las tecnologías de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) pueden mejorar la experiencia del cliente, permitiendo a los usuarios interactuar con productos financieros de manera más intuitiva. En el contexto cubano, estas tecnologías podrían ayudar a reducir la afluencia física a las agencias bancarias, al ofrecer servicios de asesoramiento y demostración de productos de forma virtual. Sin embargo, existen barreras clave para su adopción:

1. **Costo de implementación:** Las soluciones de RA y RV requieren dispositivos específicos y redes de alta capacidad, lo que representa un costo significativo para los bancos y los usuarios.
2. **Falta de educación digital:** La alfabetización digital de los usuarios es fundamental para la adopción de estas tecnologías. En Cuba, donde una parte considerable de la población aún no tiene acceso a dispositivos inteligentes, la implementación de RA y RV podría estar limitada a un segmento pequeño de la población.

Países en desarrollo como India han comenzado a implementar RA y RV en sectores financieros de manera experimental, con éxito en áreas urbanas. En Cuba, estas tecnologías podrían implementarse inicialmente en centros bancarios de grandes ciudades, como La Habana y Santiago de Cuba, antes de expandirse a otras regiones.

## 4. RESULTADOS

La viabilidad de la aplicación de estas tecnologías en el contexto cubano varía significativamente según la complejidad tecnológica, la infraestructura disponible y el marco regulatorio. En la Tabla 3 se presenta un resumen de la viabilidad de estas tecnologías y los plazos temporales para hacerlo.

La inteligencia artificial y las fintech parecen ser las tecnologías más viables en una fase inicial, mientras que blockchain, RA y RV enfrentan mayores barreras para su adopción a corto plazo. Sin embargo, con un enfoque escalonado y una mejora continua en la infraestructura, el sector bancario cubano podría beneficiarse considerablemente de estas innovaciones.

El análisis de la Tabla 3 conduce a las siguientes valoraciones sobre los plazos de aplicación recomendables paca cada tecnología:

- Corto plazo: Las tecnologías con mayor viabilidad en el corto plazo son la Inteligencia Artificial en soluciones básicas y la Computación en la Nube para la migración de sistemas operativos. La Fintech tiene un potencial inicial, pero limitado a herramientas básicas de pagos electrónicos.

Tabla 3 Viabilidad de Tecnologías en el Sector Bancario Cubano

| Tecnología | Corto plazo | Mediano plazo | Largo plazo |
|---|---|---|---|
| Inteligencia Artificial (IA) | Alta viabilidad en atención al cliente (chatbots, asistentes virtuales) | Expansión a detección de fraudes y gestión de riesgos | IA avanzada para personalización de servicios y análisis predictivo |
| Fintech | Viabilidad moderada en soluciones básicas (pagos electrónicos, inclusión financiera) | Crecimiento con mayor integración de plataformas y colaboración con bancos | Expansión de fintechs locales y plataformas complejas de financiamiento |
| Blockchain | Baja viabilidad debido a barreras regulatorias y falta de infraestructura | Moderada viabilidad en soluciones específicas como verificación de identidad y contratos inteligentes | Alta viabilidad con interoperabilidad y adopción en sistemas de transacciones |
| Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) | Baja viabilidad por altos costos y baja penetración tecnológica | Viabilidad moderada en grandes centros urbanos con soluciones limitadas | Alta viabilidad para servicios inmersivos a distancia y asesoría financiera |
| Computación en la Nube | Alta viabilidad para migración de datos y mejora operativa | Expansión a servicios bancarios basados en la nube (banca en línea y datos compartidos) | Alta viabilidad con infraestructuras más robustas y almacenamiento avanzado |

- Mediano plazo: En este horizonte, tecnologías como Fintech y Blockchain podrían integrarse mejor en el sistema bancario si se flexibilizan las regulaciones y se mejoran las infraestructuras. También la Realidad Aumentada y Virtual pueden comenzar a aplicarse en ciudades con mayor conectividad.
- Largo plazo: En el futuro, se prevé una adopción más amplia de tecnologías como Blockchain y Realidad Aumentada/Virtual, siempre que se resuelvan las barreras actuales de infraestructura y regulación. Asimismo, la inteligencia artificial podría alcanzar su máximo potencial en la personalización de servicios.

Se recomienda una Implementación escalonada de tecnología bancaria en zonas urbanas y rurales. En Cuba la estrategia puede enfocarse en fortalecer la infraestructura en ciudades como La Habana y Santiago de Cuba, donde la penetración de teléfonos móviles y el acceso a Internet son más elevados. Además de ello Invertir en redes 4G en áreas urbanas para soportar tecnologías bancarias avanzadas y, una vez consolidadas, extender la infraestructura a las zonas rurales con soluciones más ligeras, como servicios bancarios basados en SMS.

Otras recomendaciones son: desarrollar aplicaciones bancarias móviles optimizadas para uso offline o con acceso limitado a Internet, y aprovechar tecnologías como USSD **y** Transfermóvil para extender servicios financieros sin requerir conexiones de alta velocidad o smartphones de última generación. Deben ser consideradas también las alianzas estratégicas con empresas tecnológicas, una flexibilización y adaptación del marco regulatorio, los programas de inclusión financiera y alfabetización digital, el fomento de la innovación fintech local y la expansión de la red 4G y preparación para 5G.

## 5. CONCLUSIONES

La transformación digital es esencial para mejorar la competitividad de las agencias bancarias cubanas y satisfacer las necesidades de los clientes en la era digital. Se recomendará la implementación gradual de las

tecnologías identificadas, acompañada de programas de capacitación para los empleados y campañas de comunicación para los clientes.

- El contexto cubano presenta desafíos únicos para la transformación digital en el sector bancario. En Cuba, el sector bancario enfrenta desafíos como largas colas, baja aceptación de portales bancarios y la necesidad de llegar a una mayor parte de la población. La transformación digital ofrece una oportunidad para abordar estos problemas y mejorar la calidad de los servicios bancarios. La IA es viable si se aborda de manera escalonada, comenzando con soluciones básicas que no requieran una infraestructura de alta demanda y capacitando al personal en su uso.
- Las fintech tienen un potencial considerable en el contexto cubano, siempre y cuando se trabaje en la flexibilización del marco regulatorio y en la mejora de la infraestructura digital.
- Aunque el blockchain ofrece oportunidades interesantes, su viabilidad en el corto plazo es limitada por la infraestructura y la regulación. A largo plazo, podría explorarse su implementación en áreas específicas como la verificación de identidades y contratos inteligentes.
- La viabilidad de la RA y RV en el contexto cubano es limitada en el corto plazo debido a los altos costos y la baja penetración de dispositivos adecuados. Podrían ser viables en etapas más avanzadas de la transformación digital.

**REFERENCIAS**

1. "Transformación digital y competencia en el sector financiero | BBVA Research." Accessed: Sep. 27, 2024. [Online]. Available: https://www.bbvaresearch.com/publicaciones/transformacion-digital-y-competencia-en-el-sector-financiero/
2. "La Transformación Digital en el sector bancario: el gran desafío." Accessed: Sep. 27, 2024. [Online]. Available: https://bysidecar.com/es/trends/la-transformacion-digital-en-el-sector-bancario-el-gran-desafio
3. DIENER, F. and ŠPAČEK, M. "Digital Transformation in Banking: A Managerial Perspective on Barriers to Change," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, Art. no. 4, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042032.
4. SMITH, J. and LIU, K., "Digital Banking Transformation: A Global Perspective," *Journal of Banking and Finance*, vol. 54, 2022, doi: DOI: 10.1016/j.jbankfin.202.
5. NAIMI-SADIGH, A.; ASGARI, T., and RABIEI, M., "Digital Transformation in the Value Chain Disruption of Banking Services," *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 13, no. 2, Art. no. 2, Mar. 2021, doi: 10.1007/s13132-021-00759-0.
6. RAHMAN, M.; MING, T. H.; BAIGH, T. A., and SARKER, M., "Adoption of artificial intelligence in banking services: an empirical analysis," *International Journal of Emerging Markets*, vol. 18, no. 10, pp. 4270–4300, Jan. 2023, doi: 10.1108/IJOEM-06-2020-0724.
7. KAYA, O.; SCHILDBACH, J., D. B. AG, and SCHNEIDER, S., "Artificial intelligence in banking," *Artificial intelligence*, 2019.
8. MORENO, J. C. *et al.*, "Soluciones Tecnológicas para la Prevención de Fraude y diseño de un Modelo de Prevención del Riesgo Transaccional para el Botón de Pago," *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, no. 26, pp. 36–42, Dec. 2019, doi: 10.31908/19098367.1154.
9. SOTAMBA CAMAS, D. A., "Integración de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos del sector bancario," 2024, Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/17401
10. "(PDF) Tecnologías en la inteligencia artificial para el Marketing: una revisión de la literatura | Andrés Giovanni Martínez Ortega - Academia.edu." Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/81640221/Tecnolog%C3%ADas_en_la_inteligencia_artificial_para_el_Marketing_una_revisi%C3%B3n_de_la_literatura
11. NAVARETTI, G. B.; CALZOLARI, G.; MANSILLA-FERNANDEZ, J. M. and POZZOLO, A. F., "Fintech and Banking. Friends or Foes?," *Rochester, NY*: 3099337. Accessed: Sep. 27, 2024. [Online]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3099337

12. SHARMA, A.; SHARMA, D. and BANSAL, R., "Emerging Role of Blockchain in Banking Operations: An Overview," in *Contemporary Studies of Risks in Emerging Technology, Part A*, S. Grima, K. Sood, and E. Özen, Eds., Emerald Publishing Limited, 2023, pp. 1–12. doi: 10.1108/978-1-80455-562-020231001.
13. "THE ROLE OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN MODERN MARKETING: A CRITICAL REVIEW," *Computer Science & IT Research Journal*, vol. 4, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2023, doi: 10.51594/csitrj.v4i3.660.

**Sobre los autores**

Profesor Titular del Departamento de Telecomunicaciones de la Universidad de Oriente, Doctor en Telecomunicaciones por la Universidad de Valladolid, España, y Doctor en Ciencias Técnicas por Cuba. Miembro del Consejo de Grados científicos y del tribunal nacional de Telecomunicaciones y Electrónica.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE ORIENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA ANTENA PARABÓLICA DESTINADA A LA RECEPCIÓN SATELITAL

**Patricia Marín González[1], Roger Ernesto García Frómeta[2]**

[12] Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, 114 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao.
[1]pamg1406@gmail.com
[2]losafernandez6@gmail.com

**RESUMEN**

En la actualidad, las comunicaciones satelitales están presentes en diferentes esferas de la vida, debido a los beneficios y facilidades que brindan comparado con otras tecnologías. Para las estaciones que se encuentran en la Tierra, es crucial mantener una comunicación estable con el satélite y garantizar en todo momento los mejores niveles de recepción de la señal. Las antenas destinadas a este tipo de comunicaciones poseen sistemas mecánicos para su posicionamiento, lo que dificulta su ajuste cuando los enlaces se ven afectados por derivas que describen los satélites en sus trayectorias, corrimientos mecánicos de la antena (efectos de viento y peso) y efectos de la propagación atmosférica en altas frecuencias. En el presente trabajo se realiza una propuesta de diseño de software basada en Radio Definida por Software (SDR) que permite automatizar el sistema de posicionamiento de una antena parabólica Cassegrain (12 metros) destinada a la recepción satelital. El análisis nos lleva al empleo de un sistema SDR basado en el Framework GNU Radio, se utiliza el USRP N210 como equipo receptor y como elemento de control del sistema automatizado se emplea una Raspberry Pi 3.

**PALABRAS CLAVES:** comunicación satelital, Radio Definida por Software, sistema automatizado, GNU Radio, Raspberry Pi 3.

# DESIGN OF AN AUTOMATIC ORIENTATION SYSTEM FOR A PARABOLIC ANTENNA INTENDED FOR SATELLITE RECEPTION

**ABSTRACT**

Currently, satellite communications are present in various spheres of life, due to the benefits and conveniences they offer compared to other technologies. For the stations located on Earth, it is crucial to maintain stable communication with the satellite and ensure the best signal reception levels at all times. The antennas designed for this type of communication have mechanical systems for positioning, which complicates their adjustment when links are affected by drifts that satellites describe in their trajectories, mechanical shifts of the antenna (effects of wind and weight), and atmospheric propagation effects at high frequencies. This paper presents a software design proposal based on Software Defined Radio (SDR) that automates the positioning system of a Cassegrain parabolic antenna (12 meters) intended for satellite reception. The analysis leads us to employ an SDR system based on the GNU Radio framework, using the USRP N210 as the receiving equipment, while the Raspberry Pi 3 is selected as the control element of the automated system.

**KEY WORDS:** satellite communication, Software Defined Radio (SDR), automated system, GNU Radio, Raspberry Pi 3.

## 1. INTRODUCCIÓN

La historia de las telecomunicaciones ha sido un viaje veloz marcado por innovaciones disruptivas que han transformado la forma en que nos comunicamos. Desde el telégrafo hasta la fibra óptica, cada avance ha superado las barreras de la distancia, creando un mundo donde la información fluye sin límites. Las

comunicaciones satelitales, con su capacidad de conectar lugares remotos, destacan por su uso de antenas de alta ganancia para transmitir señales a través de grandes distancias. Estas antenas, especialmente las de gran tamaño, requieren sistemas de posicionamiento motorizados para orientarse hacia los satélites, asegurando la mejor recepción posible [1]. La necesidad de optimizar el funcionamiento de estos sistemas ha impulsado el desarrollo de soluciones automatizadas, combinando hardware y software [2] para garantizar un posicionamiento preciso de la antena. A pesar de los avances tecnológicos, la búsqueda de soluciones para optimizar estos sistemas y resolver los desafíos que surgen en la práctica sigue siendo una tarea constante.

## 2. POSICIONAMIENTO DE LAS ANTENAS SATELITALES

Para poder orientar una antena es necesario tener un montaje que permita realizar movimientos del reflector. Existen tres tipos de montajes que puede tener una antena: X-Y, Ecuatorial o Polar y Azimut-Elevación.

El montaje X-Y se emplea para antenas de tamaño medio (10 a 13 m), donde el eje más bajo (x) es paralelo al suelo y el eje más alto (y), se encuentra en un plano vertical perpendicular al x. La posición del eje y en el plano vertical depende de la rotación sobre el eje x. Éste es el montaje más simple que existe, pero la cobertura es muy limitada, siendo capaz de proveer una cobertura sobre los 90º en el eje x en algunos casos y solamente ± 5º en el eje y [3].

El montaje Polar se utiliza cuando se requiere recibir la señal de varios satélites. Permite de forma automática (con un motor) recorrer los satélites en órbita geoestacionarias con la rotación de un sólo eje polar. Su ajuste es más delicado, complicado y resulta más caro. Para la orientación se debe enfocar la antena hacia el polo Sur (estando en el hemisferio Norte) y se eleva un número de grados igual a la latitud del lugar de recepción, luego, se ajusta el ángulo de declinación para encontrar la órbita geoestacionaria [3].

El montaje Azimut-Elevación permite orientar las antenas ajustando dos ángulos: azimut, en el plano horizontal y elevación, en el plano vertical. Los valores de estos ángulos dependerán de la posición geográfica del satélite en altitud y longitud. Este tipo de posicionamiento es el más utilizado a nivel mundial [4, 5].

## 3. SISTEMAS AUTOMATIZADOS PARA ANTENAS SATELITALES

Diversos tipos de antenas son utilizadas en las estaciones de comunicaciones satelitales, y sus características dependen de la aplicación y la banda de frecuencia en que se emplean. Las antenas y su sistema de comunicación se encuentran ubicados sobre pedestales, generalmente compuestos por dos ejes ortogonales móviles, con un diseño mecánico que permiten orientar el haz de la antena en la dirección de los satélites, posibilitando la rotación azimutal y el movimiento en elevación [5, 6]. Por sus dimensiones y el elevado peso de las antenas, estos sistemas están motorizados para facilitar su movimiento.

Los sistemas automatizados para antenas son necesarios ya que las derivas que describen los satélites en sus trayectorias [5, 6] , los posibles corrimientos mecánicos de la antena provocados por efectos de viento y peso, y los efectos de la propagación atmosférica a altas frecuencias, debilitan las comunicaciones con los satélites y no se alcanzan los niveles óptimos de recepción. Estos sistemas facilitan el trabajo de los operadores y en muchos casos su objetivo está dirigido a estaciones que necesitan ser controladas de manera remota o que realizan seguimientos de satélites [7, 8].

Estos sistemas automatizados están compuestos por varios elementos de software y hardware que garantizan su óptimo funcionamiento.

**Elementos de hardware**

Los sistemas automatizados para antenas parabólicas están compuestos por los siguientes elementos de hardware: motores, sensores y elemento de control [5, 9].

Los motores eléctricos son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas [1, 5].

Las acciones detectadas, conocidas como variables de instrumentación, son convertidas por el sensor en magnitudes eléctricas para su análisis en el elemento de control, que toma decisiones basadas en estos valores. En sistemas automatizados de antenas [9, 10], se utilizan sensores para medir los ángulos de azimut y elevación, proporcionando información sobre la posición actual de la antena y permitiendo ajustes precisos. Además, el sensor de fin de carrera indica cuando un elemento móvil ha alcanzado el final de su recorrido.

El elemento de control es el núcleo de todo el sistema automatizado [5, 6], recopila y procesa toda la información que toma de sus entradas ya sea de los sensores u otro elemento externo y esto junto a posibles datos almacenados y algoritmos de cálculo implementados, le permite tomar las decisiones pertinentes que se convierten en acciones ejecutadas por los *hardware* de salida.

**Elementos de software**

Si bien es fundamental el papel que juegan los elementos de hardware en la conformación de los sistemas automatizados, no menos importante es el que desempeñan los elementos de software, pues el elemento de control del sistema por sí solo, no es capaz de interpretar la información de sus entradas [11] y a partir de ello tomar las decisiones correctas.

Los elementos de software también permiten establecer una interfaz de trabajo que le facilite a los operadores del sistema toda la información necesaria del estado actual de los procesos [12] mediante una pantalla donde se visualicen los datos que está procesando el elemento de control, por ejemplo, la posición de la antena según los ángulos de azimut y elevación, además de modificar la posición de manera manual o detener el proceso.

Para el análisis y procesamiento de señales mediante software se pueden utilizar sistemas de SDR [2] ya que estos son una tecnología empleada en las radiocomunicaciones donde los componentes típicamente implementado en *hardware*, ahora son implementados en *software*. En la actualidad estos sistemas han demostrado ser de gran ayuda para el desarrollo de sistemas de comunicaciones con igual o mejor desempeño que los tradicionales por hardware [13, 14].

## 4. DISEÑO DEL SISTEMA SDR

El sistema SDR diseñado consta de tres etapas: la recepción de la señal mediante la plataforma USRP N210, el análisis y procesamiento de la señal mediante bloques desarrollados en GNU Radio y por último la comunicación vía *ethernet* con la Raspberry Pi 3, la cual tiene la particularidad de ser el vínculo entre el sistema SDR implementado y los *hardware* de salida encargados de ejecutar los movimientos de corrección de la posición de la antena.

**Bloques de análisis de la potencia de la señal**

El diagrama de bloques creado (figura 1) es la pieza clave que da vida a este diseño, pues en él están presentes los elementos que enlazan cada una de las etapas.

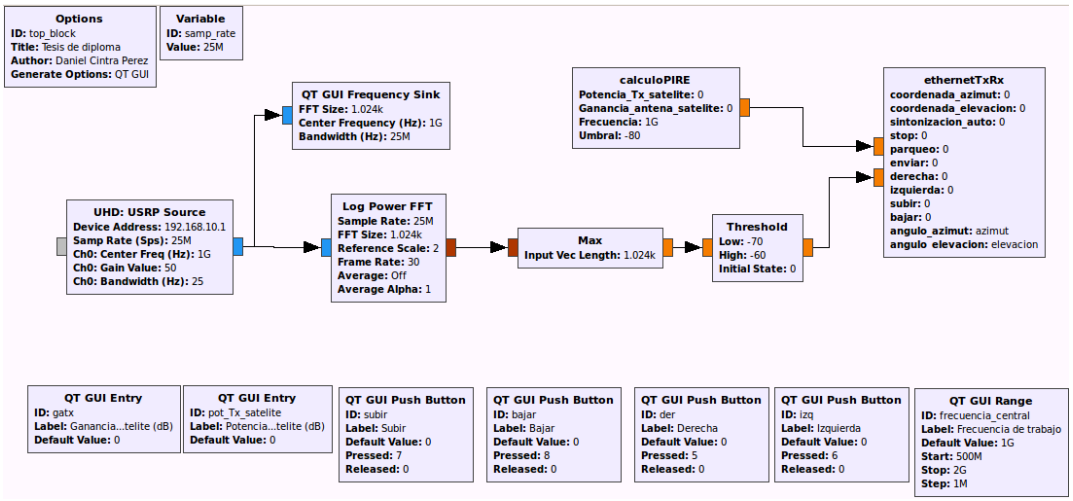



Figura 1. Diagrama de bloques desarrollados en GNU Radio.

Una de las tareas principales del *software* desarrollado en GNU Radio es el análisis de la potencia de la señal recibida para posteriormente decidir si es necesario corregir la orientación de la antena. Para ello, primero se debe obtener el valor de la potencia de la señal y luego compararlo con un valor umbral establecido que permitirá conocer cuándo la señal recibida deja de tener los niveles óptimos. El segmento del diagrama de flujo encargado de realizar esta importante tarea está formado por los bloques *Log Power FFT*, *Max* y *Threshold*.

En el bloque *Log Power FFT* se aplica, primeramente, la Transformada Rápida de Fourier (FFT según las siglas del término en inglés *Fast Fourier Transform*) para llevar la señal desde el dominio del tiempo al de la frecuencia. Luego se calcula la magnitud de los vectores y este valor se eleva al cuadrado lo que permite obtener la densidad espectral de potencia de la señal en dB.

El bloque *Max* permite obtener el valor máximo de un flujo de vectores, por lo que brinda el valor numérico máximo de la potencia de la señal para compararlo y determinar si el nivel de la señal es óptimo.

El bloque *Threshold* compara constantemente la señal que se encuentra en su entrada con dos valores de umbral previamente definidos, uno máximo y uno mínimo. Si la señal excede el valor máximo cambia su salida a 1 y si la señal desciende por debajo del valor mínimo cambia su salida a 0.

**Bloque de balance energético**

El bloque *calculoPIRE* es uno de los bloques desarrollados que permite conocer si es posible sintonizar el satélite en cuestión. Si se pretende sintonizar un satélite de forma automática que por sus características es imposible de alcanzar con la antena, se necesita un elemento que establezca una condición limitante y habilite el sistema de posicionamiento automático, en el caso que sea posible la recepción de la señal, de ahí la importancia de este bloque.

Si se tienen en cuenta los parámetros de la antena, el sistema de recepción y los datos específicos del satélite tales como: su potencia de transmisión, ganancia de la antena transmisora, frecuencia de trabajo, las pérdidas en sus terminales y las pérdidas totales en el trayecto; se puede obtener el valor de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). Con este dato es posible conocer la potencia con la que llega la señal a la antena y a los equipos finales de recepción, este último valor se compara con el umbral que necesitan los receptores para su funcionamiento y se está en condiciones de asumir si es posible o no establecer un enlace con el satélite en cuestión. Es importante señalar que el valor obtenido no necesariamente es la potencia efectiva recibida, sino es una estimación para conocer si existe la posibilidad

de recibir la señal de un determinado satélite que se desea sintonizar. Si el cálculo ejecutado por este bloque implica un valor mayor al del umbral de los receptores, este bloque emite un 1 y la sintonización automática es posible, sino se cumple esta condición, su salida es un 0 y no permite realizar las operaciones de orientación automática ya que se asume que es imposible alcanzar el satélite con esas características descritas. Los parámetros específicos de cada satélite son introducidos al bloque mediante variables.

Para completar el cálculo de la PIRE se emplea la ecuación (1), donde $P_{Tx}$ es la potencia del transmisor del satélite, $G_{ATx}$ es la ganancia de la antena transmisora y $L_{sat}$ son las pérdidas en los terminales del satélite.

$$PIRE = P_{Tx} + G_{ATx} - L_{sat} \tag{1}$$

Luego de obtener el valor de la PIRE, se determina la potencia que llega a la antena receptora ($P_{ARx}$) mediante la expresión (2), donde $G_{ARx}$ es la ganancia de la antena receptora y $L_{tot}$ son las pérdidas totales del enlace.

$$P_{ARx} = PIRE + G_{ARx} - L_{tot} \tag{2}$$

La potencia final en el receptor se calcula mediante la ecuación (3), donde $G_{amp}$ es la ganancia del amplificador del receptor (60 dB) y $L_{Rx}$ son las pérdidas introducidas por los elementos del receptor.

$$P_{Rx} = P_{ARx} + G_{amp} - L_{Rx} \tag{3}$$

La ganancia de la antena receptora $G_{ARx}$ se calcula mediante la ecuación (4), donde $A_e$ es el área efectiva y se calcula como el área del círculo, el parámetro $E$ es la relación entre la potencia entregada a la antena y la potencia radiada por la antena transmisora (se recomiendan valores entre 0.5 y 0.6)

$$G_{ARx}(dB) = 10 \log\left[\frac{4\pi}{\lambda^2} A_e E\right] \tag{4}$$

Las pérdidas totales del enlace $L_{tot}$ se calculan mediante la ecuación (5), donde se deben tener en cuenta todos los factores que influyen en la calidad de la señal recibida.

$$L_{tot} = L_{bf} + L_{atm} + L_{apunt} - L_{pol} - L_{lluv} \tag{5}$$

Las pérdidas en el espacio libre $L_{bf}$ se determinan mediante la ecuación (6), donde D es la distancia del satélite a la estación terrena y $\lambda$ es la longitud de onda, ambos factores expresados en metros.

$$L_{bf} = 20 \log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) \tag{6}$$

Las pérdidas en la atmósfera $L_{atm}$ se calculan por la expresión (7) donde $h_0$ y $h_{H_20}$ es la altura del oxígeno y del vapor de agua respectivamente, $H_{ET}$ es la altura de la estación terrena, $\gamma_0$ es la atenuación del oxígeno y $\gamma_{H_20}$ del vapor de agua.

$$L_{atm} = \frac{\gamma_0 \, h_0 \, e^{\frac{H_{ET}}{h_0}} + \gamma_{H_20} \, h_{H_20}}{\sin(el)} \tag{7}$$

Las pérdidas por apuntamiento $L_{apunt}$ se producen cuando las antenas del satélite y la estación terrena no tienen los haces perfectamente alineados. En el caso de este trabajo, el objetivo principal es que no exista esta problemática por tanto se asume $L_{apunt} = 0\ dB$.

Las pérdidas por despolarización $L_{pol}$ se producen cuando la señal que llega a la antena receptora tiene una polarización diferente a la polarización que posee la antena transmisora, se asume $L_{pol} = 0\ dB$ ya que los operadores de la antena cuentan con los mecanismos para evitar este tipo de pérdidas.

La absorción de energía resultante por las gotas de agua se manifiesta como atenuación de las ondas de radio, afectando el enlace. Las pérdidas provocadas por lluvia se encuentran en las recomendaciones UIT-R, donde se explica que la absorción y dispersión por hidrometeoros solo afecta a frecuencias superiores a los 6 GHz. En nuestro caso la antena parabólica trabaja en banda C, por tanto $L_{lluv} = 0\ dB$.

Para la configuración de los parámetros de este bloque se utilizan los datos que son introducidos directamente por los operadores: la potencia de transmisión, la ganancia de la antena transmisora y la frecuencia central de la baliza del satélite. Además, se define el umbral de trabajo de los receptores con un valor de -80 dBm.

**Bloque para la comunicación con la Raspberry Pi 3**

El bloque *ethernetTxRx* es un bloque desarrollado que permite la conexión vía ethernet con la Raspberry Pi 3. Se configura con una dirección IPv4 y un puerto, ambos correspondientes al dispositivo que se pretende conectar. Dicho bloque tiene asignado en sus parámetros los "id" de cada uno de los botones que son implementados en la interfaz de trabajo (ver figura 2) para el control de la antena. Una vez presionado uno de estos botones, se envía mediante la red un determinado código que identifica a cada instrucción, lo que posibilita que el elemento de control al recibir dicho código, sea capaz de llevar acabo esta tarea. En el caso que se presione el botón "Sintonización automática", además del código de la instrucción, se envía constantemente el valor que se encuentra a la salida de los bloques encargados del análisis de la potencia de la señal, lo que permite conocer en todo momento al elemento de control si es necesario continuar los movimientos de corrección o si la antena se encuentra sintonizada. Si se presiona el botón "Enviar", además del código de la instrucción se transfieren los datos introducidos por el usuario (ángulo de azimut y ángulo de elevación).

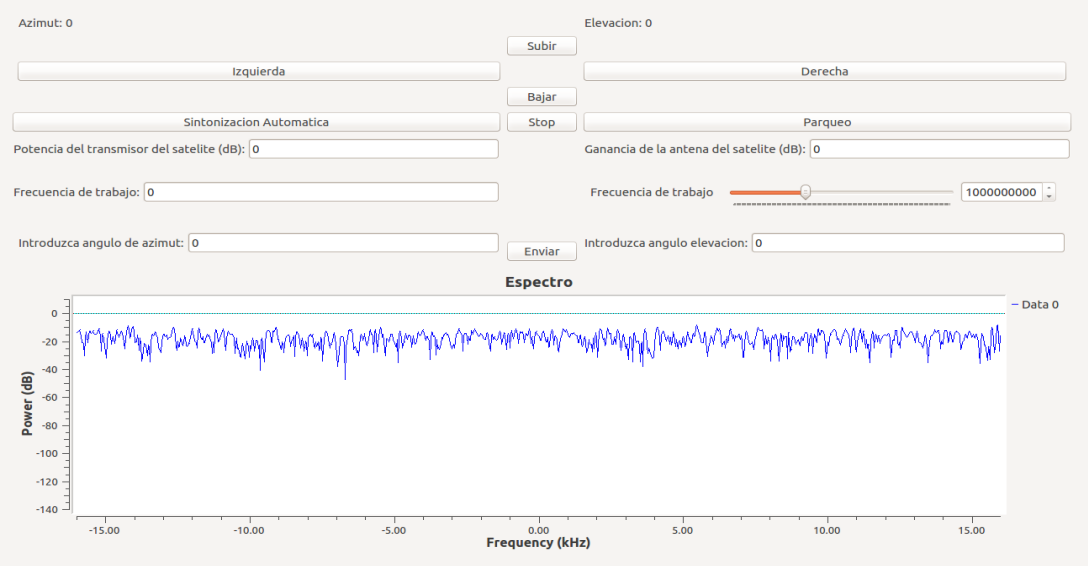



Figura 2. Interfaz de trabajo para controlar el sistema automatizado.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Para analizar los resultados obtenidos se realizan dos pruebas. En la primera, el sistema SDR diseñado es conectado a la antena para analizar el comportamiento de los bloques encargados de medir la potencia de la señal recibida y visualizar su espectro (ver figura 3).

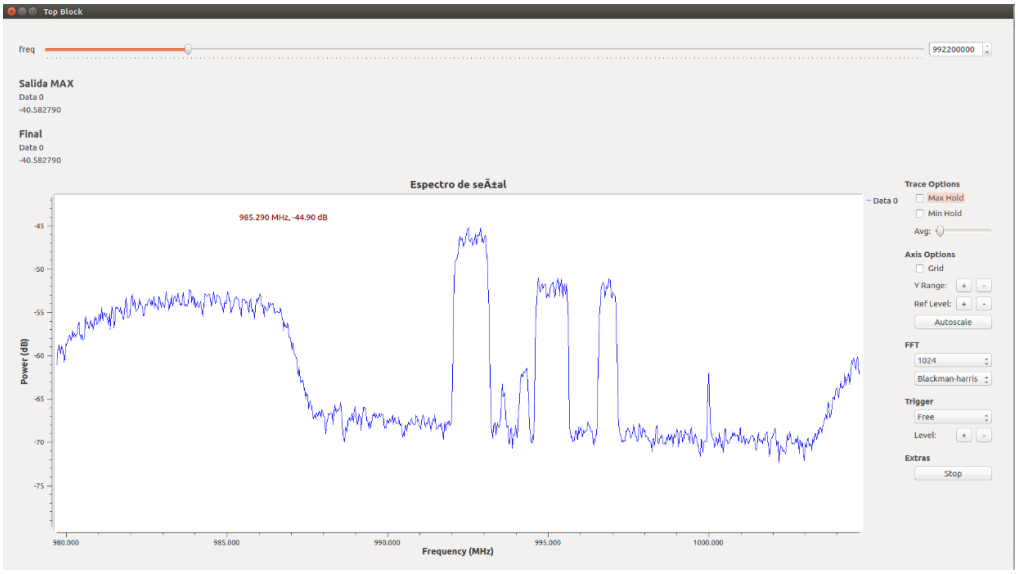



Figura 3. Espectro de la señal recibida.

En el espectro, resaltan las portadoras de la señal del satélite sintonizado y se evidencia el correcto funcionamiento de los bloques de análisis de la potencia de la señal. Se añade un bloque *Number Sink* para visualizar el valor numérico a la salida del bloque *Max*. Al comparar el valor que se obtiene a la salida del bloque *Max* y el valor máximo de la potencia en el espectro (eje Power (dB)), se observa que estos dos valores tienen una gran similitud lo que confirma el óptimo funcionamiento del diagrama diseñado.

En la segunda prueba se comprueba el funcionamiento del bloque encargado de establecer la comunicación con la Raspberry Pi 3, para ello se introducen los valores correspondientes a los ángulos de azimut y elevación que permiten a los operadores orientar la antena de forma más exacta y se presiona el botón "Enviar" (ver figura 4).

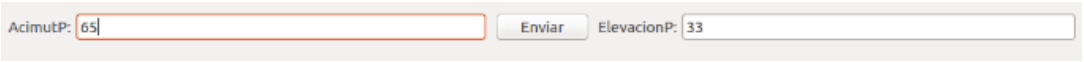



Figura 4. Introducción de los ángulos de azimut y elevación en la interfaz de trabajo.

Como se aprecia en la figura 5, la Raspberry Pi 3 recibe los dos valores enviados, lo que confirma el correcto funcionamiento del bloque encargado de establecer la comunicación entre el sistema SDR y el elemento de control.




Figura 5. Correcta recepción de los ángulos de azimut y elevación introducidos por el operador.

## 6. CONCLUSIONES

La presente investigación ha estado encaminada al diseño de un sistema de orientación automático para antena parabólica destinada a la recepción satelital. Los sistemas SDR se presentan como una opción muy versátil para el diseño del software que permite la automatización del sistema de posicionamiento de una antena parabólica.

El sistema SDR diseñado integra los bloques encargados de recibir la señal, realizar su análisis y procesamiento, proporcionar a los operadores una interfaz de trabajo para el control de la antena y enviar estos datos al elemento de control. El diseño propuesto permite disminuir la cantidad de procesos que debe ejecutar el elemento de control ya que la recepción y análisis de la señal es realizada por el sistema SDR. De este modo se considera que la propuesta de diseño presentada cumple con el objetivo propuesto.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los compañeros que estuvieron involucrados en la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

[1] FREIRE, Viviana. "Sistema de posicionamiento automático de una antena para la recepción de la señal de TV". Director: Edgar Freddy Robalino Peña. Título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones., Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2015.

[2] BERMÚDEZ, Tomás. "Sistema de posicionamiento autónomo y teleguiado de antenas, para receptores de señales de radiofrecuencia con dispositivos de bajo coste SDR, enfocados a la observación de cuerpos celestes y otras fuentes de señales de radio". Director: Arturo Morgado Estevez. Tesis de Maestría, Universidad de Cádiz, Cádiz, 2016.

[3] ZAKARIA, I. "Automatic satellite tracking system on a movable platform". Thesis, Kulliyyah of Engineering, International Islamic University Malaysia, 2020.

[4] CARRIÓN, Oscar. "Diseño de un sistema de rastreo, orientación y posicionamiento automático de una antena reflectora satelital para sistemas TVRO". Tesis de máster, Escuela de Posgrado Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2023.

[5] ARROBA, Dennis, "Sistema de control automático para una antena satelital". Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2011.

[6] CINTRA, Daniel. "Diseño de un sistema de orientación automático para antena parabólica destinada a la recepción satelital". Director: Ernesto Ventura Fonseca, Trabajo de Diploma, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", 2021.

[7] SUGANDHI, Prasanna; SANGANWAR, Mauli; PAI, Arun; AMBADKAR, Gayatri. "Automatic Antenna Positioning System". *International Journal for Scientific Research & Development*, 2016, vol. 4, no. 03, p. 372-374.

[8] SEEMA, J; RAKSHANDA, S; JYOTI, A. et al "AUTOMATIC DISH ANTENNA POSITIONING SYSTEM," presented at the Proceedings of 1st Shri Chhatrapati Shivaji Maharaj QIP Conference on Engineering Innovations, 2018, pp. 138-139.

[9] JOHANNES, Gerhardus. "Automatic positioner and control system for a motorized parabolic solar reflector," Master of Science in Engineering, University of Stellenbosch, South Africa, 2014.

[10] COLLAZOS, Victor; VILLAVICENCIO, Rodrigo. "Implementación de un sistema basado en usrp para la medición de radiaciones no ionizantes de radiodifusión fm comercial". Tesis de Ingeniero, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú, 2017.

[11] VALDEZ, Gastón. "Posicionador de antena para bajada de datos satelitales". Director: Martín Salibe. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2021.

[12] TORREs, Santiago. "Técnicas avanzadas de control y estimación para la orientación de una antena de seguimiento de trayectorias de un cohete sonda". Director: Ángel Cuenca Lacruz. Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2022.

[13] blog.bliley.com. (2021, 29/10/21). 10 Popular Software Defined Radios (SDRs) of 2021. Available: https://www.blog.bliley.com/10-Popular-SoftwareDefined-Radios-(SDRs)-of-2021.

[14] GeeksforGeeks.org. (29/10/2021). Diferences between Arduino and Raspberry Pi. Available: https://www.geeksforgeeks,org/Diferencesbetween-Arduino-and-Raspberry-Pi.

**Sobre los autores**

**Patricia Marín González:** Graduada de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la CUJAE en el año 2020. Se desenvuelve en el campo de las Radio Frecuencias y Procesamiento Digital de Señal. Pertenece al proyecto de investigación sobre Radio Definido por Software (SDR), y al proyecto de investigación sobre Comunicaciones Satelitales en su centro de trabajo. Ha participado y expuesto trabajos en varios eventos nacionales e internacionales como: XVII Seminario Científico del Instituto Técnico Militar "José Martí", CITTEL 2022, Jornadas Científicas y Talleres Científicos efectuados en su centro de trabajo. Actualmente es maestrante de la 1era edición de la Maestría en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría. ORCID: 0000-0001-9062-0809.

**Roger Ernesto García Frómeta:** Graduado de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la CUJAE en el año 2016. Se desenvuelve en el campo de las Radio Frecuencias, Telemática y Procesamiento Digital de Señal. Pertenece al proyecto de investigación sobre Radio Definido por Software (SDR), y al proyecto de investigación sobre Comunicaciones Satelitales en su centro de trabajo. Ha contribuido con diferentes trabajos en proyectos de innovación en estas ramas para la defensa del país. Ha participado y expuesto trabajos en varios eventos nacionales e internacionales como: Trópico 2016, CITECNA 2018, XVII Seminario Científico del Instituto Técnico Militar "José Martí", CITTEL 2022, Jornadas Científicas y Talleres Científicos efectuados en su centro de trabajo. En el año 2019 se le confirió la "Distinción en mejor innovador" que otorga el MININT en la categoría científico técnica. Actualmente es maestrante de la 1era edición de la Maestría en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría. ORCID: 0000-0002-0450-3030.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA UN SALÓN DE REUNIONES

**Enier González Ibarra[1], Karla Rueda Olivero[2], Arturo Alejandro Pérez Benítez[3], [4]Ing. Niurka Monteavaro García, [5]Dr. Pablo Montejo Valdés**

[1, 2, 3, 4, 5]Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: eniergo@tele.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

El salón de reuniones del rectorado de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE) no posee un control automatizado o supervisado de su operación. Para resolver este problema se diseña un sistema de supervisión y control extensible basado en una aplicación web, como parte del cual se diseñan sistemas de control para las luminarias del local y la cerradura de la puerta. Para elaborar estos sistemas de control se utilizan dos placas ESPDuino con microcontroladores ESP8266 para controlar los dispositivos del salón, las cuales se comunican con el servidor donde se aloja la aplicación web utilizando el protocolo WebSocket. En la aplicación web se implementa un sistema de control directo para las luminarias del salón. Se modifica la cerradura convencional presente en el salón para usarla adicionalmente como cerradura electrónica y se diseña un sistema de identificación por RFID para controlar la entrada al salón. Todos los cambios registrados en las luces o la cerradura del local se almacenan en una base de datos en el servidor. Gracias al diseño del sistema de supervisión y control, se hace fácil añadir nuevas funciones como controlar el ordenador del salón y monitorizar todos los dispositivos conectados.

**PALABRAS CLAVES:** supervisión, aplicación web, ESP8266, control de luces, RFID.

## DESIGN OF A SUPERVISION AND CONTROL SYSTEM FOR A MEETING ROOM

**ABSTRACT**

The meeting room of the rector's office of the Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE) does not have an automated or supervised control of its operation. To solve this problem, an extensible supervision and control system is designed based on a web application, as part of which control systems are designed for the room's lighting fixtures and the door lock. To elaborate these control systems, two ESPDuino boards with ESP8266 microcontrollers are used to control the room devices, which communicate with the server where the web application is hosted using the WebSocket protocol. The web application implements a direct control system for the room's lighting fixtures. The conventional lock present in the salon is modified to be used additionally as an electronic lock and an RFID identification system is designed to control the entrance to the salon. All changes to the lights or the room lock are stored in a database on the server. Thanks to the design of the monitoring and control system, it becomes easy to add new functions such as controlling the salon computer and monitoring all connected devices.

**KEY WORDS:** supervision, web application, ESP8266, lights' control, RFID.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un salón de reuniones debe contar con determinados dispositivos para la realización de sus funciones. En la actualidad se hace casi imprescindible la presencia de un ordenador y una pantalla o espacio de proyección que permita el uso de presentaciones electrónicas y el desarrollo de videoconferencias.

Para el desarrollo de las actividades de una institución, su dirección debe acometer las tareas necesarias para gestionar el funcionamiento de todos sus departamentos y la relación de la institución con entidades externas. Para que estas reuniones resulten más provechosas y eficientes, resulta conveniente la optimización de las condiciones de la reunión, como garantizar la iluminación adecuada, fácil acceso a la información y el control del acceso al salón por parte de los asistentes.

La CUJAE no es distinta en este sentido, por lo que para gestionar la universidad se deben realizar reuniones periódicas entre diversos integrantes de la rectoría de la universidad, sus facultades, y agentes externos.

Se toma como objeto de estudio al salón de reuniones del rectorado de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), debido a que es un ejemplo de un local que aloja reuniones constantes y se encuentra en proceso de mejoramiento.

El principal problema detectado en el salón de reuniones del rectorado de la cuaje es que el acceso al salón y el control de sus dispositivos no es automatizado o supervisado, por lo que su manejo es ineficiente y no existe un registro histórico de su operación.

Los sistemas de supervisión y control se utilizan tanto en la industria como fuera de ella. Un ejemplo de su uso en ambientes no industriales es presentado por Masha Khorram en enero de 2020, cuando se diseña un algoritmo que controla luces, aires acondicionados y un lavavajillas para reducir el consumo y que se implementa en el funcionamiento de un edificio real [1].

Benriwati Maharmi en junio de 2019 diseñó un sistema para el ahorro de energía basado en el control automático de luces mediante el empleo de un microcontrolador de la familia Arduino [2].

Un prototipo de aplicación web que controla las luces, puertas y ventilación de un hogar inteligente utilizando una Raspberry Pi fue desarrollado por Bagus Eryawan en octubre de 2019, lo que permitió controlar a distancia y vía Internet las funciones de un hogar [3].

Siti Aisyah en septiembre de 2022 diseñó un sistema de bloqueo basado en RFID para una cerradura ubicada en un hogar o puesto de trabajo, con la posibilidad de usar una tarjeta RFID pasiva como remplazo para una llave tradicional [4]. Ramses Wanto Tambunan en octubre de 2022 desarrolla este mismo concepto, pero se añade la posibilidad de usar una huella dactilar o un código de acceso [5].

Se encontró información sobre la implementación de sistemas de supervisión y control para luces y cerraduras en ambientes residenciales y de oficina, pero no se detectó la implementación de los mismos en un salón de reuniones, el mantenimiento de una base de datos histórica del funcionamiento del sistema o el diseño de un sistema fácilmente extensible.

El objetivo de este artículo es presentar el diseño de un sistema de supervisión y control automatizado para el salón de reuniones del rectorado de la CUJAE, que permita controlar las luminarias y la cerradura del salón para así facilitar el uso del local. Este diseño debe ser lo más sencillo y extensible posible, para facilitar su implementación, el desarrollo de nuevas funciones y la generalización del sistema a otros locales.

## 2. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN Y EL CONTROL DEL LOCAL

En la Figura 1 se ilustra la distribución del salón del rectorado. La entrada al salón se muestra en amarillo, la pizarra para proyecciones en verde, las luminarias del primer conjunto en naranja, las del segundo en azul y las del tercero en rojo.

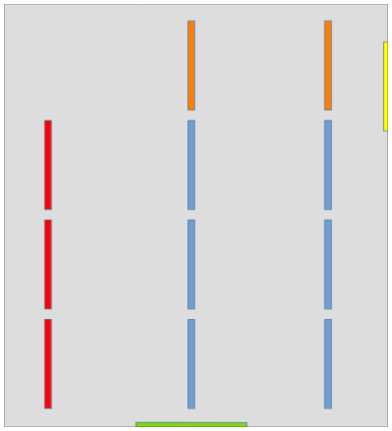


Figura 1: Disposición de las luminarias del salón de reuniones del rectorado de la CUJAE.

Se escogió al ESPDuino como placa de control principal del salón por su bajo coste y sus capacidades para conectarse a una red Wi-Fi y utilizar los protocolos TCP e IP para comunicarse con otros dispositivos.

Son necesarias dos placas ESPDuino: la primera para controlar las luminarias del salón y la segunda para controlar la cerradura. Cada ESPDuino utiliza un microcontrolador ESP8266 [6], el cual se programó usando el Framework de Arduino para ESP8266, la biblioteca ArduinoJson y la biblioteca WebSocketsClient.

Se necesita una base de datos para mantener un registro de la operación del salón, y un servidor web es imprescindible para alojar la aplicación que permite interactuar con el sistema. Para ampliar las funciones del sistema de automatización implementado, el servidor debe ser extensible.

Por limitaciones de espacio de almacenamiento, las placas ESPDuino son incapaces de alojar una base de datos histórica de la operación del salón o un servidor web fácilmente extensible, por lo que ambos se alojarán en un ordenador externo. El servidor web diseñado utiliza Go como lenguaje de programación y provee una interfaz gráfica de usuario. Esta decisión se toma a partir del soporte que dicho lenguaje y su comunidad proveen para la implementación de servicios web [7].

La Figura 2 muestra la interfaz gráfica de usuario para el control del estado de encendido y apagado de las luces. En este caso, las luces traseras y laterales (correspondientes al primer y tercer grupo definidos en la Figura 1) se encuentran encendidas. Las luces centrales (correspondientes al segundo grupo) se encuentran apagadas.

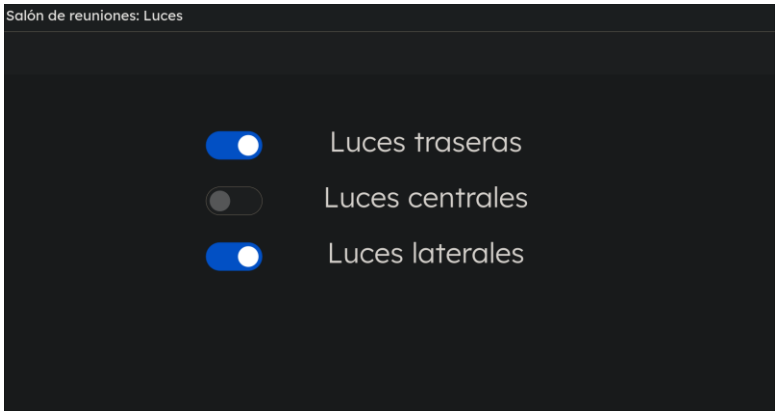



Figura 2: Interfaz gráfica de usuario de la aplicación web.

La comunicación con cada microcontrolador del salón se realiza utilizando el protocolo WebSocket. En este protocolo, se establece una comunicación full-duplex mediante única conexión TCP que se mantiene abierta hasta concluir la comunicación [8], [9]. Los protocolos TCP e IP permite entregar la información al destino especificado y garantiza la integridad y el orden de la información recibida [10], [11].

Una vez se ha completado la conexión WebSocket entre el servidor y el ESPDuino, la comunicación se establece en dos etapas. En ambas la información se transmite del servidor al microcontrolador y viceversa mediante el intercambio de cadenas de texto en formato JSON que contienen la información deseada. Ambas etapas se representan en la Figura 3.

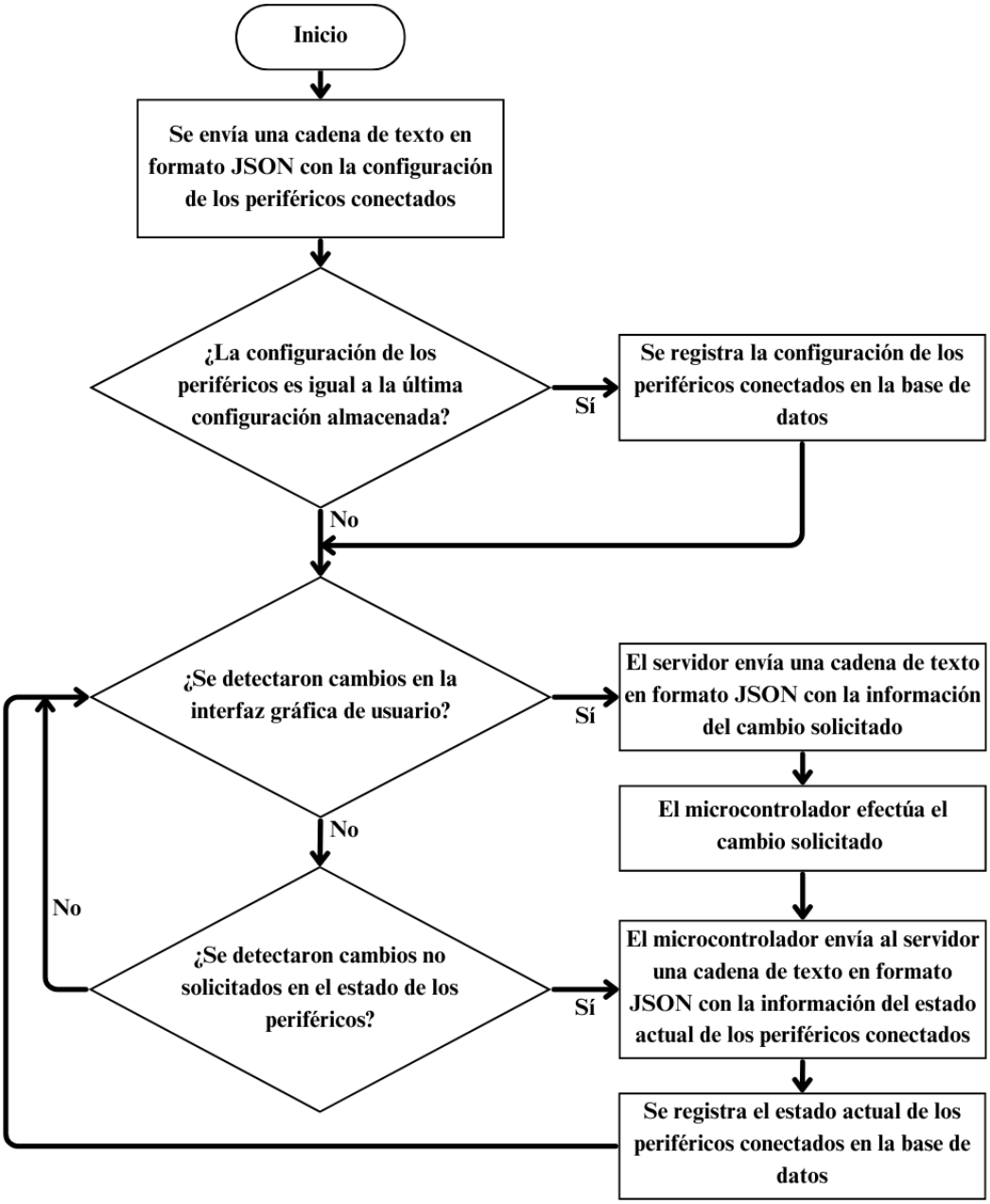



Figura 3: Representación del sistema de supervisión y control diseñado.

La primera etapa ocurre justo después de completar la conexión WebSocket, y consiste en proporcionar al servidor la información de todos los periféricos que están conectados al microcontrolador. Hasta el momento, los periféricos son las luminarias y la cerradura. Este diseño posibilita que un único servidor controle distintos microcontroladores a los que se conectan diferentes periféricos, y permite actualizar la información de los periféricos que maneja cada microcontrolador cada vez que se establezca una conexión. Cada vez que se establezca una nueva configuración de periféricos se actualizará un registro histórico de los cambios del local en una base de datos manejada desde el servidor.

La segunda etapa comienza una vez que se ha acordado la estructura del sistema asociado a un microcontrolador, y se mantiene mientras el microcontrolador esté conectado al servidor. En esta etapa, el servidor enviará un mensaje al microcontrolador cada vez que se produzca un cambio en la interfaz gráfica de usuario y el microcontrolador responderá con un mensaje que contenga el estado actual de todos sus periféricos. De producirse un cambio no solicitado en el estado de alguno de los periféricos, el microcontrolador enviará un mensaje con información de este cambio al servidor. Cada vez que se envíe un mensaje perteneciente a la segunda etapa, se actualizará el registro histórico de los cambios del local en la base de datos manejada desde el servidor.

Se utiliza el software libre SQLite como gestor de la base de datos. Esta es una solución simple y ligera que permite mantener una base de datos de arquitectura sencilla que no manejará grandes flujos de información [12]. La base de datos se almacena en un único archivo, lo que facilita su manejo y portabilidad. Esto es importante, porque permite implementar una base de datos sin utilizar un servidor externo al desarrollado para implementar el sistema de control y brinda mayor flexibilidad al sistema.

## 3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LAS LUMINARIAS

Cada luminaria del salón del rectorado necesita 0.2 $A_{rms}$ a 110 $V_{rms}$ para funcionar. El salón posee 11 luminarias distribuidas en tres conjuntos. De los conjuntos de luminarias con que cuenta el salón, el de mayor consumo es el segundo, que posee 6 luminarias. Para alimentarlo será necesario entregar 1.2 $A_{rms}$.

Se diseñó un circuito de control capaz de entregar 2.5 A a 110 $V_{rms}$ y que permitirá encender o apagar uno de los conjuntos de luminarias de forma segura a partir de una señal del microcontrolador. Se decidió construir 3 circuitos de control idénticos basados en el esquema circuital que se representa en la Figura 4 y la Figura 5, cada uno de los cuales manejará un conjunto de luminarias.

Cuando el terminal conectado al microcontrolador recibe una señal en 0 no existe circulación de corriente entre los terminales 4 y 6 del optoacoplador y por tanto no se establece corriente entre los terminales principales del TRIAC, por lo que el conjunto de luminarias se mantiene apagado. En la Figura 4**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra este estado.

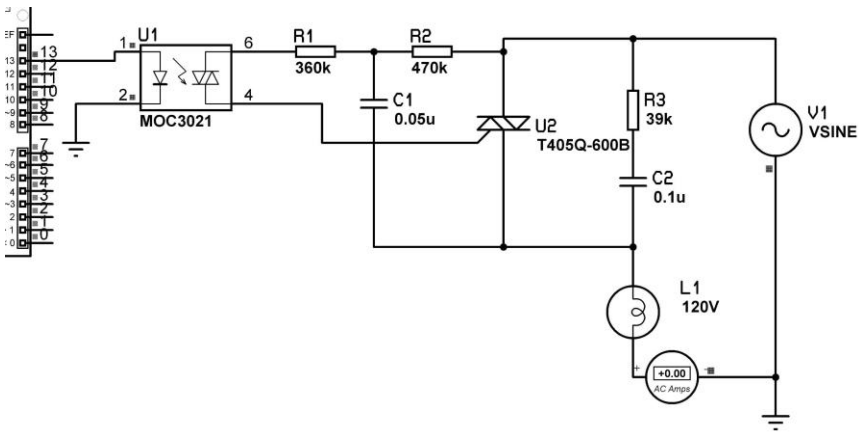



Figura 4: Esquema circuital para el control de las luces. Estado cuando la señal proveniente del microcontrolador es 0.

Cuando el terminal conectado al microcontrolador recibe una señal en 1 se permite la circulación de corriente entre los terminales 4 y 6 del optoacoplador y por tanto se establece corriente entre los terminales principales del TRIAC, por lo que el conjunto de luminarias se mantiene encendido. En la Figura 5 se muestra este estado.

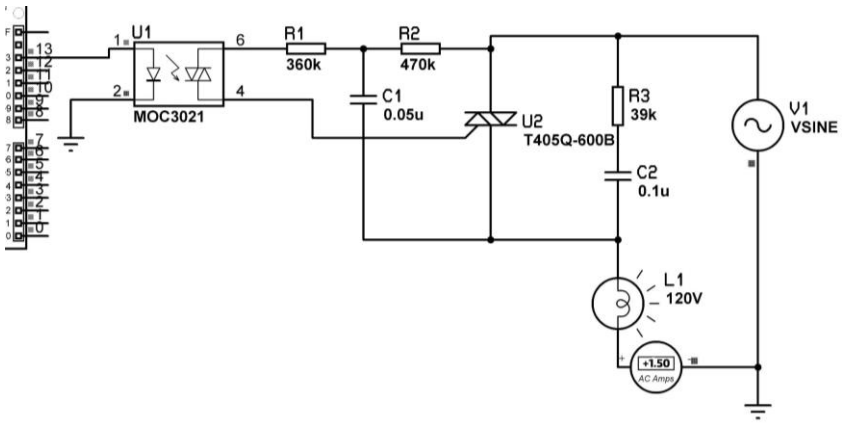



Figura 5: Esquema circuital para el control de las luces. Estado cuando la señal proveniente del microcontrolador es 1.

## 4. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA CERRADURA DE LA ENTRADA

Actualmente, el salón de reuniones posee una cerradura mecánica manual. Esto no permite personalizar el acceso al local más allá de cambiar el control de las llaves, y no permite mantener un registro del acceso al local.

### Diseño del circuito de control para la cerradura

Se diseñó una cerradura electrónica capaz de otorgar acceso a usuarios autorizados temporal o permanentemente, similar a la desarrollada por Umar Karaye en julio de 2023 [13]. El acceso al local es registrado temporalmente en el propio microcontrolador de la cerradura y permanentemente en la base de datos alojada en el servidor.

La cerradura electrónica diseñada consiste en la modificación de una cerradura convencional a la cual se le incorporó un doble bobinado y algunos cambios mecánicos, que permiten conceder acceso al salón mediante una tarjeta RFID pasiva sin comprometer la apertura mediante una llave tradicional.

Para establecer la comunicación entre la cerradura y la llave RFID se utilizaron tarjetas RFID y un lector RFID RC522.

Las tarjetas RFID son dispositivos que contienen información almacenada dentro de un chip, y además poseen una antena para establecer comunicación con el lector. Cuando la tarjeta recibe una señal con la frecuencia adecuada por la antena, se origina un voltaje por radiofrecuencia que se rectifica en corriente continua, necesaria para alimentar el resto del circuito contenido en la etiqueta, la cual transmite la información que contiene al lector RFID [14], [15]. En nuestro sistema es empleada una etiqueta pasiva RFID cargada con una identificación asociada al usuario.

El lector RFID RC522 es un módulo altamente disponible por su amplia utilización y soporte, con una frecuencia de operación de 13.56 MHz, estándar para la mayoría de las tarjetas RFID [14]. El rango de lectura del módulo es de hasta 5 cm, por lo que se requiere una comunicación cercana con la tarjeta, para evitar cualquier activación de la cerradura desde una distancia mayor [15].

Tras procesar la información obtenida de la tarjeta RFID, si se confirma que el usuario está autorizado a abrir la cerradura, el microcontrolador enviará una señal en 1 al terminal 1 del optoacoplador, lo que permitirá alimentar al par de bobinados. Una vez energizadas las bobinas, se genera un campo magnético que atrae al pestillo o palanca, abriendo así la cerradura.

El esquema circuital para el acoplador y una fuente de alimentación lineal de 12 V DC se muestra en la

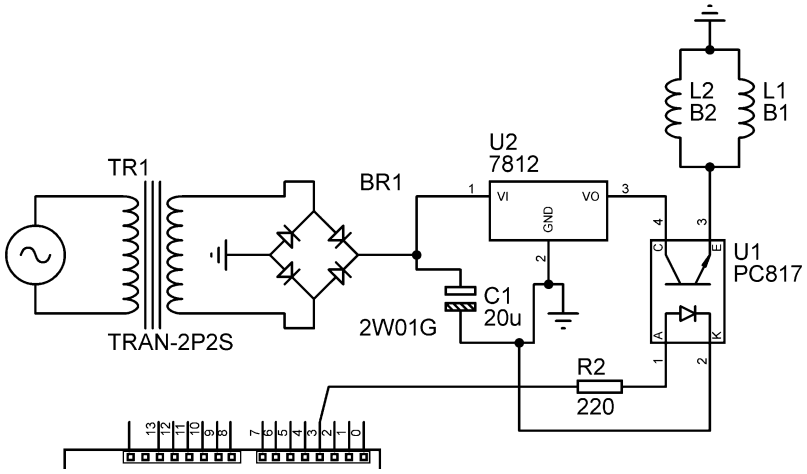



Figura 6

Figura 6. La intensidad de corriente que circula por las bobinas es de 70 mA. Esta intensidad de corriente es menor que 1 A, por lo que puede emplearse un regulador de voltaje 7812 para suministrar la corriente necesaria. El optoacoplador utilizado aísla la corriente que entrega el microcontrolador de la que consume el resto del circuito.

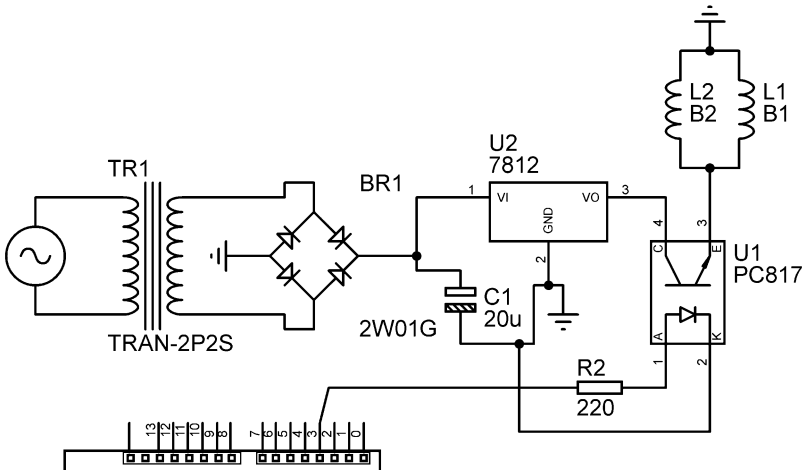



Figura 6: Esquema circuital de la fuente de alimentación y el acoplador de la cerradura.

## 5. CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de supervisión y control para el salón de reuniones del rectorado de la Universidad Tecnológica de La Habana, cuya implementación permitirá un mejor control de las funciones del local, inicialmente el control de las luminarias y de la cerradura principal.

El control de las luminarias mediante una aplicación web permitirá controlarlas a distancia, lo que facilitará su encendido y apagado cuando sea necesario. El control de la cerradura mediante RFID permitirá un registro real de las entradas al salón, y mayor flexibilidad para distribuir credenciales de acceso como sea necesario.

Aunque solo se ha diseñado la implementación de estas dos funciones para el sistema de control, su diseño lo hace fácilmente extensible para realizar otras funciones, como controlar la computadora del salón o monitorizar directamente el consumo energético y cada variable del estado de los dispositivos conectados. El siguiente paso en este proyecto será diseñar e implementar estas funciones.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al personal encargado de atender el salón de reuniones del rectorado por su cooperación.

## REFERENCIAS

1. KHORRAM, Masha; FARIA, Pedro; ABRISHAMBAF, Omid y VALE, Zita. «Consumption Optimization in an Office Building Considering Flexible Loads and User Comfort», *Sensors*, vol. 20, n.º 3, p. 593, ene. 2020, doi: 10.3390/s20030593.
2. MAHARMI, Benriwati; KARDOVA, Toriq; ERMAWATI, «Development Of Cost-Saving Energy For Home Lighting Based Microcontroller and RTC», *Int. J. Electr. Energy Power Syst. Eng.*, vol. 2, n.º 2, pp. 20-24, jun. 2019, doi: 10.31258/ijeepse.2.2.20-24.
3. ERYAWAN, Bagus; JAYATI, Ari. Endang; HERANURWENI, Sri. «RANCANG BANGUN PROTOTYPE SMART HOME DENGAN KONSEP INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN RASPBERRY PI BERBASIS WEB», *Elektrika*, vol. 11, n.º 2, pp. 1-5, oct. 2019, doi: 10.26623/elektrika.v11i2.1691.
4. AISYAH, Siti; YUSMAR, Ali; SAHARJA, Komda; SUHENDRA, Suhendra; SANI, Asrul. «SMART DOOR LOCK SYSTEM DEVELOPMENT PROTOTYPE USING RFID TECHNOLOGY ID-12», *J. Ris. Inform.*, vol. 4, n.º 4, pp. 379-384, sep. 2022, doi: 10.34288/jri.v4i4.433.
5. TAMBUNAN, Ramses Wanto; AR-RAFIF, Abdul Aziz; GALINA, Mia. «Multi-Security System Based on RFID Fingerprint and Keypad to Access the Door», *Elkha J. Tek. Elektro*, vol. 14, n.º 2, pp. 125-131, oct. 2022, doi: 10.26418/elkha.v14i2.57735.
6. «Boards — ESP8266 Arduino Core 3.1.2-21-ga348833 documentation» [En línea]. [ ref. de 19 de septiembre de 2024]. Disponible en Web: https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/boards.html
7. «The Go Programming Language Specification - The Go Programming Language» [En línea]. [ref. de 19 de septiembre de 2024]. Disponible en Web: https://go.dev/ref/spec
8. MELNIKOV, Alexey; FETTE, Ian. «The WebSocket Protocol», Internet Engineering Task Force, Request for Comments RFC 6455, dic. 2011. doi: 10.17487/RFC6455.
9. «WebSockets Standard» [En línea]. [ref. de 19 de septiembre de 2024]. Disponible en: https://websockets.spec.whatwg.org/
10. WESLEY, Eddy. «Transmission Control Protocol (TCP)», Internet Engineering Task Force, Internet Draft draft-ietf-tcpm-rfc793bis-28, mar. 2022. Accedido: 25 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-tcpm-rfc793bis-28
11. TOUCH, Joseph. «Updated Specification of the IPv4 ID Field», Internet Engineering Task Force, Request for Comments RFC 6864, feb. 2013. doi: 10.17487/RFC6864.
12. «About SQLite» [En línea]. [Ref. de 19 de septiembre de 2024]. Disponible en: https://www.sqlite.org/about.html
13. KARAYE, Umar; UMAR, Mahmood; MU'AZU, Muhammad. «A Passive Radio Frequency Identification Technology Application: Implement of an Automatic Door Lock System Using Arduino IDE», pp. 2395-566, jul. 2023.
14. DIPOLE, «Tipos Sistemas RFID | UHF, HF, NFC, LF | Dipole», DipoleRFID. Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dipolerfid.es/blog-rfid/Tipos-Sistemas-RFID
15. LOZANO-NIETO, Albert. *RFID design fundamentals and applications*. Boca Raton, FL : CRC Press, 2011. Accedido: 29 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://archive.org/details/rfiddesignfundam0000loza

**sobre los autores**

Enier González Ibarra, Karla Rueda Olivero y Arturo Alejandro Pérez Benítez estudiantes de primer año del curso regular diurno de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana, parte del Grupo de Investigación de Sensores y Sistemas del Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME). Ing. Niurka Monteavaro García profesora asistente, jefa del Departamento Docente del Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) y profesora de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica desde 2006. DrC. Pablo Montejo Valdés profesor titular, decano de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica y profesor de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica desde 1996.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EXTENSIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA DESPLEGADAS

*EXTENSION OF DEPLOYED FIBER OPTICAL NETWORKS*

**Ing. Hyancith Caridad Aballi Oña[1], Dra. C. Ing.Caridad Anías Calderón[2], Ing. Orlando Alfonso Alba Pérez[3]**

[1]Ingeniera Industrial, Jefe de Grupo de Desarrollo de Cubatel S.A.,[2] Doctora en Ciencias, Profesora Titular, Consultante y Emérita, Directora del Centro de Estudios de Telecomunicaciones e Informática (CETI) de la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echeverría¨, Presidenta de la Comisión Nacional de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Jefa del Programa Sectorial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Telecomunicaciones, Jefa del grupo de investigación en Telemática, Editora jefa de la revista Telemática [3] Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónicas
[1]e-mail: hyancith@cubatel.cu [2]cacha@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

Las redes de fibra óptica están sustituyendo a las redes de cobre que se han empleado durante años, como medio de transmisión de servicios al usuario final, debido a las altas prestaciones que posee. Su empleo, a lo largo de los años ha propiciado importantes avances tecnológicos, considerando la creciente demanda de servicios de banda ancha y sus aplicaciones, con el propósito de impulsar la economía y sostener el desarrollo de la transformación digital en Cuba. Sin embargo, la situación económica existente en el país limita el acceso a las tecnologías de fibra óptica que poseen un elevado costo, tanto el cable como el equipamiento necesario para garantizar la disponibilidad de los servicios al usuario final. En esta investigación se presenta un procedimiento para extender fibra óptica instalada empleando un enfoque top-down. Se parte de analizar las necesidades que se plantean para dicha extensión, las características que posee la fibra óptica ya instalada, si es posible extenderla y si es así se realiza el diseño lógico y físico necesario para su extensión; a continuación se efectúa la simulación del diseño realizado y, de ser satisfactoria, se concluye que es posible ofrecer nuevos servicios extendiendo la fibra óptica; finalmente se considera la gestión continua que permitirá monitorear y controlar toda la infraestructura instalada. Para la validación del procedimiento propuesto se consideró su aplicación a la extensión del backbone 2 de la red metropolitana de La Universidad de la Habana instalada por Cubatel S.A.

**PALABRAS CLAVES:** Redes de telecomunicaciones, redes de fibra óptica, extensión, estándar, infraestructura

***ABSTRACT***

Fiber optic networks are replacing copper networks that have been used for years as a means of transmitting services to the end user, due to their high performance. Its use, over the years, has led to important technological advances, considering the growing demand for broadband services and their applications, with the purpose of boosting the economy and sustaining the development of the digital transformation in Cuba. However, the existing economic situation in the country limits access to fiber optic technologies that have a high cost, both the cable and the equipment necessary to guarantee the availability of services to the end user. This research presents a procedure to extend installed optical fiber using a top-down approach. The starting point is to analyze the needs that arise for said extension, the characteristics that the optical fiber already installed has, if it is possible to extend it and if so, the logical and physical design necessary for its extension is carried out; Next, the simulation of the design is carried out and, if satisfactory, it is concluded that it is possible to offer new services by extending the optical fiber; Finally, continuous management is considered that will allow monitoring and controlling all the installed infrastructure. For the validation of the proposed procedure, its application to the extension of backbone 2 of the metropolitan network of the University of Havana installed by Cubatel S.A. was considered.

***KEY WORDS:*** *Telecommunications networks, fiber optic networks, extension, standard, infrastructure.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación por fibra óptica han mejorado las prestaciones de las redes de telecomunicaciones a través de la implantación de un medio físico capaz de mantener altas velocidades de transmisión a la vez que evitan problemas derivados de interferencias electromagnéticas. En Cuba existen varias empresas dedicadas al despliegue de redes de fibra óptica, una de ellas es la Sociedad Cubana para las Telecomunicaciones, abreviadamente Cubatel S.A., una entidad con encargo estatal que cuenta con la experiencia de 28 años consagrada al despliegue de esta tecnología en el país, siendo uno de los pioneros en ello. Entre los proyectos que ha ejecutado Cubatel S.A. se encuentran: la construcción de la red nacional de transporte para la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) con sus anillos de seguridad y ampliaciones de la fibra óptica; el diseño, instalación y puesta en marcha de redes privadas de banda ancha con cables de fibra óptica y enlaces de radio para las redes de los Banco, del grupo empresarial CUBANIQUEL en 20 de sus empresas, en los aeropuertos Internacionales José Martí, Varadero, Holguín y Cayo Largo del SUR, Cadenas de tiendas TRD y CIMEX, hospitales, las redes de la UNE en todas las provincias del país. Así mismo, ha realizado la instalación de las redes de fibra óptica para Telecable internacional en La Habana, Varadero, Holguín y Ciego de Ávila. Muchas de estas entidades, exceptuando ETECSA, no poseen los recursos técnicos y humanos para atenderlas, como tampoco aprovechan sus capacidades al máximo, ni realizan su gestión, ocasionando que no puedan solucionar rápida y eficientemente los fallos que se presenten. Cubatel S.A. se plantea, como proveedor y constructor de muchas de estas redes, realizar su operación y mantenimiento, con el propósito de mejorar la fiabilidad y de utilizar la capacidad no empleada para proveer acceso a clientes con necesidad de conectividad, apoyando así la transformación digital del país. En este empeño deben considerarse las normas técnicas de ETECSA y los estándares internacionales y establecerse los modelos de negocios que corresponden entre el dueño de la infraestructura de fibra óptica desplegada, ETECSA y Cubatel S.A.

En este trabajo se presenta un procedimiento para extender fibra óptica instalada mediante un enfoque top-down. Se parte de revisar las principales características de la fibra óptica. Seguidamente se plantean las fases de procedimiento y se explican cada una de ellas. Como validación se aplica la propuesta que se realiza a la extensión del backbone 2 de la red metropolitana de La Universidad de la Habana instalada por Cubatel S.A.

## 2. RED DE FIBRA ÓPTICA, PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Una red de fibra óptica, se puede definir como aquella que emplea este medio de transmisión para la interconexión de diferentes dispositivos, que permiten compartir información y recursos de hardware y software. En [2] se establece que los sistemas de fibra óptica poseen una fuente y un destino separados por numerosos componentes y dispositivos que introducen diversas cantidades de pérdida o de ganancia a la señal óptica, al propagarse a través del sistema.

A su vez tiene una serie de ventajas sobre otros tipos de redes, entre estas se encuentran su gran ancho de banda, el pequeño tamaño y peso, el aislamiento eléctrico, la inmunidad a interferencias y diafonías, la seguridad de la señal y la baja pérdida de transmisión. La fibra óptica se destaca por su eficiencia energética y su menor impacto ambiental en comparación con las tecnologías tradicionales de cobre o híbridas. Los estudios indican que las redes de fibra óptica pueden reducir el consumo de energía hasta en un 70% en comparación con las redes tradicionales de cobre, lo que representa una disminución significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. Los avances tecnológicos hasta la fecha han superado incluso las predicciones más optimistas, creando ventajas adicionales. Por lo que es útil considerar las ventajas y características especiales que ofrecen las comunicaciones por fibra óptica frente a las comunicaciones eléctricas más convencionales [1]. Este sistema de comunicación constituye la columna vertebral de la sociedad de la comunicación y la información [2].

### Topología de una red de fibra óptica

**Enlaces punto a punto:** Los enlaces punto a punto constituyen el tipo más simple de sistemas de ondas de luz. Su función es transportar información disponible en forma de flujo de bits

digitales, de un lugar a otro. La longitud del enlace puede variar desde unos pocos kilómetros a miles de kilómetros, dependiendo de la aplicación específica. Por ejemplo, los enlaces ópticos se utilizan para conectar diferentes equipos dentro de un edificio, o entre dos edificios ubicados a poca distancia el uno del otro. La baja atenuación y el amplio ancho de banda de las fibras ópticas no son de importancia primordial para dichos enlaces. Las fibras se utilizan principalmente por su inmunidad a las interferencias electromagnéticas [3].

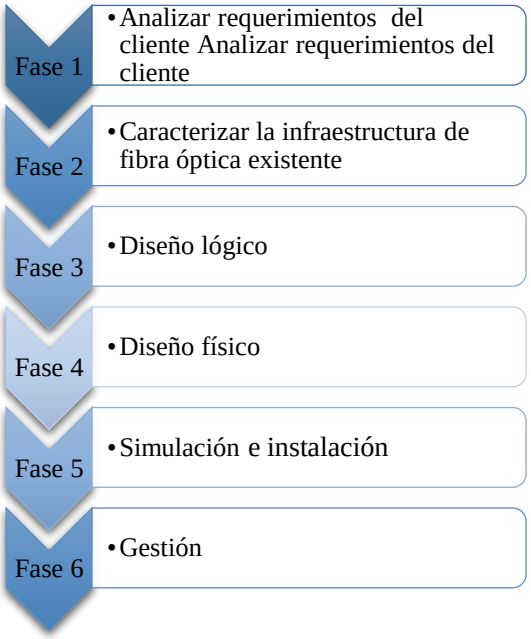
**Difusión: Punto a multipunto**, los enlaces punto a multipunto para redes de fibra óptica, consisten en que un mismo terminal se conecta a varios receptores, dividiendo la señal hacia cada uno de ellos, basándose en la fragmentación. Su objetivo es distribuirla por un canal, compartiendo los costos de un segmento y reduciendo así el número de fibra, los costos de despliegue y mantenimiento de la red; esta arquitectura es una alternativa a tener muy en cuenta para redes urbanas o de acceso a viviendas. Es ampliamente utilizada por empresas teleoperadoras y distribuidores de banda ancha.

**Métodos de extensión de redes de fibra óptica**

Para la extensión de los sistemas de fibra óptica existente en lo referente al objetivo de esta investigación se estudiarán dos métodos, el empleo de splitter, y el sangrado o derivación. Los splitters desempeñan un papel crucial en la extensión de las redes de fibra óptica al permitir la división de una señal óptica en múltiples caminos. Esto es fundamental para distribuir la señal a diferentes ubicaciones o dispositivos finales, como edificios, hogares u oficinas. No requieren de energía para funcionar, lo que hace que los divisores sean equipos pasivos que utilizan una señal de luz para dividirla en varias señales permitiendo así arquitecturas punto a multipunto [4]. El sangrado del cable de fibra óptica es la técnica que permite extraer las fibras del cable, sin necesidad de efectuar un corte transversal que interrumpa la continuidad. Dependiendo de las cubiertas y protecciones con las que cuente el cable de fibra óptica, existen diferentes formas de llevar a cabo esta operación.

## 3. PROCEDIMIENTO PARA LA EXTENSIÓN DE FIBRA ÓPTICA DESPLEGADA

La estructura general del procedimiento propuesto es la siguiente:




**Fase I: Analizar los requerimientos del cliente**

Esta primera fase tiene como objetivos analizar las metas que se persiguen con la extensión de la fibra óptica y los requerimientos técnicos que se deben cubrir. Para que una entidad u organización decida que requiere emplear una fibra óptica para su comunicación no local, debe realizar un análisis en el que, entre otros aspectos, se precisen debatir detalladamente cuáles son sus metas del negocio. Esto es importante para determinar si dichas metas se pueden satisfacer con la extensión de una fibra óptica instalada en su vecindad. También se deben considerar los servicios que ofrece la entidad, a quién se le brinda, los objetivos de dichos servicios pues esto será muy útil para tomar decisiones importantes. Además, se deben analizar los propósitos que se persiguen con la conexión hacia el exterior de la red interna a través de una fibra óptica y qué características debe cumplir para satisfacer los requerimientos de la empresa. Por otro lado, el análisis de los requerimientos técnicos de dicha conexión [5] ayudará a escoger mejor las tecnologías ópticas que serán utilizadas en el proyecto de extensión de la fibra óptica, permitiendo diferenciar cuáles podrán ser reutilizadas, pues dan cumplimiento a estos requerimientos y cuáles no. Entre los requerimientos técnicos de tienen:

**Desempeño:** Para caracterizar una red de fibra óptica según su desempeño, es importante considerar varios parámetros clave que pueden influir en la calidad y eficiencia de la red. Se deben tener en cuenta aspectos como: ancho de

banda, latencia, pérdida de señal, jitter, fiabilidad y la eficiencia.

**1. Ancho de banda:** Evalúa la capacidad de la red para transportar datos a través de la fibra óptica. El ancho de banda se mide en bits por segundo y es fundamental para determinar la velocidad de transferencia de datos.[6]

**2. Latencia:** La latencia se refiere al tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el emisor hasta el receptor. Una baja latencia es crucial para aplicaciones en tiempo real, como videoconferencias o juegos en línea.

**3. Pérdida de señal:** La pérdida de señal se produce cuando la intensidad de la señal disminuye a medida que atraviesa la fibra óptica. Es importante medir y minimizar la pérdida de señal para garantizar una comunicación fiable y sin errores [7].

**4. Jitter:** El jitter se refiere a las variaciones en el retardo de la transmisión de datos a lo largo de la red. Un alto jitter puede provocar problemas de sincronización y afectar la calidad de las comunicaciones [8].

**5. Fiabilidad:** Evalúa la fiabilidad de la red considerando la disponibilidad del servicio, la redundancia de los enlaces y la capacidad de recuperación ante fallos [6].

**6. Eficiencia:** La eficiencia de una red de fibra óptica se refiere a la capacidad de la red para transportar datos de manera rápida, confiable y sin pérdidas significativas de señal.

**Escalabilidad:** La escalabilidad se refiere a cuánto crecimiento es capaz de soportar la red. Para muchas organizaciones este es un requerimiento primordial, ya que se encuentran constantemente añadiendo usuarios, aplicaciones, sitios web y conexiones a redes externas; por lo que la red debe ser capaz de adaptarse y mantener su buen funcionamiento ante dichos crecimientos.

Preguntas tales como: ¿cuántos servicios más piensan añadir para el próximo año?, ¿cuántos nuevos usuarios utilizaran la red en el futuro?, y otras muchas, son interrogantes que brindarán un estimado de cuánto pretende expandirse la red. Esta información resulta necesaria en el momento de decidir si se va dar respuesta con la extensión de un cable de fibra óptica existente, para así lograr un diseño que cumpla con los requerimientos de escalabilidad, desempeño, disponibilidad, seguridad y gestionabilidad que se esperan, y en base a esto, sea posible seleccionar adecuadamente entre las diferentes tecnologías ópticas.

La extensión de una red de fibra óptica contribuye significativamente a la escalabilidad de la red de la entidad que va a emplear la fibra extendida, al proporcionar mayor facilidad de implementación y flexibilidad en la arquitectura de red. Estas características permiten expandir y mejorar la red de manera eficiente para satisfacer las demandas crecientes de tráfico y usuarios en un entorno digital en constante evolución.

Para llevar a cabo la extensión de la fibra óptica existente y determinar qué método es el que más se adapta a los requisitos de escalabilidad y desempeño esperados es necesario estimar la posible expansión futura de la red de fibra óptica para lo cual se debe estimar la cantidad de entidades que se pudieran añadir próximamente, el número de usuarios y dispositivos que podrán estar conectados en el futuro, las subredes a interconectar y los servidores que se necesitarán para ofrecer nuevos servicios, entre otros elementos [9].

**Disponibilidad:** Que la red y sus servicios estén disponibles para que sus usuarios los puedan acceder en cualquier momento es un requerimiento importante. La disponibilidad indica cuánto la red y sus servicios han estado disponibles para los usuarios, permitiendo determinar cuán operacional es. Este requerimiento crítico usualmente se ve expresado como un porciento del tiempo de actividad del servicio para los usuarios en comparación con el tiempo total del mismo empleando las ecuaciones (1) y (2) [10]:

$$SA\% = 100\% - SUA\% \qquad (1)$$

$$SUA\ \% = \left(\frac{(\sum \text{intervalos de pausa})}{(\text{tiempo activo})}\right) \times 100\% \quad (2)$$

donde SA es la disponibilidad del servicio y SUA es la no disponibilidad del servicio.

Una estrategia para garantizar este requerimiento es considerar redundancia en los enlaces de la red, ya que esto, evita la existencia de un punto de fallo único. Por otra parte, también se puede plantear una ruta alterna que permita una transmisión segura de los datos, lo cual se puede garantizar eligiendo una topología adecuada[11] [12].

**Seguridad:** Una infraestructura segura, es uno de los aspectos más importantes en ambientes de redes, pues toda entidad tiene información confidencial y equipamientos que proteger.

Se recomienda analizar los riesgos que representan una amenaza, y las exigencias de seguridad que esta tiene que cumplir. Cuando las políticas de seguridad son muy estrictas, en ocasiones pueden afectar la productividad de los usuarios, especialmente si la facilidad de uso debe ser sacrificada para proteger recursos o

información. Es una práctica bastante usual construir sistemas con niveles de seguridad suficientes para llevar las pérdidas potenciales de información al nivel deseado. Un objetivo práctico puede ser garantizar que el costo que produzca brindar seguridad, no exceda el costo que implicaría recuperarse de graves incidentes. Alternativamente, algunas organizaciones prefieren implementar fuertes medidas para mitigar riesgos imprevistos.

La fibra óptica aporta el nivel de seguridad más alto entre todos los medios de conexión existentes. Son diversas y cada vez más peligrosas las amenazas que existen en internet, por lo que resulta fundamental contar con proveedores de conectividad que ofrecen protección perimetral como requisito mínimo para una internet segura [13].

Además, los operadores deben utilizar fibras que sean resistentes a los efectos de la microflexión en el interior del cable. Esto asegura que la tecnología tenga una dependencia confiable de la longitud de onda del canal. Esta elasticidad une firmemente todas las curvas de transmisión, incluidas la banda L superior y la banda U expuestas con el mayor efecto de microflexión. Además, esto garantiza que se puedan introducir diseños de cables más simples y rentables en todos los entornos.

**Gestionabilidad:** La gestión de redes se basa en la planificación, instalación, supervisión y control de los elementos que forman una red para garantizar un nivel de servicio de acuerdo a un costo. Entre sus principales objetivos de gestión se encuentran: minimizar los tiempos de reacción de gestión ante eventos de la red y la carga causada por el tráfico de gestión cuando se utiliza la red de telecomunicaciones para cursarlo; posibilitar la dispersión geográfica del control sobre aspectos de la operación de red; proporcionar mecanismos de aislamiento para minimizar los riesgos de seguridad y para localizar y contener los fallos de red; mejorar la asistencia de servicio y la interacción con los clientes. [14]

En este punto debe analizarse como utilizar las áreas funcionales de la gestión y las herramientas que se van a emplear. [15]Específicamente, para la gestión de la fibra óptica, se pueden revisar otros estudios dedicados completamente a ello [14][16][17]

**Fase II: Caracterización de la infraestructura de fibra óptica existente**

En este paso, se debe realizar una caracterización de la fibra óptica desplegada en cuanto a:

**Extensión de la fibra óptica desplegada:** Esto es importante para conocer a cuáles entidades u organizaciones se le pude ofrecer servicios de transmisión con la fibra analizada. Con la ayuda de esta información se podrá definir sí es posible ofrecer servicios a nuevos clientes.

**Infraestructura lógica:** En la infraestructura lógica es donde se conoce la red de fibra óptica desplegada. Esta puede ser: Fibra Hasta el Hogar (FTTH de (*Fiber To The Home*), Fibra Hasta el Gabinete (FTTC de *Fiber To The Cabinet)*, Fibra Hasta la Oficina (FTTO de *Fiber To The Office)*, Fibra Hasta el Nodo (FTTN de *Fiber To The Node)*, Fibra Hasta el Edificio (FTTB de *Fiber To The Building*) y Fibra Hasta la Antena (FTTA de *Fiber To The Antenna)*. Este es un aspecto fundamental ya que influye en su capacidad de extensión. Comprender la tipología existente permite identificar áreas donde se puedan agregar nuevos equipos o realizar modificaciones para ampliar la red de manera eficiente.

Tiene especial importancia en esta etapa, identificar la cantidad de hilos de fibra óptica que están en uso en la infraestructura existente debido a que a partir de este elemento se tendrá una idea de cuánto se puede expandir para implementar nuevas conexiones. Esto se puede conocer a través de medidores de potencia óptica o localizadores de fallas ópticas, o simplemente, comprobando los hilos que están siendo usados por el cliente final [18][19].

Por otra parte, se debe analizar la técnica de despliegue de la infraestructura de fibra óptica existente y así conocer el tipo de cable que se está usando, pues, para cada despliegue se utiliza un cable con características específicas; por ejemplo: en la canalización subterránea se usa el PKP (*Polyethylene Kevlar Polyethylene* o Polietileno Kevlar Polietileno traducido al español), el cual es resistente a roedores y otras perturbaciones que existen bajo tierra. Este elemento permite proyectar cómo realizar la extensión de la fibra óptica.

Es necesario en este paso conocer la ruta del cableado para identificar posibles puntos críticos, como curvas pronunciadas o zonas de alta tensión, y tomar medidas para proteger los cables y mantener la calidad de la señal.

**Infraestructura física:** Para el análisis de la infraestructura física se debe realizar un levantamiento de todos los dispositivos que se

utilizan en el sistema de fibra óptica desplegado, resumiendo sus principales características y funcionalidades. Este análisis incluye los dispositivos de interconexión que se usen en la red, como Terminales de Línea Óptica (OLT de *Optical Line Terminal*),Terminales de Red Óptica (ONT de *Optical Network Terminal*), Unidad de Red Óptica (ONU de *Optical Network Unit*), *splitters*, racks, mangas de empalme, entre otros.

Como parte de la caracterización de la infraestructura física se debe analizar el tipo de fibra óptica que está desplegada para asegurar la compatibilidad con los equipos y dispositivos que se conectaran a ella. Debido a que algunos tipos de fibra óptica requieren conectores específicos o tienen limitaciones en cuanto a la distancia que pueden cubrir.

**Fase III: Diseño lógico**

La fase "Diseño lógico", tiene como objetivo establecer la forma en que se hará la extensión de la fibra óptica existente para dar servicio a un usuario. Para ello se debe tener presente la caracterización realizada en la Fase I, lo que permitirá seleccionar la fibra óptica de interés. Además, se debe contar con la autorización del propietario de la fibra a extender y conocer si al cliente que se va a conectar le parece bien la solución que se le propone. Calcular la capacidad de transmisión requerida para satisfacer las necesidades de ancho de banda de los usuarios y garantizar un rendimiento óptimo de la infraestructura es otro aspecto de importancia en esta etapa.

**Fase IV: Diseño físico**

Durante esta fase se deben seleccionar concretamente los dispositivos que permitan la extensión de la red de fibra óptica existente, como lo son los splitters. En esta etapa, se selecciona el tipo de fibra óptica que se utilizará para realizar la extensión.

Para asegurar una red de alimentación capaz de proporcionar acceso a viviendas, edificios, oficinas o negocios que se encuentren en el recorrido previsto de la fibra óptica extendida, se debe seleccionar un cable con el suficiente número de fibras. En entornos empresariales, donde la demanda de ancho de banda es mayor debido a la necesidad de aplicaciones empresariales y comunicaciones de datos intensivas, se pueden utilizar varios hilos de fibra óptica para satisfacer estas necesidades. Por ejemplo, un enlace empresarial puede requerir 4 hilos de fibra óptica para proporcionar redundancia y así aumentar la disponibilidad de la red.

La elección de un cable de fibra óptica para cualquier aplicación requiere tener en cuenta los requisitos de instalación y ambientales. Los requisitos de instalación incluyen dónde y cómo se instalará el cable. Mientras que los requisitos ambientales deben tener en cuenta la humedad o la exposición al agua, la temperatura, la tensión (cables aéreos) u otros factores [20].

Al elaborar la solicitud de oferta del cable de fibra óptica que se va a emplear en la extensión, se deben considerar en las especificaciones los requisitos antes mencionados. Además, se debe considerar añadir a las necesidades del proyecto algunas fibras más como respaldo en caso de roturas de las que se necesitan. Es que las fibras son baratas en comparación con el costo de la instalación de los cables. Adicionalmente, en esta fase se debe conocer si en la infraestructura de fibra óptica desplegada existen cajas de registro que se puedan usar en la extensión que se planea, de no existir hay que instalarlas de forma conveniente según las zonas de interés. En estas cajas de registros se sitúa la primera etapa de división del cable de fibra óptica existente, al inicio de las redes de distribución. Esto conlleva ventajas, como una mayor reserva de las fibras para futuros servicios y ampliaciones. En estas cajas, también llamadas arquetas de comunicaciones, se realizan todas las conexiones entre fibras y divisores. Luego se pasa a seleccionar los *splitters* de primera y segunda etapa, que son los encargados de dividir y confinar los haces de luz para poder extender la red a lo largo del recorrido previsto. En la tabla 1 se recogen un grupo de características importantes que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un divisor óptico, como pueden ser: relación de división, pérdida de inserción, uniformidad de división, tipo de fibra óptica, y otras.

| Descripción | 1x2 | 1x4 | 1x8 | 1x16 | 1x32 | 1x64 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Operación de longitud de onda (nm)** | | | | 1260 – 1650 nm | | |
| **Pérdida por inserción (dB)** | 4.0 | 7.3 | 10.5 | 13.7 | 16.9 | 21.0 |
| **Uniformidad (dB)** | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 2.5 |
| **Pérdida por retorno (dB)** | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| **PDL (dB)** | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| **Directividad (dB)** | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| **Longitud del *pigtail*** | | | | 1.5 ± 0.1 | | |

Tabla 1. Especificaciones de *splitters* según la razón de división [4].

Como antes se mencionó, otro método que se tiene en cuenta para la ampliación de la red es el sangrado. Esta forma de ampliar la infraestructura se realiza en los lugares donde sea posible, dependiendo de las cubiertas y protecciones con las que cuente el cable de fibra óptica, que se va a extender[21].
A continuación, se recomienda realizar el análisis de presupuesto de potencia del sistema de fibra óptica extendido. En este paso se deben obtener valores de atenuación adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema. En el cálculo de la atenuación del enlace se consideran las pérdidas introducidas por los conectores, empalmes, las características de la fibra óptica, divisores ópticos pasivos y un margen de seguridad. La atenuación se calcula según la ecuación 4.

$$AT = L*(\alpha FO + \alpha env.FO) + \alpha E*NE + \alpha C*NC + \alpha POS + MS \quad (3)$$

**Dónde**:
**L**: longitud del enlace (km); **αFO**: coeficiente de atenuación de la fibra óptica (dB); **αenv.FO**: coeficiente de atenuación por envejecimiento de la fibra (dB/km); **αE**: pérdidas en los empalmes (dB); **NE**: número de empalmes; **αC**: pérdidas en los conectores (dB); **NC**: número de conectores; **αPOS**: pérdidas en el splitter (dB); **MS**: margen de seguridad (dB)
Un enlace cuyo presupuesto de potencia óptico sea positivo en la teoría, demuestra la viabilidad del proyecto y será mucho más resistente a los problemas que surgirán en la práctica
Una vez concluida correctamente esta fase, se puede pasar a la siguiente.

**Fase V: Simulación e instalación**

En esta fase, el primer paso es la selección del simulador. Se recomienda usar un simulador que sea de fácil instalación, cuente con una amplia gama de componentes ópticos y permita simular de forma precisa el comportamiento de sistemas de comunicación óptica, lo que ayuda a predecir el rendimiento y optimizar el diseño antes de implementarlo. El siguiente paso en esta fase es montar el escenario inicial, correspondiente a la extensión de la fibra óptica a diseñar. Cuando se hayan realizado las configuraciones pertinentes para el correcto funcionamiento de la simulación, se incorpora el diseño realizado. Seguidamente deberá considerarse si se cumple con las metas del negocio de la entidad que solicitó la conectividad por fibra, pues de no cumplirlas se deberá rediseñar la propuesta.
En la fibra óptica, existen métricas definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por las siglas de *Internacional Telecomunication Union*) que son específicas para ese tipo de redes, relacionadas con el ancho de banda, la atenuación máxima permitida, la dispersión y la potencia óptica aceptable. Cada uno de estos parámetros será necesario evaluarlos, para así saber si el diseño que se propone cumple correctamente los requerimientos técnicos requeridos por la empresa
Después de haber verificado el correcto funcionamiento de la red que fue diseñada, e identificados y corregidos los problemas, se podrá proceder a ejecutar la extensión de la fibra óptica instalada, cumpliendo con los procedimientos y normas establecidas

**Fase VI: Gestión**

En esta fase se define la forma en que debe ser gestionada la extensión de la fibra óptica instalada y puesta en funcionamiento. Para ello se deben definir los parámetros a gestionar y seleccionar la herramienta emplear que permita monitorear dichos parámetros y obtener, visualizar y almacenar las estadísticas más importantes del enlace de fibra óptica.
Es necesario recopilar datos sobre el enlace, como la potencia óptica, la atenuación, la continuidad de la señal, entre otros. Estos datos se deben analizar para identificar posibles problemas y evaluar las prestaciones generales de la fibra óptica extendida. En esta etapa

también se deben generar informes periódicos sobre el cumplimiento de la metas técnicas y el estado del sistema y configurar alertas automáticas para ser notificado inmediatamente en caso de detectar un problema en cuyo caso se debe actuar rápidamente para resolverlo y minimizar el impacto. Muchos de los datos recopilados durante la monitorización son útiles para identificar la causa raíz del problema.
Si en la monitorización se detecta algún problema en la implementación se debe volver a esa fase y corregirlo. Además, si hay algún cambio en los requerimientos se debe retornar a la primera fase y volver a recorrer el procedimiento.

## 4. VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN LA EXTENSIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA DESPLEGADA POR CUBATEL S.A

La fibra óptica de la red metropolitana de La Universidad de la Habana en el municipio del Vedado se encuentra instalada en su totalidad vía aérea y está compuesta por dos *backbone*, el primero con 4 mangas de empalme y el segundo con 6 mangas de empalme. Actualmente la capacidad de dicha infraestructura no está bien aprovechada, existiendo cavidades disponibles en las mangas de empalmes para otras derivaciones. Además, la fibra óptica del *backbone* 2 está desplegada en un área donde se encuentran varias entidades interesadas en conectarse externamente utilizando fibra óptica como Mipymes, bloques de viviendas, instituciones militares, instituciones estatales, entre otros, mientras que la fibra óptica del mencionado *backbone* solo ofrece servicios a facultades de la propia Universidad y a otros departamentos pertenecientes a ella. Es por esto que la extensión de la infraestructura existente resulta una propuesta atractiva para optimizar su uso y explotar al máximo sus capacidades.
Del total de entidades que han solicitado la conexión por medio de la fibra óptica del *backbone* 2 de la Universidad de La Habana se decidió diseñar la extensión hacia el edificio Girón por su historia e importancia.

### Fase I: Requerimientos del cliente para la para la extensión de la fibra óptica existente

Según lo planteado en el procedimiento, en esta primera fase se debe realizar un análisis de los requerimientos de la organización que desea conectividad de fibra óptica. Esto se realizará siguiendo los pasos que ya fueron definidos en la Fase I del procedimiento.
**Metas del negocio:** El país se encuentra consagrado a su propósito de transformación digital y como proyecto piloto, se ha decidido proporcionar conectividad de banda ancha al edificio residencial Girón.
**Metas técnicas:** En este punto el cliente se propone que su red de fibra óptica cumpla con altos niveles de escalabilidad, desempeño, disponibilidad, seguridad y gestionabilidad.

### Fase II: Caracterización de la fibra óptica existente

**Extensión de la fibra óptica desplegada:** La ruta cubierta por el cable del *backbone* 2 de la red de la Universidad de la Habana es amplia y se encuentra segmentado únicamente en algunos sitios.
El *backbone* 2 (figura 1) parte del centro de la red de La Universidad de la Habana (U.H) (Colina) hasta La Residencia Estudiantil de 3ra y ¨12¨ siendo este su punto final.



Figura 1. Recorrido visual de la red de la Universidad de la Habana

Este cable de fibra recorre las calles mencionadas a continuación: Nodo U.H (Colina) – Calle Ronda; Calle Ronda – Calle San Rafael; Calle San Rafael – Calle Mazón; Calle Mazón – Calle M (Cruzando Plaza Julio Antonio Mella); Calle M – Calle 21; Calle 21 – Avenida de los Presidentes (¨G¨); Avenida de los Presidentes (¨G¨) – Calle 19; Calle 19 – Calle F; Calle F– Calle 3ra; Calle 3ra – Calle 12. Llegando, como antes se mencionó, a la Residencia Estudiantil en la Calle 12 e/ 3ra y 1ra.
A lo largo de este *backbone* están instaladas seis mangas de empalme con sus respectivas derivaciones. Estas son:
**Mangas de empalme 1** – Mazón y Neptuno (2 cavidades disponibles)
- Derivación Librería Alma Mater: Calle Neptuno – Calzada Infanta; Calzada Infanta –

Calle San Lázaro, punto final Calzada de Infanta e/ San Lázaro y Concordia
**Mangas de empalme 2** – ¨M¨ y ¨27¨ (sin cavidad disponible)
- Derivación Casa de O e/ 25 y 27: Calle 27 – Calle O; Punto final Calle O e/ 27 y 25
- Derivación Casa FEU: Calle 27 – Calle K, avenida Zanja – Calzada de Infanta; Punto final calle 27 e/ Calle K y Calle L
- Derivación Casa Fernández Ortiz (En calle 27)

**Mangas de empalme 3** – ¨21¨ y ¨L¨ (1 cavidad disponible)
- Derivación Casa de M e/ 21 y 19: Calle 21 – Calle M; Punto final Calle M e/ 21 y 19
- Derivación COAP: Calle L – Calle 19; Punto final Calle 19 e/ L y K

**Mangas de empalme 4** – ¨21¨ y ¨I¨ (2 cavidades disponibles)
- Derivación Emprenta: Calle I – Calle 15; Punto final Calle I e/ 15 y 17

**Mangas de empalme 5** – ¨G¨ e/ ¨23¨ y ¨21¨ (1 cavidad disponible)
- Derivación Centro de estudio de administración pública: Calle G – Calle 25; Punto final Calle G e/ 23 y 25.
- Derivación Facultad de Turismo (En Calle G)

**Mangas de empalme 6** – ¨3¨ y ¨F¨ (2 cavidades disponibles)
- Derivación Residencia Estudiantil 3ra y F (En Calle F).

La **infraestructura lógica** actual del *backbone* 2 presenta una tipología FTTB, y una configuración de red en bus con sus derivaciones. La capacidad del cable de fibra óptica principal es de 48 hilos, de los cuales actualmente se encuentran en uso solo 20, por tanto, se cuenta con 28 hilos disponibles para ofrecer servicios a terceros que se encuentren ubicados en la ruta del cable, a su vez presenta fibras de reserva para ser utilizadas en caso de un fallo y cavidades disponibles. Los cables están desplegados de forma aérea en su totalidad, lo que provoca que estén expuestos a las lluvias y otras condiciones climáticas, afectando así su integridad. El tipo de cable utilizado es el FVP (*Fiberglass and Polyethylene cover* o Fibra con cubierta de Vidrio y Polietileno traducido al español) con micromódulos, ideal para instalaciones áreas.

En cuanto a la **infraestructura física**, la OLT del sistema de fibra óptica desplegado se encuentra ubicada en el nodo central de la Universidad de La Habana, el sistema no cuenta con ningún dispositivo para la expansión, pero si con 6 cajas o mangas de empalme que presentan las siguientes características: total de entradas/salidas (5), opciones de splitters (1x4, 1x8, 2x4, 2x8), capacidad manga de empalme (48 fibras ópticas), tipo manga de empalme (tipo domo, color negro), hermeticidad (de cierre hermético para instalación en redes canalizadas (cámaras telefónicas) y aéreas (postes y cables)), tipo de material (base y cubierta de material polimérico o polipropileno resistente a hongos, tracción, elongación y rayos UV), sellamiento domo (cordón de sellamiento reutilizable (para el cierre de la manga)), reserva buffers (incluye el espacio que garantiza la correcta instalación de las reservas de buffers, considerando la preparación de cable para trabajos de sangrado), cambio de sentido de la fibra (las bandejas permiten el cambio de sentido de la fibra), accesos del cable (dispone de al menos 1 acceso que permite realizar el sangrado del cable principal cuyo diámetro está entre 11,0 mm a 15,5 mm, y mínimo 4 accesos adecuados para salida de los cables cuyo diámetro está entre 11,0 mm a 15,5 mm. Todos estos accesos están en el lado inferior de la manga), bandejas para empalmes (se incluyen las bandejas necesarias para colocar un mínimo de 48 empalmes de fusión). Todas las bandejas permiten el acceso a cualquier empalme sin afectar las demás bandejas y son capaces de retener de forma segura y firme 12 o 24 tubillos termo-contraíbles. Tubillos termo retráctiles (incluyen 48 manguitos o tubillos termo retráctiles cuyas dimensiones están dentro del rango de 40 mm a 60 mm), tapones de sellamiento (incluye tapones de sellamiento para los accesos que no serán utilizados (mínimo 4), mismos que deben garantizar la hermeticidad de la manga).

La red de alimentación está desplegada bajo un diseño monofibra bidireccional, es decir, se multiplexa bajo la misma fibra el canal de datos ascendente y el descendente, según las longitudes de onda correspondientes a los servicios ofrecidos. El tipo de fibra óptica que está en uso es la monomodo bajo la recomendación [22]

**Fase III: Diseño lógico de la red**

Luego del estudio del *backbone* 2 y de las cavidades disponibles en las cajas de empalme, así como de la instalación del cliente (edificio Girón) se conoció que este por ser una edificación antigua no cuenta con Infraestructura Común de Telecomunicaciones (ICT de *Common Telecomunications Infraestructure*) según normativa vigente, y por lo tanto es necesario la instalación de una caja de terminales ópticos para albergar la instalación de la fibra. Luego se determinó usar una canalización

subterránea existente para el despliegue del nuevo enlace, pues es la técnica de despliegue más óptima y económica. Después se procedió a elegir la cantidad de fibras para el enlace, teniendo en cuenta el criterio de la redundancia y futuras extensiones de la red, se optó por designar 4 hilos de fibra óptica, de este modo se aumentan los niveles de disponibilidad y escalabilidad de la infraestructura. En el caso de los *splitters* sé calculó el número de divisores necesarios en la manga de empalme por la que pasa el cable alimentador, dependiendo de cuántos divisores iban a ser instalados en correspondencia con el número de viviendas a dar cobertura. Empleándose un divisor 1:4 y cuatro divisores de 1:16, que cumplen con las características reflejadas en la tabla1.

**Fase IV: Diseño físico de la red**

El edificio Girón está constituido por dos bloques de 17 plantas, por lo que se emplearan dos divisores 1:16 por bloque para cubrir la edificación por completo. Para conectar los *splitters* 1:16 con el cable principal se empleará un divisor PLC (*Planar Light Circuit* por sus siglas en inglés) de razón de división 1:4 y cada una de sus fibras irá conectada a su vez a un divisor 1:16. El siguiente paso en esta fase es la elección del cable para las nuevas derivaciones. En este caso se seleccionó la canalización subterránea como técnica de despliegue, lo que implica la elección de un cable adecuado para ello, el cable PKP, debido a sus características.
Todas las conexiones entre fibras y divisores se realizan en el interior de las cajas de empalmes. El divisor de primera etapa se sitúa en la manga de empalmes 6, que ya está ubicada en la instalación urbana, mientras que para los divisores de segundo nivel se habilitan unas cajas de registro más pequeñas, llamadas Cajas de Terminales Ópticos (CTO). Ambas contienen los empalmes entre divisores y fibra, realizados mediante latiguillos de fibra y almacenados cada uno en bandejas de manera organizada para facilitar la manipulación posterior, de forma que ciertas bandejas queden reservadas para divisores, otras para empalmes y otras para fibra sobrante. Tras alcanzar el segundo nivel de división, se debe distribuir cada fibra individual a cada planta del edificio.
El diseño físico de la red queda como se puede observar en la figura 2.

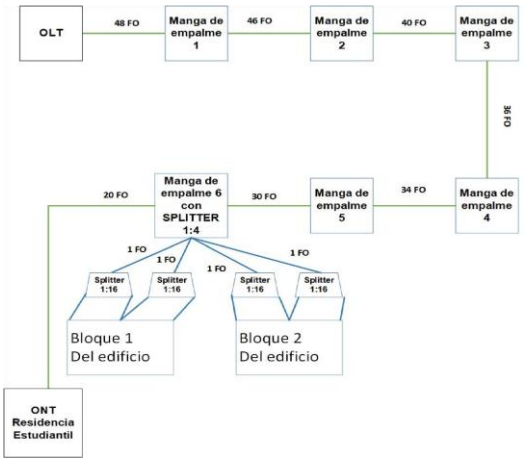



Figura 2. Esquema final del diseño físico del *backbone* 2 de la red de la Universidad de la Habana.

Para finalizar esta fase se realizó el cálculo del presupuesto de potencia óptica para evaluar el correcto funcionamiento del *backbone* 2 después de la extensión.
Datos del Enlace: Existencias de un cable de fibra óptica monomodo G.657.A1. A una distancia de 5,00 km, con una atenuación de 0,21 dB/km a 1550 nm. Una pérdida por atenuación de la fibra de 5,00 km × 0,21 dB/km= 1,05 dB. Con 2 conectores Sc/APC: 0,50 dB. Con una pérdida de 0,50 × 2,00 = 1,00 dB por conectores. Empalmes: 0,20 dB, cantidad de empalmes: 7, pérdidas por empalmes: 0,2×7= 1,4 dB, OLT con Láser clase B+: 28 dBm, Splitters: 1×4= 7.5 dB y 1×16= 14 dB, Margen de seguridad: 2,5 dB
Canal descendente:
OLT Tx Potencia: +1,50 dBm
ONT Rx Sensibilidad: -27,00 dBm

Presupuesto potencia (Pp) = Potencia – Sensibilidad (4)
Pp = 1,50 dBm – (-27,00 dBm)
Pp = 28,50 dB

Canal ascendente:
ONT Tx Potencia: +0,50 dBm
OLT Rx Sensibilidad: -28,00 dBm

Pp = Potencia – Sensibilidad (5)
Pp = 0,50 dBm – ( -28,00 dBm )
Pp = 28,5dB

Siempre se debe escoger el presupuesto más bajo a la hora de realizar los cálculos. En este caso se puede escoger cualquiera de los 2 debido a que son del mismo valor de 28,50 dB. Para

comprobar si se supera o no el presupuesto óptico, a este valor hay que restarle las pérdidas por conectorización, atenuación de la fibra, divisores (*splitters*), etc.

Presupuesto óptico inicial = 28,50 dB
Pérdida por atenuación de la fibra = 1,05 dB
\+ Pérdida por atenuación de conector = 1,00 dB
Pérdida por atenuación en empalmes=1,40 dB
Pérdida por introducción de *splitters* (solo se tiene en cuenta el *splitter* 1:4) = 7,50 dB
Margen de seguridad = 0,45 dB
Pérdida total red = 10,95 dB \

28,50 dB (presupuesto óptico) – 10,95 dB (pérdidas) = 17,55 dB (6)

Como el presupuesto de potencia óptico es positivo se considera viable el proyecto.

**Fase V: Simulación e instalación**

Una vez diseñada la red, tanto lógica como físicamente, se pasó a escoger el simulador para conocer el desempeño del diseño realizado antes de instarlo. Para ello se escogió el simulador OptiSystem debido a que proporciona una visión global del rendimiento del sistema y es de fácil empleo. Posteriormente, se creó el escenario inicial del proyecto en el simulador, se realizaron las configuraciones a los elementos de la red y se implementó la propuesta de solución. Luego para analizar el comportamiento de la extensión se colocó un medidor de potencia óptica. El valor de potencia óptica obtenido concordó con los cálculos realizados anteriormente en la fase de diseño físico, demostrando así la viabilidad del proyecto. Como parte de este trabajo no fue posible realizar la instalación del diseño realizado.

**Fase VI: Propuesta para la gestión del backbone 2 de la red de la Universidad de la Habana**

Una vez finalizada la fase anterior, se puede pasar a realizar una propuesta de gestión. Como se vio en la fase 1, la gestión del backbone 2 no se realiza y es un incentivo para que la UH permita hacer la conexión a fibra óptica de otros clientes desde uno de sus backbone es que se gestione. Para satisfacer este requerimiento se recomienda el uso de un sistema remoto de pruebas de fibra óptica (RFTS por las siglas en inglés de *Remote Fiber optic Testing System*), que realiza pruebas de forma coordinada con un servidor de gestión que efectúa un análisis de toda la red de fibra óptica. Al conjunto de comandos de pruebas, resultados y análisis se accede normalmente por medio de una aplicación de interfaz web segura en un portátil o una aplicación móvil.

Este sistema de monitorización también se puede emplear para establecer tendencias y para analizar el cumplimiento de las metas técnicas. Con el RTFS se garantiza la supervisión de toda una red de fibra óptica, incluida la fibra oscura, desde una ubicación central. Con este método exhaustivo, el rendimiento de la red se puede evaluar de manera continua, además de minimizar el tiempo medio de reparación (MTTR), con lo que aumenta la disponibilidad del sistema. La monitorización remota reduce la parte dedicada a la localización de fallos lo que forma parte del proceso de reparación y se lleva a cabo, tanto de manera remota, como con intervención física. Esto supone, normalmente, del 30 al 40 % de todo el tiempo dedicado al proceso de reparación. Así pues, la precisión de la monitorización remota de la fibra óptica, con la tecnología de RTSF para localizar los fallos de la fibra, es una de las claves para minimizar el MTTR.

## 5. CONCLUSIONES

Como resultado de esta investigación se propone un procedimiento para realizar la extensión de una red de fibra óptica desplegada, el cual consta de 7 fases: Fase I: “Análisis de los requerimientos del cliente”, Fase II: “Caracterización de la infraestructura existente”, Fase III: “Diseño lógico”, Fase IV: “Diseño físico”, Fase V: “Simulación e instalación”, Fase VI: “Gestión”. El procedimiento realizado, se validó a través de su aplicación a un caso real por lo que se considera que cumple con el objetivo de que pueda ser utilizado por empresas que oferten la extensión de una red de fibra óptica.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] John M. Senior, *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. England: Pearson Education Limited, 2009.
[2] B. Mukherjee, I. Tomkos, M. Tornatore, P. Winzer, y Y. Zhao, *Springer Handbook of Optical Networks*. Springer Nature, 2020.
[3] Gastone Bonaventura, Tom Hanson, Shigeru Tomita y Kazuyuki Shiraki, Edoardo Cottino, y Bernd Teichmann, *Optical fibres, cables and systems*, 2009.

[4] Diego Israel Urgilés Reyes, «Implementación y evaluación de un módulo portátil con elementos pasivos y activos de una red de fibra óptica para un escenario de pruebas en el laboratorio de telecomunicaciones.», Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad – Ecuador, 2022.

[5] Juan Carlos Copa Merlo, «Diseño de una red GPON para los Rosales de Achumani del municipio de la Paz en base a los requerimientos de Entel», Universidad Mayor de San Andres, La Paz- Bolivia, 2016.

[6] Josep Cabrera, «Comparativa Fibra Óptica vs Cobre: Ventajas y Desventajas», 26 de marzo de 2021. [En línea]. Disponible en: https://optral.com/noticias/fibra-vs-cobre

[7] Mercedes Victoria Jijón Montero y Stalyn Lenin Rojas Carrión, «Análisis de factores que influyen en la transmisión del cable de fibra óptica», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador, 2017.

[8] «¿Qué es el jitter? Definición y medidas preventivas», *IONOS Digital Guide*, 2 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/jitter/

[9] Antoniolidia, «Escalabilidad en redes: crecimiento sostenible», *Todo Ingenierías*, 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://todoingenierias.com/escalabilidad-en-redes-crecimiento-sostenible/

[10] TeleManagement Forum, *TMF 701v2.0. Performance reporting concepts & definitions*, 1201 Mt. Kemble Avenue Morristown, NJ 07960 USA., noviembre de 2001.

[11] Siemens Industry Online Support, «Network concept for redundant connections of SIMATIC virtual PLCs», vol. V1.0, n.º 109955831, may 2024.

[12] K. Dooley, «Network Redundancy and Why It Matters», *Auvik*, 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.auvik.com/franklyit/blog/simple-network-redundancy/

[13] S. Kaur, P. Singh, V. Tripathi, y R. Kaur, «Recent trends in wireless and optical fiber communication», *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, n.º 1, pp. 343-348, jun. 2022, doi: 10.1016/j.gltp.2022.03.022.

[14] *UIT-T M.3010 Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones*, febrero de 2000.

[15] Gianni, «LACNIC Blog | Herramientas fundamentales para una buena gestión de las redes», *LACNIC Blog*, 21 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://blog.lacnic.net/herramientas-fundamentales-para-una-buena-gestion-de-las-redes/

[16] J. Villarreal, «Gestión de Fallas en Redes de Fibra Óptica al Hogar –FTTH», *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, vol. 20, n.º 1, pp. 48-58, 2021.

[17] P. Cerpa Lopez, «Implementación de un sistema de monitoreo y gestión para redes inalámbricas y fibra óptica con Mikrotik utilizando el software “Dude” para la empresa Avidtel en el municipio de Saravena – Arauca.», p. 80, 2021.

[18] Tomáš Ivaniga y Petr Ivaniga, «OTDR Measurements on PON Network with Utilization of Optical Fiber G.652.D», vol. 18, p. 5, 2019.

[19] S. Liu *et al.*, «Advances in phase-sensitive optical time-domain reflectometry», *OEA*, vol. 5, n.º 3, pp. 200078-200078, 2022, doi: 10.29026/oea.2022.200078.

[20] Furukawa Electric, «Buenas Prácticas de Instalación y pruebas de la solución Capítulo VI», p. 70, 16 de agosto de 2020.

[21] Katy Medrano Gomez, «Propuesta de diseño de planta externa de una instalación de fibra óptica de 50 mbps utilizando la red de optical networks para el servicio de conexión de enlace respaldo alternativo para el almacén bebidas premium ubicado en Villa El Salvador», Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa El Salvador, 2019.

[22] *Recommendation ITU-T G.657. Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable*, 2016.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SÍNTESIS DEL PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL TERRENO CON RADAR DE APERTURA SINTÉTICA CON EXPLORACIÓN LATERAL EN LA BANDA X

**Yaniel Manuel Díaz Domínguez[1]** **Juan Manuel Valdéz Díaz[2]**

[1]Instituto Técnico Militar ¨ José Martí ¨. Playa, entre avenida 45 y calle 66 A.
[2]Instituto Técnico Militar ¨ José Martí ¨. Playa, entre avenida 45 y calle 66 A
[1]ydiazd82@gmail.com

**RESUMEN**

Los radares de apertura sintética (SAR) son herramientas muy valiosas en la agricultura moderna debido a su capacidad para proporcionar datos precisos y consistentes en diversas condiciones climáticas. Dentro de sus principales aplicaciones e importancia se encuentra el monitoreo de cultivos, la evaluación de la salud de los cultivos, optimización del uso de la tierra, detección de inundaciones y sequías, clasificación de tipos de cultivos. Para comprobar algunos de los elementos más relevantes de las características de estos sistemas se voló un vehículo aéreo no tripulado (UAV) con una SLAR abordo correspondiente a la banda Ku (15 GHz) y X (9.6 GHz), con una resolución pre-procesamiento de 0.5X0.5 metros y pos-procesamiento de 0.15X0.15 metros. El UAV exploró a una altura de 300, 280 y 250 metros, con un θl=45°. En el terreno se ubicó un autobús, dos carros pequeños y seis reflectores de angulares de caras triangulares de 30 cm y 20 cm en varios escenarios tipos de terrenos para evaluar su comportamiento. Durante la exploración se emplearon las polarizaciones HH, VV, VH y HV para comprobar la calidad de las imágenes recibidas de los reflectores angulares. Durante los experimentos se comprobó: la influencia de la vegetación, la relación entre la polarización la energía dispersada por el reflector angular, la influencia del terreno en función de la banda de trabajo.

**PALABRAS CLAVES:** radar de apertura sintética, agricultura, terreno, banda X, vehículo aéreo no tripulado.

**ABSTRACT**

Synthetic aperture radars (SAR) are invaluable tools in modern agriculture due to their ability to provide accurate and consistent data in various weather conditions. Among its main applications and importance are crop monitoring, crop health assessment, land use optimization, flood and drought detection, crop type classification. To test some of the most relevant elements of the characteristics of these systems, an unmanned aerial vehicle (UAV) was flown with an onboard SLAR corresponding to the Ku (15 GHz) and X (9.6 GHz) bands, with a pre-processing resolution of 0.5X0.5 meters and post-processing of 0.15X0.15 meters. The UAV explored at an altitude of 300, 280 and 250 meters, with a θl=45°. A bus, two small cars and six angular reflectors with triangular faces of 30 cm and 20 cm were located on the ground in various terrain scenarios to evaluate their behavior. During the scan, the HH, VV, VH and HV polarizations were used to check the quality of the images received from the angular reflectors. During the experiments, the influence of vegetation, the relationship between polarization and energy dispersed by the angular reflector, and the influence of the terrain depending on the working band were verified.

**KEY WORDS:** synthetic aperture radar, agriculture, terrain, X-band, unmanned aerial vehicle.

## INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de radares de apertura sintética con exploración lateral (SLAR por sus siglas en inglés) en la década de 1950, se tuvo el primer radar con un procesamiento de la imagen del terreno fiable. El tamaño S de esta huella instantánea en la dirección de alcance o a lo largo de la trayectoria (acimut) se define en gran medida por la relación entre la longitud de onda del sistema λ y la longitud lateral de la antena L (el ancho de haz de la antena se define a través de $\beta = \lambda/L$) a lo largo de esta dirección, así como por la distancia del sensor de radar desde el suelo R. Estos sistemas de radar son empleados por la mayoría de los sistema exploración, mayormente los sensores en banda X se utilizan predominantemente para el monitoreo urbano y de infraestructura. Debido a la resolución de los radares de banda X, son empleados en vigilancia y seguimiento y también se utilizan a menudo en el monitoreo de instalaciones industriales [1].

Para comprobar algunos de los elementos más relevantes de las características de estos sistemas se voló un UAV con una SLAR abordo correspondiente a la banda Ku (15 GHz) y X (9.6 GHz), con una resolución pre-procesamiento de 0.5X0.5 metros y pos-procesamiento de 0.15X0.15 metros. El UAV exploró a una altura de 300, 280 y 250 metros, con un $\theta_l$=45°. En el terreno se ubicó un autobús, dos carros pequeños y seis reflectores de angulares de caras triangulares de 30 cm y 20 cm en varios escenarios. Durante la exploración se emplearon las polarizaciones HH, VV, VH y HV para comprobar la calidad de las imágenes recibidas de reflectores angulares. Durante los experimentos se comprobó: la influencia de la vegetación para el enmascaramiento, la relación entre la polarización la energía dispersada por el reflector angular, la influencia de la selección del terreno y la posibilidad de emplear reflectores angulares para el enmascaramiento de los medios.

La configuración de la exploración de un sistema SLAR se muestra en la Figura 1 y consiste en un sensor de radar montado en avión que, en este ejemplo simplificado, se mueve a lo largo de una trayectoria recta a una altitud H.

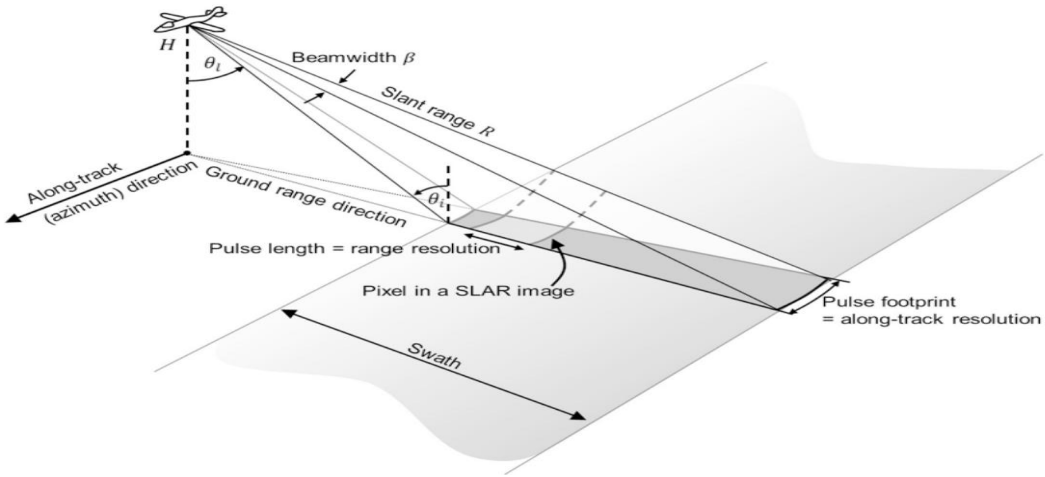



Figura 1. Geometría de observación de un generador de imágenes SLAR. El radar se desplaza a lo largo de una línea recta a altitud H y observa la Tierra en un ángulo de observación oblicuo $\theta_l$. El tamaño de la huella iluminada está definido por el ancho de haz de la antena β y la distancia entre el radar y el suelo R. Obsérvese que el haz de radar es amplio en la dirección del alcance, pero estrecho en la acimut. La generación de una imagen se ve facilitada por el movimiento hacia adelante de la plataforma aerotransportada [2].

Mientras avanza a lo largo de su trayectoria, el sistema de radar está transmitiendo una secuencia de pulsos cortos de microondas de longitud de impulso $\tau_P$, cada una de las cuales ilumina un área instantánea en el suelo (S) que generalmente se denomina huella de antena (véase el área gris más oscura en la Fig. 1). El tamaño S de esta huella instantánea en la dirección de alcance o a lo largo de la trayectoria (acimut) se define en gran medida por la relación entre la longitud de onda del sistema λ y la longitud lateral de la antena L (definiendo el ancho de haz de la antena a través de $\beta = \lambda/L$) a lo largo de esta dirección, así como por la distancia de la sensor de radar desde el suelo R.

$$S \approx \frac{\lambda}{L} R = \beta R \ (m) \qquad (1)$$

Para formar una imagen bidimensional, los ecos recibidos de la tierra se clasifican por su tiempo de llegada tanto por distancia como por acimut. En la distancia los ecos reflejados llegan progresivamente con diferencia de tiempo desde el inicio de la exploración hasta el final. Los objetos a diferentes distancias se pueden distinguir si su separación es mayor que la mitad la longitud del pulso transmitido (para el caso de un radar sin modulación interior de los pulsos). Por lo tanto, la resolución de alcance de un sistema SLAR se define por:

$$\rho_R = \frac{c\tau_p}{2} \qquad (2)$$

Mientras que el parámetro $\rho_R$ es útil para muchas cuestiones de diseño de sistemas, la detección suele estar más interesada en la resolución por distancia en el suelo $\rho_G$, que describe la capacidad de discriminar objetos que están situados en el suelo y se calcula a partir de $\rho_R$ a través del ángulo de incidencia local $\theta_i$

$$\rho_G = \frac{\rho_R}{\sin \theta_i} \qquad (3)$$

La ecuación 3 muestra que la resolución $\rho_G$ no es constante a lo largo de la dirección de irradiación y, de hecho, mejora con la distancia (debido al aumento de $\theta_i$). Esto es opuesto al comportamiento de la mayoría de las ópticas sistemas en los que la resolución del suelo se degrada con el aumento de $\theta_i$.

En la dirección a lo largo de la pista (o acimut), el terreno es escaneado por el movimiento del radar. En el caso de los sistemas SLAR, la resolución acimutal $\rho_{Az}$ (la capacidad de discriminar objetos en la dirección acimutal) se define por el ancho de la huella de antena en acimut $S_{Az}$, que, a su vez, es limitada por la longitud lateral $L_{Az}$ de la antena en esta dirección. Por lo tanto, siguiendo la Ec. (1), la resolución acimutal corresponde a:

$$\rho_{Az} = S_{Az} \approx \frac{\lambda}{L_{Az}} R = \beta_{Az} R \ (m) \qquad (4)$$

La Ec. (4) indica que la resolución acimutal $\rho_{Az}$ se degrada linealmente con el aumento de la distancia entre el sensor y la tierra R. Esto tiene dos implicaciones importantes para los sistemas SLAR: primero, como R cambia a lo largo de la exploración, la resolución acimutal de un SLAR no es constante en toda la dirección de azimut. En segundo lugar, y más importante, la dependencia de $\rho_{Az}$ de la distancia a la R hace que la aplicación de sistemas SLAR en plataformas espaciales de gran altitud o incluso espaciales sea impráctico [3].

Para ilustrar este punto, supongamos un sistema SLAR en banda C que funciona a $\lambda$ = 0,03 [m] y utiliza una antena de L = 3[m] de longitud. Si se opera desde un aeronaves a H = 3000 [m] de altitud y observando a una ángulo de incidencia de $\theta_l = 30°$, este sistema logrará un resolución acimutal aceptable de $\rho Az$ = 0,01 · 3000 ·2 = 60[m]. Sin embargo, si se opera el mismo sistema desde una plataforma espacial a H = 800 [km], $\rho_{Az}$ se degrada a $\rho_{Az}$ = 16[km], que está por debajo de la rendimiento del sistema para la mayoría de las aplicaciones de observación de la Tierra.

De tal manera los sistemas que emplean este tipo de SLAR tienen una relación de compromiso entre la resolución por distancia y acimut (con el aumento de la distancia mejora la resolución en esta dirección, caso contrario en el acimut).

## PROPIEDADES DE LOS DATOS RECOPILADOS POR EL SLAR

Debido a la geometría de observación oblicua inherente a todos los sistemas de radar de imágenes, superficies montañosas y similares, las características del terreno provocan distorsiones geométricas en los datos adquiridos por sistemas SAR. Las distorsiones son disminución de las dimensiones, la escala y la sombra (foreshortening, layover, shadow.). Los orígenes y las principales características de estas distorsiones se resumen en la figura.

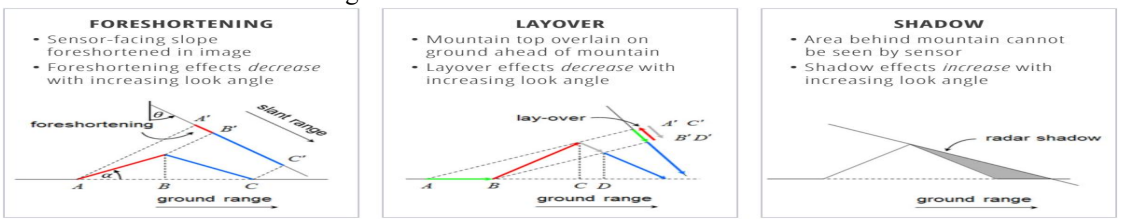



Figura 2. Principales distorsiones geométricas en las imágenes SAR con su dependencia de la geometría de adquisición:(a) disminución de las dimensiones, (b) escala y (c) sombra [1].

En la figura 3 se aprecia levemente el efecto sombra. Al realizar la exploración en la dirección que corresponde al lateral derecho de la imagen, se observa la sombra de los árboles y edificaciones en la zona.



Figura 3. Efecto sombra, tomado del terreno, exploración en la banda Ku, polarización VV.

La figura 4 ofrece una visión general conceptual de la influencia de la longitud de onda del sensor (λ) en la penetración de la señal en una variedad de tipos de superficies. Las señales de radar penetran más profundamente a medida que aumenta la longitud de onda del sensor. Esto está relacionado con la dependencia del constante dieléctrico ε en la longitud de onda incidente, lo que permite mayor penetración en la banda L que en las bandas C o X. En el caso de las zonas con vegetación, las señales de banda X se dispersan principalmente en las copas de los árboles, mientras que las señales de las bandas C y L penetran cada vez más más profundo en el volumen de la vegetación.

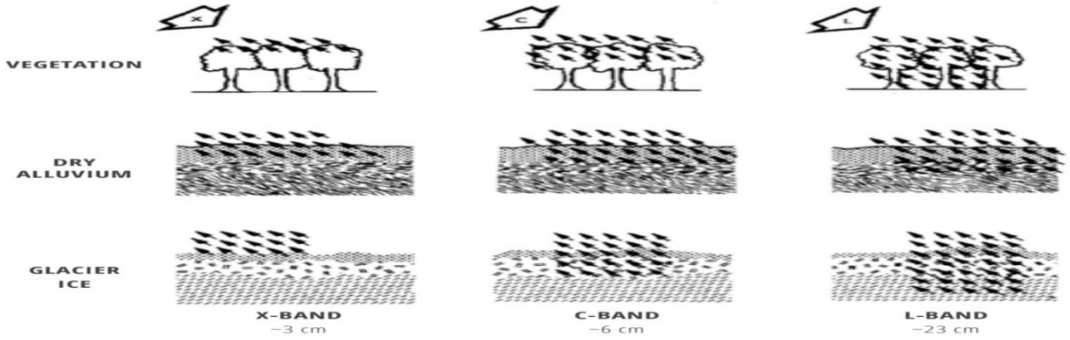



Figura 4. Penetración de la señal SAR por la longitud de onda del sensor λ [1].

Además de la longitud de onda del sensor, la penetración la profundidad de una señal SAR en el follaje de la vegetación también es influenciada por la densidad de este. Por ejemplo, mientras que los datos SAR de banda C pueden "ver" el suelo debajo de los bosques boreales dispersos, las señales de banda C no ser capaz de penetrar completamente en el lugar más denso y estratificado (estructura de la copa de los árboles de las selvas tropicales) [1].

Durante el experimento se ubicó un auto pequeño debajo de la foresta como se muestra en la figura 5



Figura 5. Auto pequeño ubicado debajo de pequeños arbustos

Como se observa en la figura 6 durante la exploración del SLAR no se pudo observar reflexiones (Banda X) del carro pequeño debido a la poca penetración de la señal SAR en el follaje

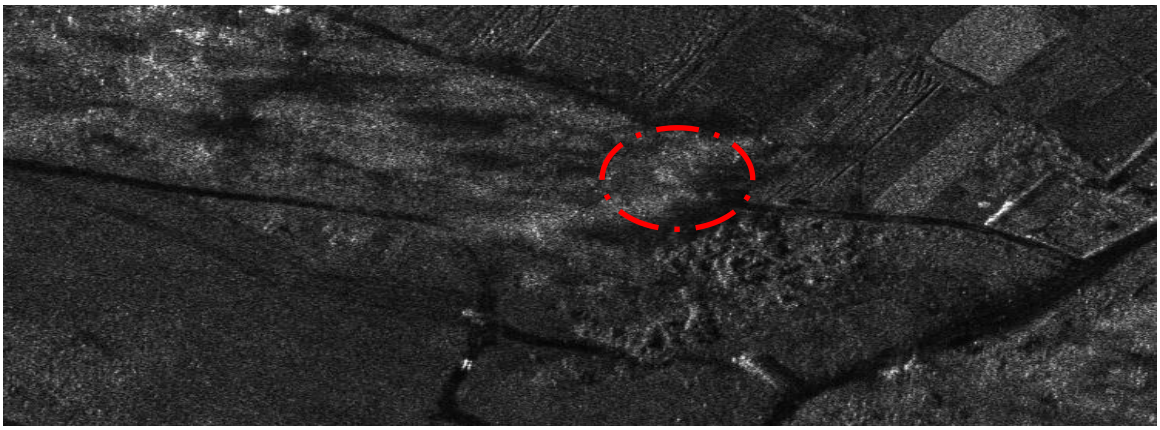


Figura 6. Pérdida del auto pequeño ubicado debajo de pequeños arbustos debido a la banda de frecuencia

**RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE**

Con pocas excepciones (nieve seca, suelos arenosos secos), la mayoría de las superficies lisas o con poca vegetación permiten muy poca penetración de la radiación de microondas (Fig. 4 (b)) de tal manera que predomina la dispersión de la superficie domina. En estos casos, la rugosidad de la superficie de dispersión es el principal impulsor que define el RCS observado en una escena SAR.

En el caso de los sistemas de imágenes de banda estrecha como el SAR, el hecho de que una superficie parezca rugosa o no sólo puede decidirse teniendo en cuenta la longitud de onda del sensor de observación. Si la escala de rugosidad de una superficie rugosa aleatoria se caracteriza utilizando la desviación estándar de la desviación de altura h de una altura media h de la superficie, entonces la cuestión de qué tan grande tiene que ser h para que una superficie parezca rugosa para un SAR. Según el criterio de Fraunhofer, una superficie se define como rugosa si la altura las desviaciones exceden el valor que está determinado por la Ec. (5) [1]:

$$h_r > \frac{\lambda}{32 \cos \theta_i} \qquad (5)$$

Nótese que la relación en la Ec. (5) depende de la longitud de onda de la señal λ e indica que una superficie con variaciones de altura, h puede tener un valor aproximado en la banda X, pero posiblemente no en las bandas C o L. Este concepto de rugosidad dependiente de la longitud de onda se visualiza en Figura 7, que muestra el aumento de las condiciones de rugosidad de izquierda a derecha e identifica la transición a superficie lisa (Fig. 7 (a)) a intermediamente rugoso (Fig. 7 (b)) a superficies rugosas (Fig. 7 (c)) de acuerdo con el criterio de Fraunhofer en la Ec. (5). Eso se puede ver que la cantidad de retrodispersión aumenta (longitud de las flechas azules que apuntan hacia el sensor) a medida que la rugosidad aumenta de tal manera las superficies rugosas (en longitud de onda λ) tienen un RCS más alto que el superficies rugosas o lisas.

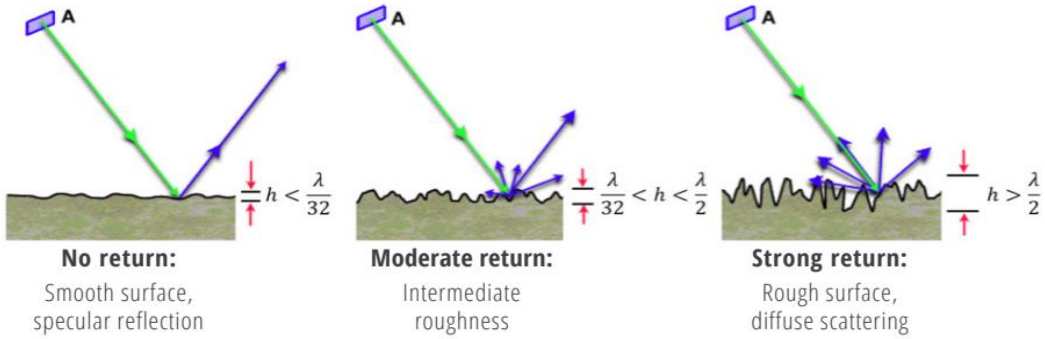



Figura 7. Esquema conceptual de la dependencia de la rugosidad de la superficie con respecto a la longitud de onda del sensor λ: (a) liso, (b) intermedio y (c) rugoso [3].



Figura 1.8 Vista aérea del terreno a explorar

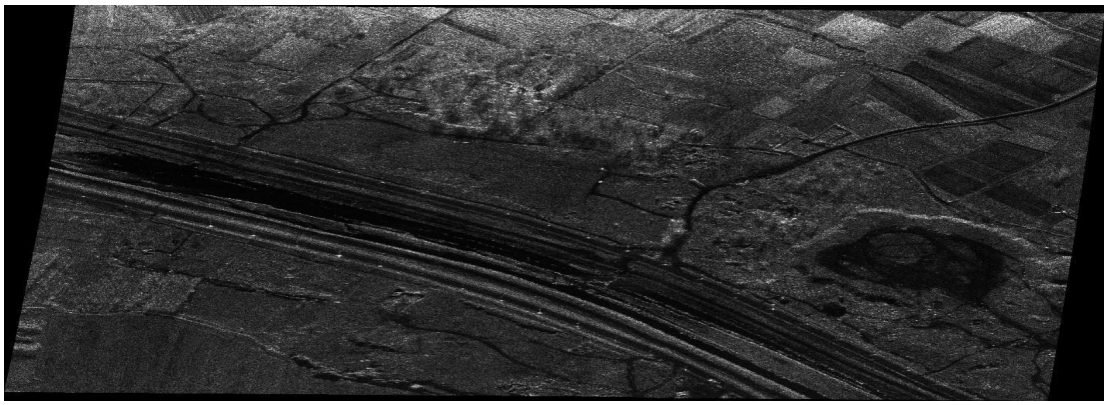


Figura 9. Influencia de la rugosidad del terreno en la reflexión.

Los resultados en la figura 9, muestran como la diferencia en el terreno proporcionará valores de señales diferentes. Este aspecto se puede utilizar en la selección del terreno.

## LA INFLUENCIA DE LA SEÑAL POLARIZACIÓN

Dado que el SAR es un instrumento activo con su propia fuente de iluminación, es una de las pocas instrumentos que le permitan a uno controlar completamente (y explotar plenamente) la polarización de la señal tanto en los trayectos de transmisión y recepción. La polarización describe la orientación del plano de oscilación de una señal que se propaga. En sistemas polarizados linealmente, la orientación de este plano de oscilación es constante a lo largo del trayecto de propagación de la onda. En otros sistemas, como los SAR polarizados circulares o elípticamente, la orientación de la oscilación cambios de plano, describiendo formas geométricas como elipses o círculos.

La mayoría de los sensores SAR actuales son lineales polarizadas y transmiten formas de onda polarizadas horizontal y/o verticalmente. Muchos de los satélites SAR llevan sensores de polarización simple, que admite solo una polarización lineal. Estos sensores operan predominantemente en HH (polarización horizontal en la transmisión; polarización horizontal en la recepción) o polarización VV (transmisión vertical; recepción vertical), mientras que los sensores de polarización simple transmiten una polarización lineal y recibir la otra (p. ej., HV (transmisión horizontal; recepción vertical)) son raros en la práctica.

Los sensores recientes proporcionan capacidades de polarización dual o cuádruple. En esta última, el sensor alterna entre la transmisión de H y de onda polarizadas en V y que reciben tanto H como V simultáneamente, proporcionando imágenes polarizadas de HH, HV, VH y VV.

Conocer la polarización a partir de la cual una imagen SAR adquirida es importante, ya que las señales en diferentes polarizaciones interactúan de manera diferente con los objetos en la tierra, afectando a la luminosidad de radar registrada en un canal de polarización específico.

Para simplificar, se supone que una escena natural puede describirse como una combinación de tres tipos de dispersores: (1) dispersores de superficie rugosa, (2) dispersora de doble reflexión y (3) dispersora de volumen. Se ilustra la naturaleza de estos tipos de dispersión en la figura 10. La categoría de los dispersores de superficie (mostrado en azul en la Fig. 10) está formado por campos de vegetación baja y suelos casi planos, así como carreteras y otras superficies pavimentadas. Dispersores de doble reflexión (rojos en Fig. 10) incluyen edificios, troncos de árboles, postes de luz, y otras estructuras verticales que efectúan una primera reflexión de vuelta al sensor. Finalmente las copas de los árboles de vegetación pertenecen a la categoría de volumen dispersores (verde en la Fig. 10) a medida que las señales se reflejan varias veces a medida que se propagan a través de la estructura de la vegetación.

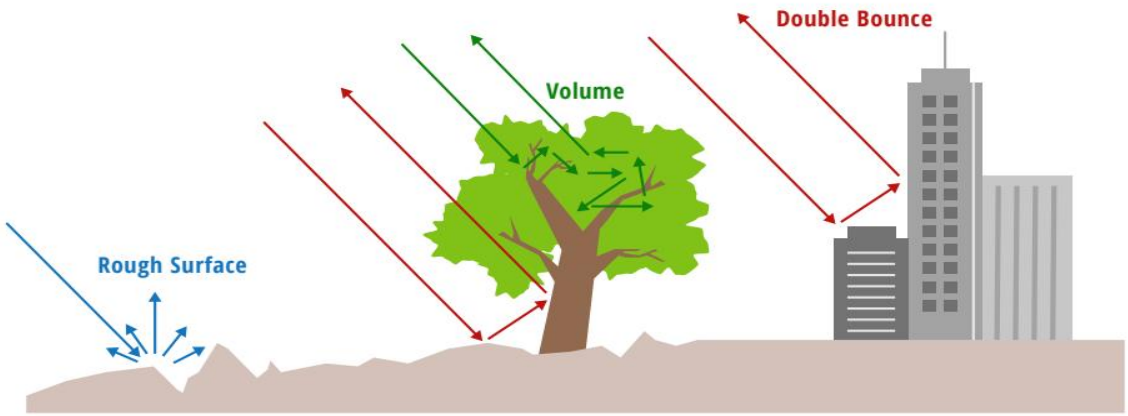



Figura 10. Esquema para los tres tipos principales de dispersión considerados para los datos SAR [1].

Resulta que estos tipos de dispersión no contribuyen a todos los canales polarimétricos por igual como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Intensidad relativa de dispersión por polarización

| | |
|---|---|
| Rough Surface Scattering | $\|S_{VV}\| > \|S_{HH}\| > \|S_{HV}\|$ or $\|S_{VH}\|$ |
| Double Bounce Scattering | $\|S_{HH}\| > \|S_{VV}\| > \|S_{HV}\|$ or $\|S_{VH}\|$ |
| Volume Scattering | Main source of $\|S_{HV}\|$ and $\|S_{VH}\|$ |



Figura 11. Imagen general para la polarización HH

En la figura 12 se representa la imagen pos-procesamiento para la polarización HH, en la 13, VV, 14, HV y 15, VH.

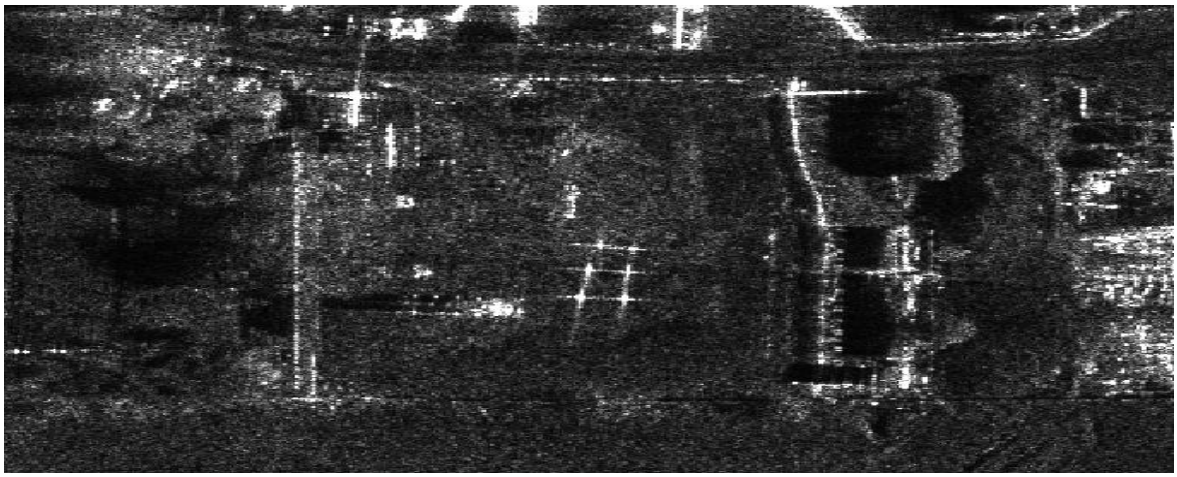


Figura 12. Región ampliada de la región con los reflectores angulares para la polarización HH

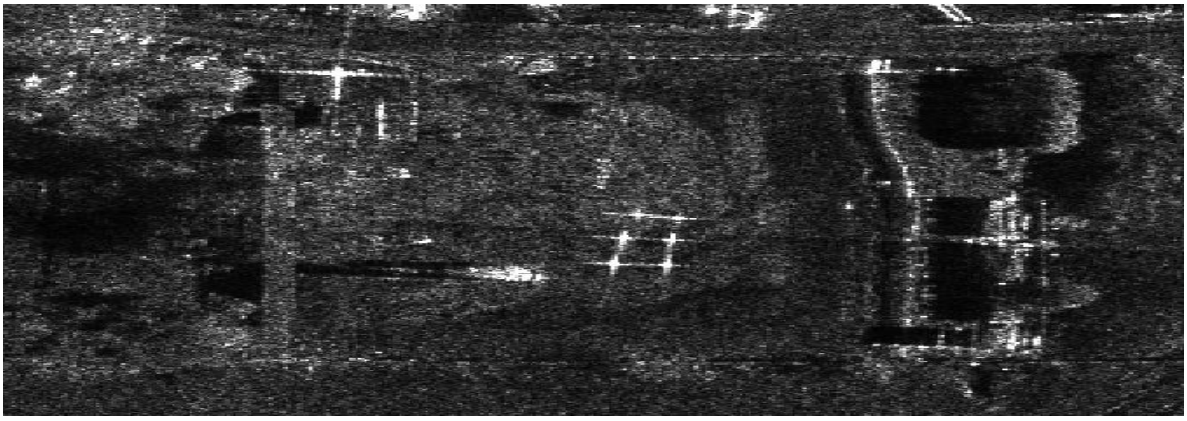


Figura 13. Región ampliada de la región con los reflectores angulares para la polarización VV

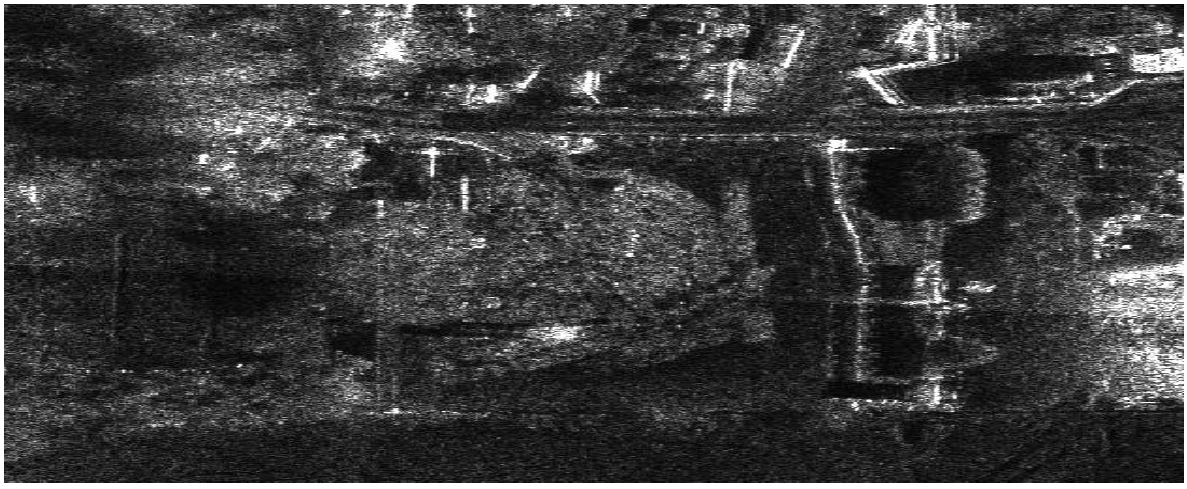


Figura 14. Región ampliada de la región con los reflectores angulares para la polarización VH

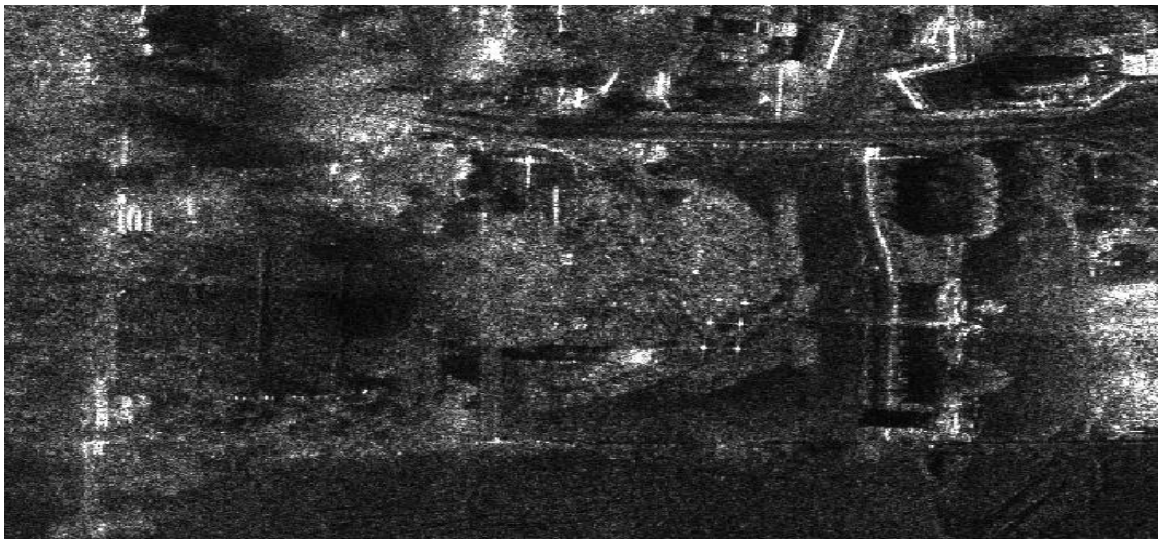


Figura 15. Región ampliada de la región con los reflectores angulares para la polarización HV

Los resultados obtenidos corresponden con lo planteado en la tabla 1.1. La reflexión de los reflectores angulares se aprecia que tiene mayor intensidad para del caso de las polarizaciones VV y HH con respecto a las polarizaciones VH y HV.

## CONCLUSIONES

El procesamiento de imágenes del terreno utilizando Radar de Apertura Sintética (SAR) con exploración lateral en la banda X tiene varias conclusiones importantes:
Alta Resolución: La banda X permite obtener imágenes de alta resolución, lo que es crucial para aplicaciones detalladas como la cartografía precisa y el monitoreo de infraestructuras.
Penetración en la Vegetación: Aunque la banda X tiene una menor capacidad de penetración en la vegetación comparada con bandas de mayor longitud de onda, sigue siendo útil para observar estructuras superficiales y cambios en el terreno.
Condiciones Climáticas: Una de las ventajas más significativas del SAR es su capacidad para operar en cualquier condición climática y a cualquier hora del día. Esto es especialmente útil en áreas con alta cobertura nubosa o durante la noche.
Aplicaciones Diversas: Las imágenes SAR en la banda X se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde la agricultura y la gestión de recursos naturales hasta la vigilancia y la seguridad. Esto se debe a su capacidad para proporcionar datos precisos y fiables.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos aquellos que han hecho posible la compilación de los resultados plasmados en el trabajo.

## REFERENCIAS.

[1] C. authors, The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive for Forest Monitoring and Biomass Estimation, EE. UU: National Space Science and Technology Center, 2019.

[2] P. CANER ÖZDEM˙IR, Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms, EE. UU: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2012.

[3] R. K. C. F. a. J. M. Brett Haywood, ISARLAB - Inverse Synthetic Aperture Radar Simulation and Processing Tool, Australia: Electronics and Surveillance Research Laboratory, 1998.

## SOBRE LOS AUTORES

[1]Doctor en Ciencias Técnicas, Máster en Radioelectrónica, Ingeniero en Radioelectrónico, Instituto Técnico Militar “José Martí”, ydiazd@nauta.cu.
[2]Especialista en 1er Grado, Ingeniero en Radioelectrónico, Instituto Técnico Militar “José Martí”.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# EMPLEO DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL CUBANA CON FINES DE RADIOLOCALIZACIÓN

**Ivanoy Rivera Martínez[1], Alexander Grandales Badell[2], George Ybert Durruthy[2], Javier Delgado Chávez[2]**

[1]Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", [1]dir: Calle 15 y 86A, Playa, La Habana, Cuba,
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

[2]Instituto Técnico Militar "José Martí", [2]dir: Calle 66A Esq.45, Playa, La Habana, Cuba,
[2]e-mail: itm@unicom.co.cu

**RESUMEN**

El radar surgió para garantizar la detección de objetos por medio de ondas de radio y obtener la información relevante sobre ellos. Hoy en día, los sistemas de radares se emplean en muchas esferas de la sociedad. Las técnicas de radiolocalización biestática se han retomado en los últimos años, especialmente, por la utilización de "iluminadores de oportunidad" en una región determinada. Los sistemas de radares con tales características, son pasivos y no se descubren con facilidad. Una de las fuentes de oportunidad que muestra mayores beneficios para aplicaciones de radares pasivos son las señales de televisión digital. Dichas formas de onda tienen una función de ambigüedad casi similar a la ideal. En este artículo se considera la viabilidad de usarlas para fines de radiolocalización, en aras de complementar la tarea desarrollada por los sistemas del control del tráfico aéreo. Inicialmente, se examina a partir de las etapas claves de un radar pasivo: el rechazo de interferencia pasiva, resolver la función de correlación bidimensional y sus incertidumbres en la medición, y se considera la ganancia de procesamiento en la detección de los objetivos.

**PALABRAS CLAVES:** Radar biestático pasivo, integración coherente, función de ambigüedad, radar OFDM.

**USE OF THE CUBAN DIGITAL TELEVISION SIGNAL FOR RADIOLOCATION PURPOSE**

**ABSTRACT**

Radar emerged to guarantee the detection of objects using radio waves and obtain relevant information about them. Today radar systems are used in many spheres of society. Bistatic radiolocation techniques have been revived in recent years, especially due to the use of "opportunity illuminators" in a given region. Radar systems with such characteristics are passive and are not easily discovered. One of the sources of opportunity that shows greatest benefits for passive radar applications are digital television signals. Such waveforms have an almost ideal ambiguity function. This article considers the viability of said signal for radiolocation purposes, in order to complement the task developed by air traffic control systems. Initially, it is examined from the key stages of a passive radar: passive interference rejection, resolving the two-dimensional correlation function and its measurement uncertainties, and the processing gain in target detection is considered.

**KEY WORDS:** Passive bistatic radar, coherent integration, ambiguity function, radar OFDM.

## 1. Introducción

Los sistemas de control de tráfico aéreo (ATC, del inglés *Air Traffic Control*) civiles convencionales son capaces de detectar objetivos e identificar aeronaves colaborativas en el espacio aéreo, pero no garantizan una cobertura total a bajas altitudes, en presencia de objetivos no cooperativos y aeronaves con un valor bajo de superficie efectiva de reflexión (RCS, del inglés *Radar Cross Section*). La mejora general del

sistema de vigilancia aéreo vendría dada por la combinación de la información proporcionada por los sistemas convencionales (sistemas de vigilancia primario/secundario) e innovadores (radares pasivos o distribuidos) que pueden compensarse entre sí. Como es evidente, la integración en el sistema de sensores innovadores (redes pasivas y/o biestáticas/multiestáticas) permite ampliar la cobertura del sistema ATC incluyendo también las zonas ciegas. Del análisis de los sistemas innovadores, se desprende que, para garantizar una cobertura adecuada del área bajo control, se debe considerar una red densa de sensores pasivos/biestáticos (por solo mencionar un caso). Vale la pena señalar que el rendimiento alcanzable en términos de resolución de alcance y precisión depende del tipo y la cantidad de sensores utilizados. Específicamente, el desempeño alcanzable de los sensores innovadores depende de las características de la forma de onda de oportunidad utilizada para la vigilancia. El desarrollo de sensores de vigilancia efectivos y de bajo costo para detectar e identificar los objetos en movimiento que se acercan a una infraestructura importante encuentra su lugar entre los principales desafíos de las últimas décadas. Con enormes avances en hardware y tecnología de procesamiento de señales, el radar tiene el potencial de obtener información de detección de objetivos que pueda proporcionar habilidades de detección bajo cualquier condición climática [1,2].

El *radar* (término derivado de las palabras en inglés *Radio Detection and Ranging*) es un sistema que emplea las ondas electromagnéticas (OEM) para medir distancias, alturas, direcciones, velocidades de objetos móviles como aeronaves, barcos, vehículos terrestres, formaciones meteorológicas y el terreno (ver Fig.1). Los sistemas de radar biestáticos pasivos (PBR, del inglés *Passive Bistatic Radar*) son una variante de radar biestático [1] que aprovecha las emisiones de "TV, radiodifusión y otros iluminadores de oportunidad" como fuentes de transmisión de radar [5]. Dado que los sistemas de radar pasivos son menos vulnerables a las contramedidas electrónicas y muy útil para la detección de blancos (objetivos) con características constructivas complejas (*stealthy*), varios países en el mundo tienen investigaciones y emplean los PBR [1]. En los últimos años, la introducción de la radiodifusión digital como es la Radiodifusión de Video Digital Terrestre (DVB-T, del inglés *Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) y la Radiotransmisión de Audio Digital (DAB, del inglés *Digital Audio Broadcasting*) en los países europeos ha proveído una oportunidad ideal para PBR.

En particular, el PBR ha despertado un interés sustancial como sensores de vigilancia del espacio aéreo y del suelo en campos civiles y militares, debido a sus diversas ventajas [3-5]. En ausencia de equipos transmisores dedicados, PBR es significativamente menos costoso, invisible y no emite energía electromagnética al medio ambiente [6,7].

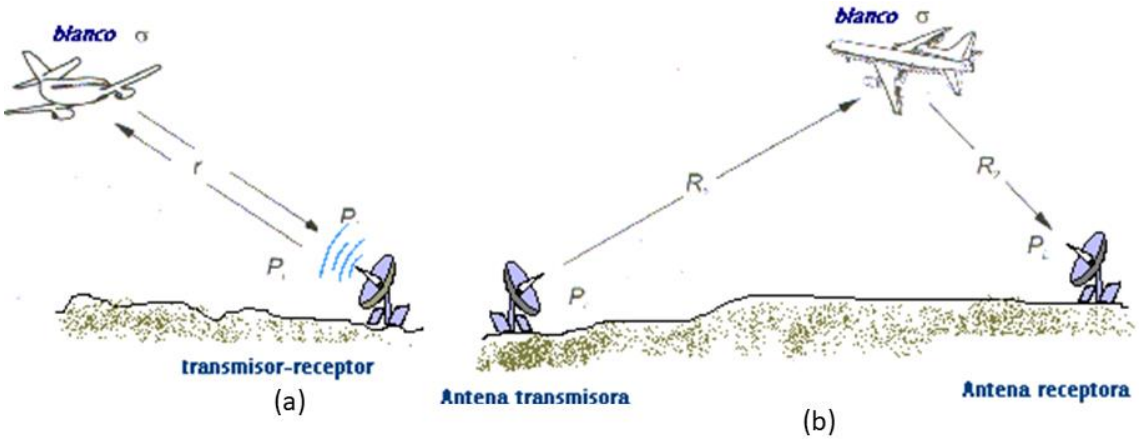



Figura 1: Principio de la determinación de la distancia a un blanco empleando ondas de radio: (a) radar monoestático, (b) radar biestático.

Estos sistemas de radiodifusión emplean un tipo de Modulación (o Multiplexación) por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM, del inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), la señal transmitida es de banda ancha (banda ultra ancha, según la Comisión Federal de Comunicaciones y la

Unión Internacional de Telecomunicaciones) y su forma de onda similar a una señal pseudoaleatoria[1]. En consecuencia, ofrece una función de ambigüedad cercana a la función ideal [2]. La obtención de una buena resolución distancia-Doppler se debe al amplio ancho de banda de la señal y al gran tiempo de integración coherente (o intervalo de procesamiento coherente), que lo hacen muy adecuado para la detección de blanco en los sistemas de radares pasivos [2].

La Universidad de Ciencia y Tecnología de Pekín (Beijing) ha hecho un elevado número de investigaciones respecto a la función de ambigüedad [3,4] y la supresión de las señales interferentes [5], lo cual brinda algunas referencias a este trabajo. Como es conocido, la alta calidad de la adquisición de la señal de referencia, es la clave para los sistemas de radares pasivos.

El trabajo ha sido organizado de la forma siguiente. En la sección 2, se analiza la estructura del estándar de Radiodifusión Digital de Multimedia Terrestre (del inglés *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*, DTMB). En la sección 3, será discutida la función de ambigüedad de la norma DTMB y el tema de la supresión del *clutter* [3] de la señal de referencia y la señal de exploración (o vigilancia). En la sección 4, se abordará los resultados de la modelación teórica empleando el software MatLab. Conclusión y futuro trabajo son introducidos en la sección 5.

## 2. Una introducción a la estructura de la señal del estándar DTMB

El estándar nacional de China con estructura Framing GB20600-2006, define la estructura de la trama, codificación de canal y modulación en las bandas VHF y UHF con 6 MHz y 8 MHz de ancho de banda. Es una fusión de varias tecnologías e incluye derivaciones de las normas norteamericana Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC, del inglés Advanced Television System Commitee) y europea DVB-T, puesto que fue desarrollada por los sistemas DMB-T con modulación multiportadora TDS-OFDM (*Time Domain Synchronous OFDM*, OFDM Sincrónica en el Dominio del Tiempo) y ADTB-T (Advanced Digital Television Broadcasting Terrestrial, Radiodifusión Terrestre de Televisión Digital Avanzada) con modulación de portadora única Simple Banda Residual o Vestigial (VSB, del inglés *Vestigial Sideband*) similar a ATSC. DTMB-TH, puede considerarse como una fusión de ambos sistemas en un único estándar nacional [6,7]. En Cuba se emplea para el modo multiportadora 6 MHz de ancho de banda.

El estándar de televisión chino DTMB posee gran alcance de cobertura debido a su codificación de canal. El esquema de modulación utilizado en esta norma, se basa en el procesamiento de la cabecera de la trama en el dominio del tiempo, mientras que los datos (cuerpo de la trama) son modulados usando OFDM. (Este último trata al dato en el dominio de la frecuencia y lo convierte al dominio del tiempo utilizando IFFT). A su vez, se utiliza una secuencia pseudo-aleatoria (del inglés *Pseudo Noise*, PN) en el dominio del tiempo como Cabecera de Trama, la cual cumple la función de intervalo de guarda y permite una rápida sincronización al realizarse la estimación de canal en el dominio del tiempo en el receptor.

La OFDM es una modulación multiportadora. Esta ley de variación establece la distribución del flujo binario de información entre un gran número de portadoras de forma que cada una posea una velocidad de datos reducida con respecto a la del flujo total. En consecuencia, la duración impulso de los símbolos aumenta respecto al caso de modular a una sola portadora, haciendo a la señal muy robusta frente a interferencias por trayectos múltiples (ecos) ya que el retardo de éstos resulta ser muy pequeño comparado con la duración citada. La separación en frecuencia entre las portadoras se hace igual al inverso de la duración del impulso de los símbolos (condición de ortogonalidad), con lo que la posición de las portadoras en el espectro de frecuencias coincide con los nulos del espectro de las portadoras adyacentes (ver Fig.2).

---

[1] Esto se debe a que todas las portadoras no presentan la misma frecuencia y que sus funciones matemáticas son diferentes.
[2] La función de ambigüedad ideal tiene forma de chinche (del inglés *thumbtack*).
[3] En teoría de las comunicaciones, antenas y radares, interferencia provocada por los ecos o reflexiones en elementos ajenos al sistema (montañas, superficie del mar, otros objetivos indeseados, etc.), que evitan que la relación señal-ruido sea la óptima.

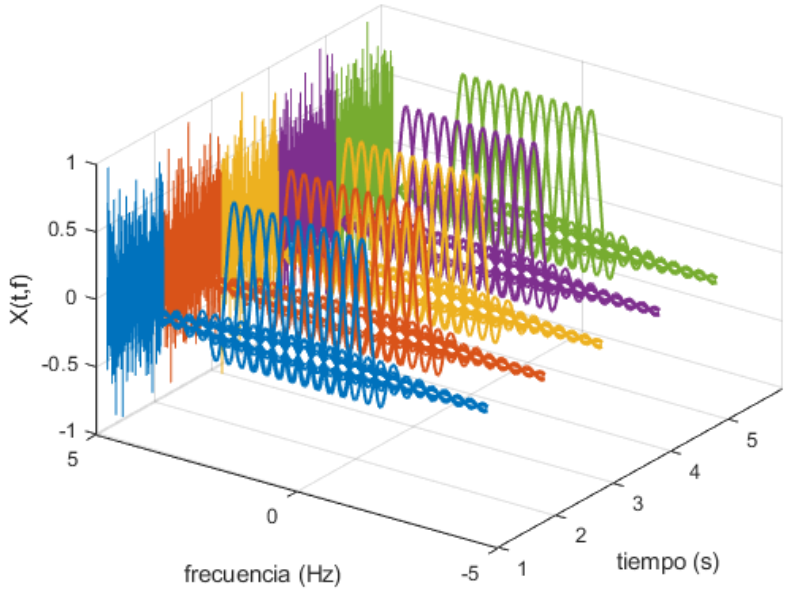



Figura 2: Descripción de la señal OFDM en el dominio tiempo-frecuencia.

$$s_l(t) = \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} e^{j2\pi(f_o + k\Delta f)(t + lT_{sím})} p(t - lT_{sím}) \qquad (1)$$

donde: $M$ indica el número de símbolos de la OFDM, $N$ denota el número de subportadoras, $f_0$ es la frecuencia portadora, $\Delta f$ expresa la diferencia de frecuencia entre dos subportadoras adyacentes entre sí, $T_{sím}$ muestra la duración del símbolo fundamental, $p(t)$ representa la función de la ventana rectangular.

El aprovechamiento de la condición de ortogonalidad evita el uso de bandas de guarda y se logra un mejor empleo del espectro. En estas condiciones se consigue mínima interferencia inter-símbolos (ISI, *Inter-Simbol Interference*). Para fortalecer todavía más a la señal transmitida frente a los ecos se amplía la duración de los símbolos añadiendo un tiempo Δ denominado "intervalo de guarda" a la duración útil.

En la OFDM el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en N sub-canales. Cada canal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia, la información generalmente es modulada QAM o PSK. Normalmente este tipo de modulación se realiza después de pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión.

**Análisis de la estructura de la trama de la señal**

La trama en DTMB posee una estructura jerárquica de 4 capas. La capa más baja se denomina Trama de Señal (FS, del inglés *Frame Signal*) [8,9]. Esta se compone de dos partes de señal en el dominio del tiempo, la cabecera de la trama y el cuerpo de la trama. La primera utiliza una secuencia PN con tres opciones para su longitud y se modula con una constelación BPSK. Hay 36 símbolos de información del sistema y 3744 símbolos de datos en una trama entera. (figura 3)

| Cabecera de Trama (420 o 945 símbolos) | Información del Sistema (36 símbolos) | Datos (3744 símbolos) |
|---|---|---|

Figura 3: Estructura de la trama de la señal DTMB.

La secuencia PN empleada en el encabezado es definida cíclicamente por una secuencia extendida de un orden seleccionado, previamente, y es implementado con un registro de desplazamiento lineal realimentado (LFSR[4], del inglés *Lineal Feedback Shift Register*) de Fibonacci. Las secuencias binarias PN utilizadas como cabecera en el estándar además de ser introducidas como intervalos de guarda a fin de proteger el sistema de la interferencia intersímbolos, reduce la sobrecarga de transmisión y se desempeñan también como símbolos de entrenamiento para cumplir varias funciones.

La señal transmitida que posee un símbolo con TDS-OFDM, p. ej., una trama de la señal está dada por

$$w(t)=\begin{cases} pn & (m-1)T_k < t \le (m-1)T_k + T_H \\ s_l(t) & (m-1)T_k + T_H < t \le mT_H \end{cases} \qquad (2)$$

donde: $T_k$ es la duración de una Trama de Señal; $T_H$ es la duración de la Trama Cabecera, p. ej., la secuencia PN, *pn*; m=1, 2,…,M denota los índices de las tramas; M es el número de tramas en la señal transmitida. sl(t) el bloque de datos de la OFDM, p. ej., el cuerpo de trama de la señal, la cual es expresada como la Ec. (1).

**Modelo de la señal**

En esta sección se describe el modelo de señal a emplear para el PBR. Teniendo en cuenta que este sistema de radar biéstatico pasivo emplea un iluminador de oportunidad con una señal del tipo OFDM peculiar, la señal directa o de referencia luego de la conversión a banda base, puede ser escrita como

$$s_r(t) = w(t-\tau_r)\exp(-j2\pi f_c \tau_r) \qquad (3)$$

donde: $t$ es la variable de tiempo; $f_c$ es la frecuencia portadora; $\tau_r$ es el retardo de propagación de la señal directa desde el transmisor; $w(t)$ es la señal OFDM en banda base.

La señal de exploración después de realizar la conversión a banda base puede ser escrita como

$$s_e = w\left(t-\tfrac{2R(t)}{c}\right)\exp\left(-j2\pi f_c \tfrac{2R(t)}{c}\right) \qquad (4)$$

donde: $R(t)$ es el alcance instantáneo debido a tiempo de retardo de la señal de vigilancia (o exploración) desde el transmisor al receptor a través de la reflexión del objetivo, c es la velocidad de la luz.

Ignorando las componentes de orden superior y, suponiendo que el alcance instantáneo entre el PBR y un objetivo con una velocidad constante satisface

$$r(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{r^{(k)}(t)}{k!} t^k = R_0 + v_b t \qquad (5)$$

donde: $R_0$ es el alcance inicial, $v_b$ es la velocidad biestática del objetivo. Por lo general, resulta difícil la obtención de la dirección del movimiento. La velocidad que se puede obtener es la velocidad radial $v_b$ del objetivo. Basándose en la configuración del modelo del sistema PBR (ver Fig.4), la velocidad radial se puede definir como $v_b = v\cos(\delta)$, que está estrechamente relacionada con el modelo biestático y la dirección de movimiento objetivo. La señal del blanco puede ser escrita adicionalmente como

[4] Un LFSR es un registro de desplazamiento cuya entrada es una función de su estado anterior, esta función no es más que un OR Exclusivo (XOR).

$$s_e = w\left(t-\frac{2R_0+2v_bt}{c}\right)\exp\left(-j2\pi\frac{2R_0+2v_bt}{\lambda}\right)$$
$$= w\left(\rho_{f_b}t-2\frac{R_0}{c}\right)\exp\left(-j4\pi\frac{R_0}{\lambda}\right)\exp\left(-j2\pi f_bt\right) \quad (6)$$

donde: $\lambda=c/f_c$ es la longitud de onda; $f_b$ es la frecuencia Doppler del objetivo y se define como $f_b=2v_b/\lambda$; $\rho_{fb}=(f_c-f_b)/f_c$ denota el factor de deformación. Debido al movimiento del objetivo, el factor $\rho_{fb}$ provocará un cambio de escala de tiempo (estiramiento o encogimiento en el tiempo) de la señal $w(t)$. Cuanto mayor sea la velocidad biestática del objetivo, mayor será el efecto de $\rho_{fb}$ en $w(t)$. El primer término exponencial en (6) representa la fase inicial correspondiente al retardo inicial del objetivo y el término exponencial muestra el desplazamiento de frecuencia Doppler generado por la velocidad del objetivo.

## 3. Método clásico de detección para PBR

En la Fig. 4 se ilustra un modelo de observación típico. En este modelo, $\beta$ es el ángulo biestático, $L$ es la distancia de referencia biestática, $v$ es la velocidad de movimiento del objetivo, $\theta_R$ es el ángulo suplementario del ángulo de apariencia (o ángulo de aspecto) del receptor, $\delta$ es la bisectriz entre el ángulo biestático y la dirección de movimiento del objetivo, $R_T$ y $R_R$ son la distancia desde el transmisor al objetivo y la distancia desde el objetivo al receptor, respectivamente. Se asume que el iluminador es una antena omnidireccional en ángulo azimut y el receptor tiene dos tipos de antenas: la antena de referencia y la antena de vigilancia (o antena de exploración). La antena de referencia, dirigida hacia el iluminador, recibe la señal directa transmitida desde el iluminador. La antena de exploración, dirigida hacia el espacio aéreo de interés, obtiene señales dispersas reflejadas por el objetivo de interés. Además, la señal directa y otras señales dispersas reflejadas desde árboles, edificios, colinas también serán recolectadas por la antena de vigilancia. Al calcular las correlaciones cruzadas entre la señal directa y la señal objetivo en dos dimensiones (retardo en el tiempo y desplazamiento Doppler), se puede medir la distancia y la velocidad del objetivo. Cabe señalar que en este modelo de sistema PBR, asumimos que se determina el tiempo de inicio y el tiempo de finalización del eco del objetivo, es decir, el objetivo de detección continúa apareciendo en la cobertura de PBR durante un tiempo de integración.

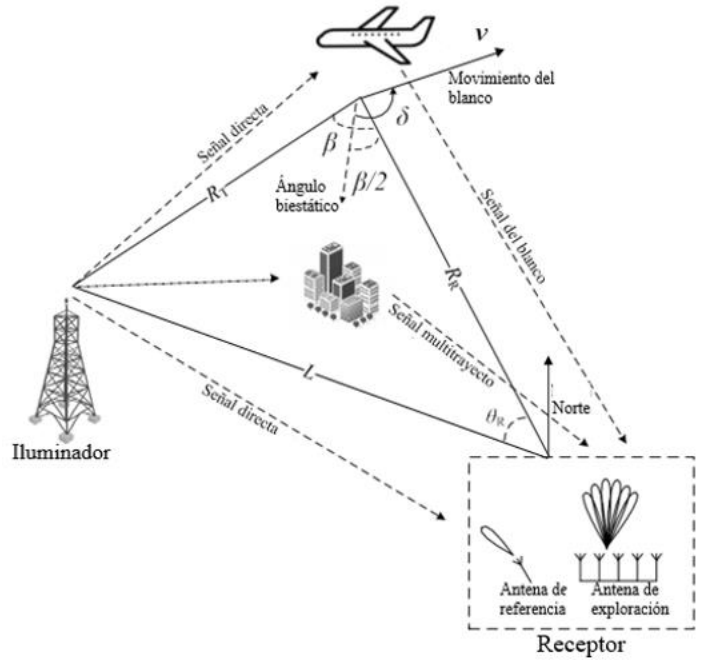



Figura 4: Modelo de escenario del PBR.

En PBR, el método de detección clásico (método de procesamiento Alcance-Doppler) se basa en el concepto de correlación. La señal de exploración se procesa a través de un banco de filtros paralelos. Cada filtro corresponde al retardo $\tau$ y frecuencia Doppler $f_d$ de la señal del objetivo. Finalmente, todas las salidas de filtros forman una superficie bidimensional, que se da como

$$\chi(\tau, f_d) = \int_{-T/2}^{T/2} s_e(t) s_r^*(t-\tau) \exp(-j2\pi f_d t) dt \qquad (7)$$

donde: la señal directa $s_r(t)$ se trata como la señal de referencia; $\tau$ es el tiempo de retardo; $f_d$ es el desplazamiento de frecuencia Doppler; T es el intervalo de procesamiento coherente (CPI, del inglés *Coherent Processing Interval*) o tiempo de integración. Utilizando las propiedades de la Transformada de Fourier, se puede obtener otra forma de (7)

$$\chi(\tau, f_d) = \int_{-B/2}^{B/2} S_e^*(f) S_r(f - f_d) \exp(j2\pi f \tau) df \qquad (8)$$

donde: $S_r(f) = w(f)\exp[-j2\pi\tau_r(f_c+f)]$ es la forma correspondiente de $s_r(t)$ en el dominio de la frecuencia.

La supresión de clutter es un problema desafiante para los sistemas de radar biestáticos pasivos, dada la complejidad de los escenarios de interferencias pasivas reales (con clutter del tipo estacionario, variable en el tiempo y de orden fraccionario). Tales objetivos con estas características complejas inducen lóbulos laterales intensos en todo el plano distancia-Doppler (RD, del inglés range-Doppler) y, por lo tanto, degrada el rendimiento de detección de objetivos, especialmente para objetivos de baja observación.

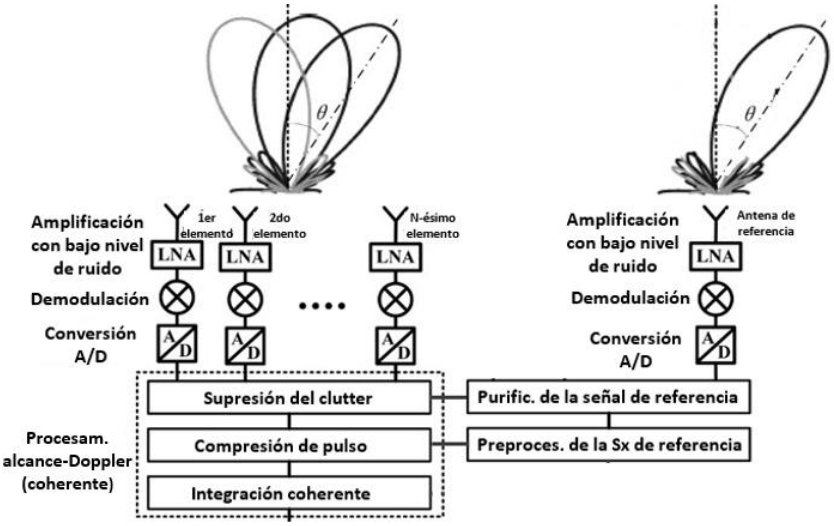



Figura 5: Esquema de procesamiento del PBR.

En general, la señal de vigilancia se recoge a través de una antena apuntando a objetos específicos en el espacio aéreo de interés. Sin embargo, la antena de vigilancia también recibirá inevitablemente una pequeña fracción de la señal de trayectoria directa de la iluminación y una serie de reflexiones de objetos indeseados con características ininteligibles [5,8]. En particular, el clutter se caracteriza por las siguientes propiedades: (1) estacionario; el cual está formado por las eco-señales de objetos estacionarios, como edificios, colinas y terreno, que consisten en copias demoradas de la señal de referencia sin desplazamiento Doppler [4, 7, 9]. (2) variable en el tiempo; de hecho, cuando el PBR opera en un entorno de movimiento lento (p. ej., arbustos, lagos o mar), la señal de interferencia pasiva puede presentar alguna dispersión en el espectro Doppler y ya no se considera estacionario [4,7]. (3) de orden fraccionario; que es una extensión de los dos tipos anteriores. En la práctica, el retardo de las reflexiones indeseadas y que

varía en el tiempo puede no ser un múltiplo entero del período de muestreo, y estas señales se pueden ocupar con retrasos entre puntos de muestra, distribuidos a través de contenedores de retardo [5]. La energía de estos componentes de formas de ondas no deseadas es mucho mayor que el eco del objetivo. Por lo tanto, después del cálculo de la función de autocorrelación cruzada (CAF, del inglés *Cross Autocorrelation Function*), el objetivo quedará completamente enmascarado por los lóbulos principales y/o laterales, como resultado de la señal de referencia. Además, el efecto de los lóbulos laterales se extiende en todo el plano RD debido a que la señal transmitida es una onda continua, que es diferente del radar de pulso convencional. Por consiguiente, la supresión del clutter es particularmente crucial para que los sistemas PBR mitiguen el efecto de enmascaramiento.

Suponiendo que el iluminador transmite una señal $w(t)$ con el ancho de banda B, después de la conversión a banda base, la envolvente compleja de la señal de referencia se da como

$$s_r(t) = a_r w(t) + n_r(t) \qquad (9)$$

donde: $a_r$ es la amplitud compleja y $n_r(t)$ es el ruido gaussiano blanco.

Para la representación de la señal de vigilancia, se consideran diferentes contribuciones en este documento. Dado que los iluminadores de uso común funcionan en la banda VHF/UHF, el clutter complejo puede considerarse como una colección de múltiples dispersores discretos, lo que provoca principalmente reflejos potentes [6]. Por lo tanto, el entorno de retrodispersión del clutter distribuido continuo y densamente puede ser emulado por los reflejos de una gran cantidad de tales dispersores. La señal de vigilancia contaminada por clutter estacionario se analiza primero siguiendo la suposición anterior, y su envolvente compleja se muestra como

$$s_e(t) = a_0 w(t) + \sum_{i=1}^{N_c} a_i w(t-\tau_{ci}) + \sum_{m=1}^{N_t} b_m w(t-\tau_m)\exp(-j2\pi f_{tm} t) + n_e(t) \qquad (10)$$

donde: $a_0$ es la amplitud compleja de la señal de trayectoria directa (señal de referencia) por el lóbulo lateral/trasero de la señal de vigilancia. $a_i$ y $\tau_{ci}$ son la amplitud compleja y el retardo de propagación (con respecto a la señal directa) del componente dispersor estacionario *i*-ésimo, respectivamente. En particular, los retrasos $\tau_{ci}$ involucran múltiplos fraccionarios y enteros del período de muestreo. $N_c$ es el número de componentes de dispersión. $b_m$, $\tau_m$ y $f_{tm}$ son la amplitud compleja, el retardo y el desplazamiento de frecuencia Doppler del objetivo *m*-ésimo, respectivamente. $N_t$ es el número de objetivo. $n_e$(t) es el término de ruido blanco gaussiano en la señal de vigilancia.

Teniendo en cuenta el entorno variable en el tiempo, la señal de vigilancia también está influenciada por el clutter de movimiento lento. En comparación con el clutter estacionario, el variable en el tiempo se caracteriza por el espectro Doppler distinto de cero, es decir, los dispersores de clutter se distribuyen en un alcance de velocidad específico con un centro cero [6-8]. La primera suma en el lado derecho de (10) representa los reflejos que forman los objetivos estacionarios, así como la fuga entre las antenas de transmisión y recepción. La segunda suma corresponde a los objetivos en movimiento ya que la señal transmitida no solo se retrasa, sino que también se desplaza por Doppler.

A medida que avanzan los objetivos, la segunda suma en el lado derecho de (10) es de interés. Las reflexiones de los objetivos estacionarios, así como la fuga, son los componentes no deseados. A pesar de que es fácil distinguir entre los objetos estacionarios y los objetivos en movimiento en función de su velocidad, la presencia de estas reflexiones sin movimiento puede plantear un problema para los sistemas de radar biestáticos pasivos.

En la actualidad, se han desarrollado una variedad de métodos para la eliminación de clutter con diferentes perspectivas, que se pueden dividir en tres tipos importantes. En primer lugar, el filtrado espacial es una de las técnicas más comúnmente aplicadas porque permite generar nulos en las direcciones del clutter [2-4]. Sin embargo, debido al efecto de reflexión difusa, este se expandirá en el azimut y ocurrirá en el mismo haz con el objetivo, introduciendo pérdidas de rendimiento. El segundo

tipo son las técnicas de filtrado temporal, en las que el algoritmo de cancelación extensa (ECA, del inglés *Extensive Cancellation Algorithm*) [4,8] y su versión por lotes (ECA-B, del inglés *ECA-Batch*) [3,6,8] se emplean ampliamente para diferentes prototipos de PBR. La idea principal de ECA es que la señal de vigilancia se proyecta en un subespacio ortogonal formado por una gran cantidad de señales de referencia demoradas en el tiempo, y luego se pueden estimar los coeficientes de los filtros promediando todo el intervalo de procesamiento coherente (CPI). No obstante, el método requiere un gran costo de cálculo y almacenamiento. Además, considerando la supresión de clutter que varía en el tiempo, aumentar las dimensiones del subespacio con el cambio Doppler es mucho más costoso.

El cálculo de la CAF en el radar pasivo corresponde a dos operaciones típicamente realizadas en el radar de pulso activo: filtrado adaptado (acoplado) y procesamiento Doppler. Como resultado del filtrado acoplado, se obtiene un perfil de distancia (alcance). Al procesar varios perfiles de alcance a través de la transformada de Fourier, se puede obtener la separación Doppler de los ecos del objetivo. De esta manera, con un proceso de dos etapas, se crean dimensiones de distancia y velocidad. En la CAF calculado en radar pasivo, ambas dimensiones se crean simultáneamente.

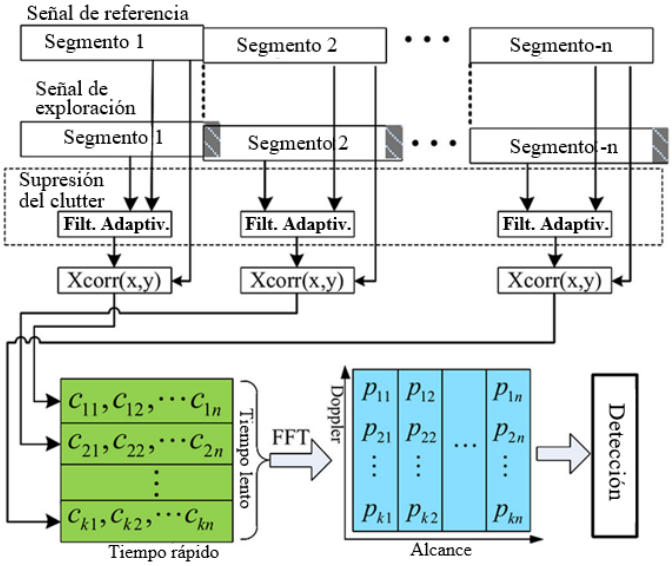



Figura 6: Concepto del procesamiento alcance-Doppler.

En la Fig. 6 se muestra cómo se obtiene el plano alcance-Doppler. Vale la pena señalar que un CPI típico en radar pasivo es mucho más largo que en radar activo. En el radar activo clásico, el tiempo de iluminación generalmente se limita a decenas de microsegundos para un solo pulso y decenas de milisegundos para una ráfaga de pulsos. Debido a que este tiempo de observación es relativamente corto, la resolución Doppler es bastante espesa y la ganancia de integración es limitada. Además, se pueden pasar por alto ciertos fenómenos característicos, como los destellos de palas del rotor de un helicóptero, ya que ocurren con el período de decenas de milisegundos. En el radar pasivo, el transmisor ilumina el espacio aéreo de forma continua. Brindando la posibilidad de observar el objetivo durante mucho tiempo, lo que deja obtener una resolución Doppler muy fina, así como una gran ganancia por integración, que puede superar los 50 dB. Permitiendo que se realicen de manera efectiva las imágenes de los objetivos o el análisis de micro-Doppler, incluido el análisis de los flashes de las palas del rotor del helicóptero [1, 2,3].

Uno de los problemas fundamentales en el radar de pulso activo es el tiempo de retardo y las ambigüedades de medición de frecuencia Doppler. La ambigüedad de medición de retardo se origina por el hecho de que cuando se envía una serie de pulsos idénticos, se puede confundir un eco tardío de un objetivo lejano con un eco de un objetivo cercano correspondiente a un pulso anterior. Teóricamente, los pulsos podrían enviarse tan raramente que prácticamente no puede ocurrir ninguna ambigüedad. Esto, sin

embargo, contradice el requisito relacionado con la segunda ambigüedad, la de la medición de frecuencia Doppler. El envío de pulsos por radar puede interpretarse como una muestra del espacio. Como bien se conoce a partir de la teoría de muestreo A diferencia del radar pulsado, las mediciones de velocidad y de rango en el radar pasivo son, en general, inambiguas (aparte de algunos casos especiales, por ejemplo, cuando la naturaleza repetitiva de la señal aplicada introduce ambigüedades) debido a la operación de onda continua y propiedades similares al ruido de la señal utilizada. Este es un aspecto práctico muy importante del radar pasivo, que permite detectar objetivos muy rápidos y muy lejanos sin necesidad de aplicar algoritmos para resolver ambigüedades de medición.

## 4. Resultados y simulaciones

En esta sección, se presentan simulaciones numéricas para demostrar la efectividad del método de integración coherente propuesto. Suponga que la señal DTMB se utiliza como la forma de onda de oportunidad, los parámetros del sistema PBR se enumeran en la Tabla 1.

En esta simulación, se analizan los resultados de integración coherentes para un solo objetivo de alta velocidad para verificar la ganancia de relación señal-ruido (SNR, del inglés *Signal-to-Noise Ratio*) y el rendimiento de detección.

Tabla 1. Parámetros del sistema PBR.

| Descripción | Parámetros | Valor |
|---|---|---|
| Total de subportadoras | $M$ | 64 |
| Velocidad radial | $V_r$ | 300 m/s |
| Modulación de los símbolos | $c_k$ | 64-QAM |
| Trama cabecera | $pn$ | 16 |
| Distancia al objetivo | R | 90 km |
| Superficie del blanco | $\sigma$ | 2 $m^2$ |
| Ancho de banda | $B$ | 2.5 MHz |

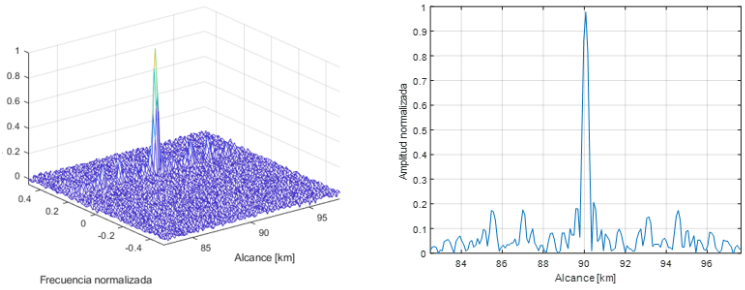



Figura 7: Función de ambigüedad de la señal DTMB (a) en 3D (b) perfil del alcance.

Al utilizar este modelo para el análisis y estudio de diferentes aspectos se ha podido obtener un volumen de conocimientos para el futuro desarrollo de las tecnologías de radar en nuestras condiciones. Una de las funciones más importantes del radar pasivo es rechazar la interferencia, en este análisis se asume que ya se ha realizado la cancelación del clutter, previamente. En la modelación Fig. 7, se incluyó como parte de la trama de información una imagen, se ignoró la estimación del canal. El análisis teórico solo se realizó en el procesamiento alcance-Doppler.

Durante la modelación se obtuvo la función de ambigüedad con lóbulos laterales aleatorios que se extienden a través de todas las distancias y velocidades, pero hay un solo pico máximo en la distancia y la velocidad donde está el blanco. La función de ambigüedad de la señal revela que el nivel de amplitud de los lóbulos laterales en la dirección de la distancia presenta un comportamiento aleatorio, y que están directamente conectados a la forma del espectro de la señal. De hecho, tal efecto está relacionado con el muestreo de la función de ambigüedad.

## 5. Conclusiones

En este documento, se ha realizado un análisis de la factibilidad de tener en cuenta la señal DTMB de Cuba para aplicaciones de radiolocalización. El rendimiento de detección de objetivos del PBR depende en gran medida de las características de la forma de onda recibida, que no está bajo el control del diseñador del radar. Por lo tanto, a diferencia del radar estándar (activo), donde la forma de onda transmitida se selecciona y diseña cuidadosamente en relación con los modos y requisitos operativos del sistema, el PBR necesita hacer frente a formas de onda que no están diseñadas para la aplicación del radar y que a menudo presentan características que cambian con el tiempo. La disponibilidad de un gran número de canales de frecuencia diferentes (transmitidos por el mismo transmisor) proporciona una gran diversidad de información. En concreto, las señales recibidas en múltiples canales de frecuencia podrían explotarse conjuntamente para hacer que el esquema de detección sea robusto con respecto tanto al contenido del canal de transmisión como a las condiciones del canal de propagación, mejorando así el rendimiento de detección y su confiabilidad; mejorando la capacidad de localización del sistema combinando adecuadamente las mediciones obtenidas utilizando las señales transmitidas a diferentes frecuencias portadoras.

En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de la función de ambigüedad calculada de acuerdo con (7) analizada previamente. Se puede ver que las fluctuaciones residuales están presentes no solo en la dimensión de retardo, sino también en la dimensión Doppler. El nivel de amplitud de los lóbulos laterales (fluctuaciones) está determinado por el producto del ancho de banda por el tiempo de integración (BT). Los resultados revelan características muy importantes del radar de ruido[5]. Es decir, si no se aplica un procesamiento especial, el rango dinámico del sistema estará limitado por el producto BT. La razón es que la contribución más fuerte en la señal recibida, provoca fluctuaciones por debajo del pico máximo de correlación, y será imposible la detección de objetivos por debajo de ese nivel.

Una vía para mitigar este efecto es aumentar el producto BT, particularmente CPI. La razón para usar un CPI más largo de lo típico es mejorar el rendimiento de la detección, ya que una gran ganancia de integración proporciona una mayor probabilidad de detección. Una extensión del tiempo de procesamiento coherente, también implicaría una revisión del método de correlación; pues para BT grandes, involucra una alta carga computacional a la hora de obtener los coeficientes del filtro óptimo adaptado. La prolongación del tiempo de la correlación conlleva a considerar derivadas más altas en el modelo de movimiento de (5), y con ello, la aparición de fenómenos como la migración de energía de celdas de distancia y de celdas Doppler.

## REFERENCIAS

1. MALANOWSKI, M., *Signal processing for Passive Bistatic Radar*. Norwood, Massachusetts, United States: Artech House, 2019.
2. ZAIMBASHI, A.; NAYEBI MAHDI, M., *Multistatic Passive Radar Target Detection*. London, United Kingdom, 2023.
3. CRISTALLINI, D.; W. O'HAGAN, D., *Passive Radars on Moving Platforms*. London, United Kingdom: SciTech Publishing, The Institution of Engineering and Technology, 2023.
4. SHANNON BLUNT, D.; PERRINS, E. S., *Radar and Communication Spectrum Sharing*. London, United Kingdom: SciTech Publishing, The Institution of Engineering and Technology, 2018.

[5] El radar de ruido es una tecnología de que utiliza una señal con modulación aleatoria, la cual satisface una o más de las pruebas estándar de aleatoriedad estadística.

5. YANG, Z.; WANG, J., *Digital Terrestial Television Broadcasting*, Jiang Song, Ed. New Jersey, United States: The Institute Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2015.
6. GRIFFITHS, H. D.; BAKER, C. J., *An Introduction to Passive Radar*. London, United Kingdom: Artech House, 2022.
7. BOGONI, A.; GHELFI, P.; LAGHEZZA F., *Photonics for Radar Networks and Electronic Warfare Systems*. London, United Kingdom: SciTech Publishing, The Institution of Engineering and Technology, 2019.
8. WASSERZIER, C.; Galati, G., "On the efficient computation of range and Doppler data in noise radar," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, pág. 1-9, Diciembre 2018.
9. ZUO, L.; WANG, J.; CHENG Z., "A Joint Low-Rank and Sparse Method for Reference Signal Purification in DTMB-Based Passive Bistatic Radar," Sensors 2021, 21, 3607. https: // doi.org /10.3390 / s21113607h, Mayo 2021.

**Sobre los autores**

Ivanoy Rivera Martínez es Ingeniero Radiotécnico graduado en el Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2013. Se desempeña como Especialista de III en IID en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS" y posee la categoría Docente de Profesor Asistente.

Alexander Grandales Badell es Ingeniero Radiotécnico graduado en el Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 1997. Máster en Radioelectrónica desde el año 2004. Doctor en Ciencias Técnicas desde el año 2007. Se desempeña como profesor en el Instituto Técnico Militar "José Martí" y posee la categoría Docente de Profesor Titular.

George Ybert Durruthy es Ingeniero Radiotécnico graduado en el Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2004. Máster en Radioelectrónica desde el año 2018. Se desempeña como profesor en el Instituto Técnico Militar "José Martí" y posee la categoría Docente de Profesor Auxiliar.

Javier Delgado Chávez es Ingeniero Radiotécnico graduado en el Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2001. Máster en Radioelectrónica desde el año 2019. Se desempeña como profesor en el Instituto Técnico Militar "José Martí" y posee la categoría Docente de Profesor Auxiliar.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MÉTODO OPTIMIZADO DE ESTIMACIÓN DE DOA EN 2D CON SUPERRESOLUCIÓN

**Yunior Ibarra Guera[1], Alexander R. Ramírez Zaldívar[1], José E. Vargas Fernández, Noslen Rojas Ramírez[1]**

[1]Centro de Investigación de Electrónica y Mecánica, CID MECATRONICS, Esq. 15 y 86A, Playa, La Habana
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

**RESUMEN**

La estimación de la dirección de arribo (DOA, por sus siglas en inglés) es un proceso de marcada importancia en campos como la radiolocalización, los sonares, la guerra electrónica y las comunicaciones inalámbricas por solo citar algunas. El acoplamiento del error de estimación de ambas coordenadas angulares, así como un elevado costo computacional, resultan los mayores inconvenientes de las soluciones más difundidas que proporcionan súper resolución en dos dimensiones (2D). En este trabajo se propone un nuevo método que permite la estimación de DOA tanto de acimut como elevación con súper resolución en arreglos planos de antenas de forma optimizada. La estimación desacoplada y no ambigua de las coordenadas angulares permite la disminución del error de estimación a la vez que mantiene un relativo bajo costo computacional. El método obtenido se implementa y comprueba experimentalmente en una estación de marcación pasiva lo que permite validar su efectividad con señales reales.

**PALABRAS CLAVES:** estimación de DOA en 2D, súper resolución, arreglo plano de antenas

**SUPER-RESOLUTION 2D DOA ESTIMATION OPTIMIZED METHOD**

**ABSTRACT**

Direction-of-arrival (DOA) estimation is a marked importance process in fields such as radiolocation, sonars, electronic warfare and wireless communications, just to name a few. The coupling of the estimation error of both angular coordinates, as well as a high computational cost, result in the greatest drawbacks of the most widespread methods that provide 2D super resolution. In this work, a new method is proposed that allows the estimation of DOA of both azimuth and elevation with super resolution in planar antenna arrays in an optimized way. The decoupled and unambiguous estimation of the angular coordinates allows the reduction of the estimation error while maintaining a relatively low computational cost. The obtained method is implemented and experimentally verified in a passive dialing station, which allows its effectiveness to be validated with real signals.

**KEY WORDS:** 2D DOA estimation, super resolution, antenna planar array

## 1. INTRODUCCIÓN

La estimación de la dirección de arribo de múltiples fuentes emisoras de señal con empleo de arreglos de antenas es de especial interés en campos como el radar y las comunicaciones inalámbricas [1-4]. Este problema es tan antiguo como el descubrimiento de la existencia y propagación de las ondas electromagnéticas, donde el empleo de antenas directivas para solucionarlo es el método más empleado junto al de Watson Watt, el mono pulso de fase o amplitud, el interferómetro de Doppler y la interferometría correlativa, entre otros [5].

La mayoría de estos métodos suponen que una frecuencia específica se ocupa de forma exclusiva por la fuente transmisora de interés. Sin embargo, si transmisores adicionales operan en la misma frecuencia (co-canales), el proceso puede degradarse de forma significativa. La interferencia co-canal es un problema real en la práctica, provocado por emisiones espurias de sistemas de comunicaciones y radiodifusión, canales

de comunicaciones simplex, así como las interferencias intencionadas. En este caso, el resultado de la estimación depende de la relación de los niveles de potencia de los transmisores y si estos son similares, el resultado de la estimación es incorrecto.

Como muestra la Fig.1, el problema de la estimación de DOA radica en determinar la dirección de las señales de los transmisores Tx1, Tx2 y Tx3 mediante el procesamiento de los voltajes inducidos en el arreglo de antenas. Para ello, se asume que estas señales son ondas planas que arriban desde la zona lejana.




Figura 1: Problema de estimación de DOA en un arreglo de antenas.

Existen varios problemas que el sistema de estimación de DOA debe enfrentar, entre los más significativos se destacan: el ruido introducido por el canal de propagación, las interferencias electromagnéticas y la propagación por múltiples trayectos. Otros dependen de las imperfecciones propias del sistema, como es el caso del error en la posición de las antenas, las diferencias de amplitud y/o fase entre canales, así como su acoplamiento mutuo y los efectos de la plataforma [6]. La exactitud de la estimación de DOA es sensible de varios parámetros que incluyen la SNR de las señales incidentes, el número de muestras empleadas, el número de elementos del arreglo de antenas, su estructura y diagrama direccional.

Las limitaciones anteriores representan un problema para la estimación de DOA y su aplicación en sistemas prácticos. En las últimas cuatro décadas, las investigaciones han centrado sus esfuerzos en la búsqueda de soluciones efectivas para la problemática mencionada. Una de las más empleadas se basa en el procesamiento coherente de las señales recibidas en un arreglo de antenas para la estimación de fuentes emisoras en la misma frecuencia. En el caso de las técnicas basadas en la súper resolución angular permiten alcanzar resoluciones mayores al ángulo de radiación del arreglo de antenas lo que se traduce en una mayor precisión y ahorro de recursos. Sin embargo, su manejo en la práctica se limitó durante décadas por el elevado volumen de cálculo que demanda su implementación. La mayoría de los trabajos publicados evalúan su rendimiento mediante simulaciones numéricas, lo cual no es suficiente para determinar la exactitud de la estimación y la efectividad del algoritmo [7].

Un problema adicional surge por el hecho de que la DOA en aplicaciones prácticas es un parámetro de dos dimensiones (2D). Algunos de los métodos para la estimación de DOA en 1D pueden adaptarse al problema de estimación de DOA en 2D. Sin embargo, no resulta tan evidente la extensión a 2D de algoritmos con geometrías establecidas [5]. Además, surge el inconveniente de realizar una búsqueda en un plano bidimensional de elevación vs acimut propia de los métodos espectrales en 2D. La reducción del paso de búsqueda para mejorar la exactitud provoca un incremento de la carga computacional debido al aumento del número de puntos de análisis.

La complejidad computacional de los métodos de solución puede llegar a ser prohibitiva para ejecutarse en tiempo real [8]. Los requerimientos del proceso se afectan por la geometría del arreglo de antenas debido al incremento de la dimensionalidad del problema de estimación de DOA, la [9] con el posterior emparejado del acimut y la elevación (alineamiento o asociación) que por lo general se requiere. Otro problema presente es la influencia de la estimación en acimut en la de elevación, lo que también se denomina acoplamiento en los estimados [10, 11].

En el presente trabajo se propone un nuevo método de estimación de DOA en 2D optimizado para su ejecución en tiempo real. A diferencia de las soluciones que requieren una búsqueda exhaustiva en 2D, la solución proyectada solo necesita un par de búsquedas en 1D, lo que disminuye la carga computacional de manera considerable. Además, la adopción de una asociación simple de los estimados facilita obtener el resultado final del proceso en las dos coordenadas. Por último, la implementación del método en un sistema práctico y su verificación con señales reales permite validar la efectividad y eficiencia de la solución.

## 2. ESTIMACIÓN DE DOA EN 2D

### Modelo de las señales para la estimación de DOA en 2D

El modelo de las señales provenientes de arreglos de antenas relaciona las muestras recibidas a la salida de las antenas con las señales emitidas por las fuentes distribuidas en el espacio. Como muestra la Fig.2, si se considera que al arreglo compuesto por M antenas inciden las señales $s_p(t)$ provenientes de P fuentes emisoras desde las direcciones $\{\theta_1, \varphi_1\}, \dots, \{\theta_P, \varphi_P\}$, la señal recibida en cada canal de recepción puede modelarse según la ecuación (1) si se asume que todos los elementos son idénticos y omnidireccionales con su centro de fase ubicado en el plano-xy.

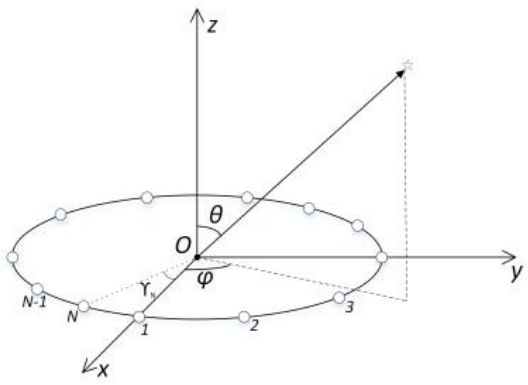



Figura 2: Estimación de la dirección de arribo de P emisores en el espacio por un arreglo de M antenas.

$$X(n) = AS(n) + N(n) \qquad (1)$$

donde: $X(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_M(n)]^T \in \mathbb{C}^{Mx1}$ es el vector de las muestras tomadas a la salida del arreglo de antenas y $x_m(t)(m = 1,2, \dots, M)$ es la salida del m-ésimo elemento del arreglo en la muestra n. $S(t) = [s_1(n), s_2(n), \dots, s_P(n)]^T \in \mathbb{C}^{Px1}$ es el vector de señales provenientes de P fuentes emisoras de señal y $s_p(n)$ $(p = 1,2, \dots, P)$ es la p-ésima señal en el instante t. $N(n) = [n_1(n), n(n), \dots, n_M(n)]^T \in \mathbb{C}^{Mx1}$ es un vector de muestras de ruido aditivo Gaussiano [12], donde $n_m(n)$ es el ruido en el m-ésimo elemento de antena en la muestra n. A es una matriz dada por la expresión (2) que contiene las respuestas del arreglo de antenas a las señales incidentes, cuyas columnas se componen de un arreglo de vectores directivos $a(\theta_p, \varphi_p)$ para la p-ésima fuente emisora de señal. Este último, representa los cambios relativos de amplitud y fase que experimentan los frentes de onda planos de las señales cuando incide en cada una de las antenas del arreglo desde la elevación $\theta_p$ y el acimut $\varphi_p$.

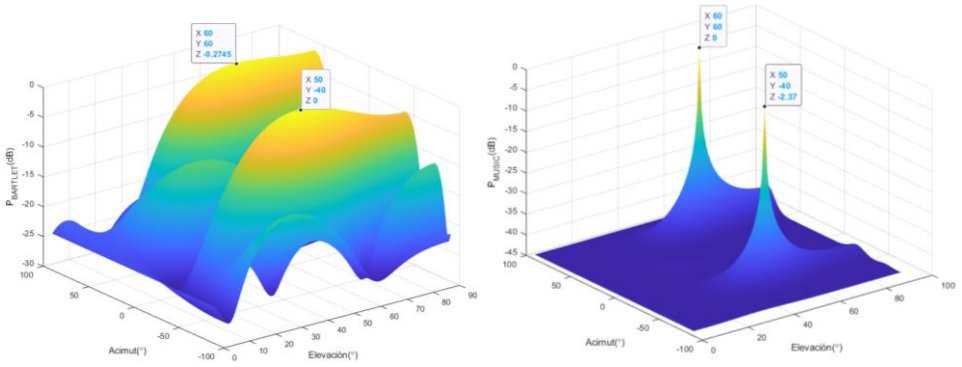
$$A = [a(\theta_1, \phi_1)\ a(\theta_2, \phi_2), \ldots, a(\theta_P, \phi_P)\ ] \in \mathbb{C}^{MxP} \qquad (2)$$

**Métodos de estimación de DOA en 2D para arreglos planos**

Los métodos espectrales estiman la DOA mediante el cálculo del espectro espacial $P(\theta)$, que representa, la potencia media recibida por un arreglo de antenas como una función de $\theta$ y la posterior determinación de máximos locales del espectro espacial. La DOA de las fuentes radiantes se obtienen a partir de las P direcciones $\theta$ para las cuales se producen los mayores picos en $P_B(\theta)$, que para el caso del método de Clasificación de Múltiples Señales (MUSIC, por sus siglas en inglés) [13] se obtiene mediante la evaluación de la expresión 3

$$P_{2D-MUSIC}(\theta, \phi) = \frac{1}{a^H(\theta, \phi)\hat{V}_n\hat{V}_n^H a(\theta, \phi)} \qquad (3)$$

donde $\hat{V}_n$ son los vectores propios del subespacio de ruido estimados a partir de la matriz de covarianza espacial de las muestras recibidas en el arreglo de antenas [7]. En la Fig. 3 se muestran las gráficas del espectro espacial obtenido por el método de Bartlett y MUSIC con un arreglo rectangular uniforme de 9 elementos. En la zona lejana del arreglo de antenas se ubican dos fuentes emisoras de señal en las direcciones de acimut /elevación (60 º,60 º) y (50 º, -40 º), para la primera y segunda fuente emisora, respectivamente.




(a) (b)

Figura 3: Espectro espacial obtenido para la estimación de DOA en dos dimensiones de dos fuentes emisoras ubicadas en (60 º,60 º) y (50 º, -40 º) con un arreglo rectangular uniforme. a) Mediante el método de Bartlett. b) Mediante el método MUSIC.

Como se aprecia, ambos métodos forman picos en las direcciones correspondientes a las de las fuentes emisoras de señal, tanto en acimut como elevación.

## 3. OPTIMIZCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE DOA EN 2D CON SUPERRESOLUCIÓN

**Método propuesto**

El diagrama de flujo del método de estimación de DOA en 2D concebido se muestra en la Fig. 4

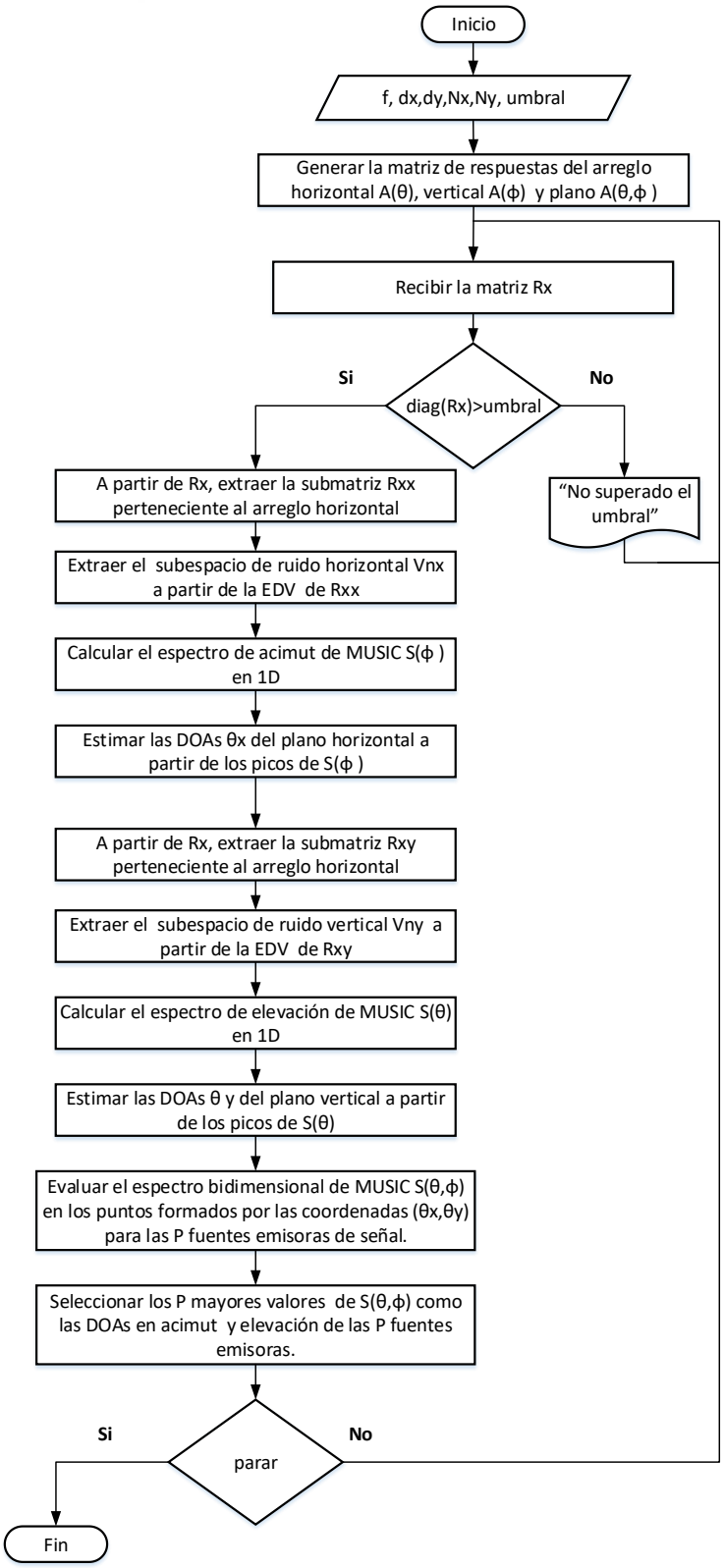


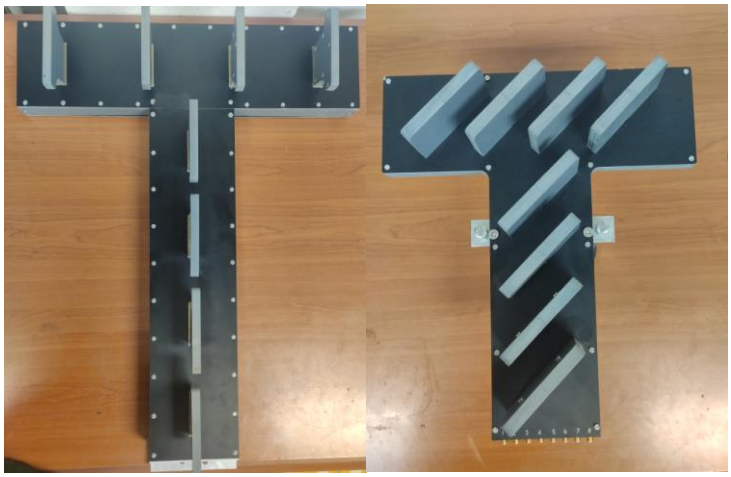

Figura 4: Diagrama de flujo del algoritmo de estimación de DOA en 2D a partir de los coeficientes de la matriz Rx recibidos.

El algoritmo combina los métodos de estimación en 1D y 2D con el objetivo de obtener una nueva variante optimizada para su ejecución en tiempo real. La solución propuesta resuelve los problemas asociados al volumen de cálculo que demandan los métodos espectrales de estimación de DOA en dos dimensiones y erradica el acoplamiento de la estimación en 2D. Este se basa en el desacople de la estimación de las coordenadas de acimut con el empleo de un subarreglo horizontal y la elevación con uno vertical, formados a partir de los elementos de un arreglo plano de antenas. Existe la posibilidad de una estimación ambigua a la hora de asociar los estimados de ambos planos en presencia de más de una fuente emisora de señal, lo que se soluciona con el empleo del arreglo plano en su totalidad para asociar los estimados de ambos planos. En este caso, el arreglo plano de antenas debe cumplir con la condición de unicidad del lóbulo principal (para una estimación no ambigua) así como los subarreglos vertical y horizontal formados.

En primer lugar, se obtienen los estimados preliminares con los métodos de 1D, como puede ser el caso de MUSIC y luego se emparejan con la expresión de MUSIC espectral en 2D mostrada en (1). Para asociar los estimados se evalúa la ecuación (1) en las $P^2$ ubicaciones posibles. Por ejemplo, para el caso de dos fuentes emisoras de señal (P=2), con coordenadas reales dadas por $(\theta_1, \phi_1)$ y $(\theta_2, \phi_2)$, existen cuatro posibles coordenadas dadas por la combinación de los estimados: $(\hat{\theta}_1, \hat{\varphi}_1)$ , $(\hat{\theta}_1, \hat{\varphi}_2)$, $(\hat{\theta}_2, \hat{\varphi}_1)$, $(\hat{\theta}_2, \hat{\varphi}_2)$, sin embargo, luego de evaluar la expresión (1) en estas cuatro combinaciones de valores, se obtiene que los dos mayores valores corresponden con los estimados $(\hat{\theta}_1, \hat{\varphi}_1)$ y $(\hat{\theta}_2, \hat{\varphi}_2)$.

**Implementación del arreglo de antenas**

Para la implementación del método de estimación de DOA en 2D se escogió la geometría de un arreglo en forma de T y se diseñó uno para la banda S y otro para la banda L de frecuencias. Con respecto al resto de los arreglos combinados, presenta simetría en el plano de acimut comparada con el arreglo en L y así como un menor acoplamiento mutuo que el arreglo cruzado. Otra importante ventaja es que heredan las propiedades más importantes de los arreglos lineales lo que permite implementar y optimizar los algoritmos para la estimación de DOA en una dimensión como Root-MUSIC y ESPRIT [5]. Además, los arreglos del tipo T presentan similares ventajas a los arreglos rectangulares uniformes, pero necesitan un menor número de elementos para conformar la geometría. La construcción de ambos sistemas se muestra en la Fig. 5.



(a) (b)

Figura 5: Sistemas de dipolos con configuración T construidos. a) Banda L b) Banda S.

**Implementación del método de estimación de DOA en 2D con súper resolución**

La implementación del método de estimación de DOA en 2D con súper resolución requiere la recepción coherente de las señales de cada antena. Con la exigencia anterior, es necesario emplear receptores digitales multicanales donde los canales compartan un oscilador local común y la misma señal de reloj de muestreo de las señales. En este caso, el diseño se concibió sobre un sistema híbrido hardware-software en una

plataforma FPGA con 8 canales de recepción coherente, cuyo diagrama en bloques se muestra en la figura 6. La obtención por los autores de un sistema similar se describe en [14] para un sistema de cuatro canales. En este caso, se modificó el bloque de calibración, el de cálculo de la covarianza espacial y el de transmisión de los datos para soportar el procesamiento de los canales de recepción incrementados.

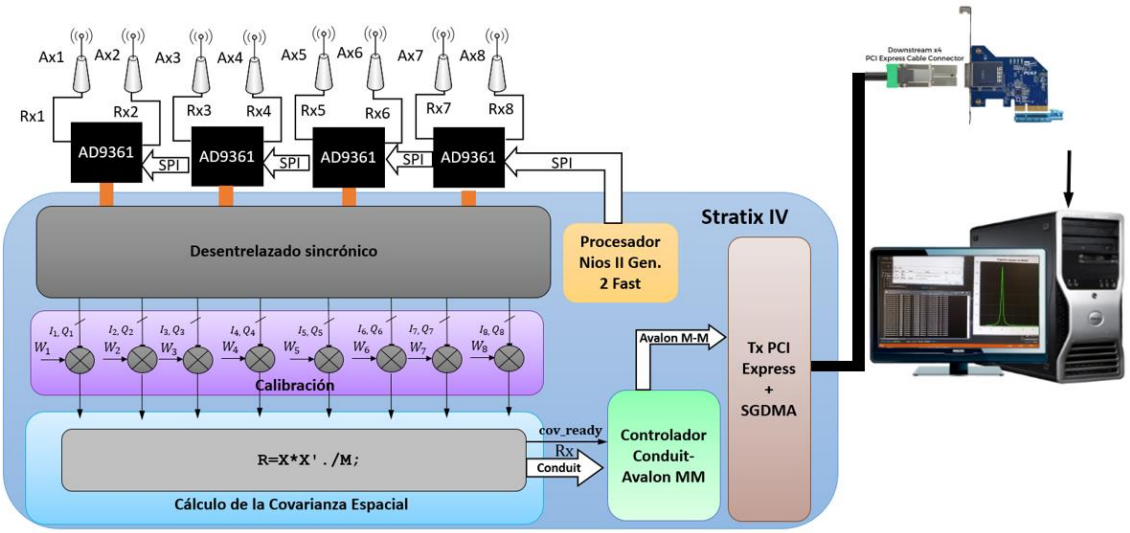



Figura 6: Implementación del método de estimación de DOA en 2D.

Se escaló el diseño obtenido en [14] para el cálculo de la matriz de covarianza espacial de 32 a 64 coeficientes (8x8 canales) y en la herramienta Matlab 2020 se procesaron los datos recibidos. Aunque no constituye la aplicación final, su empleo facilita la depuración y análisis de los datos en un breve período de tiempo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Resultados de la simulación

El método anterior se comprobó tanto mediante la simulación en Matlab 2022 como con señales reales. En el primer caso, mediante el modelo de los datos de la ecuación (1) para generar las muestras correspondientes a un arreglo de antenas similar al descrito en el epígrafe anterior. En la Fig. 7 se muestra el resultado de la estimación de DOA en 1D hasta el penúltimo paso del diagrama de flujo de dos fuentes emisoras de señal de igual potencia con el arreglo de antenas en banda S. Se estableció una SNR de 10 dB y los emisores se ubicaron en las coordenadas de acimut /elevación (37 º,10 º) y (63 º,32 º), respectivamente. Este experimento solo tiene como objetivo comprobar la correcta validez de los algoritmos implementados. Como se aprecia, en el espectro de MUSIC de 1D se forman dos picos espectrales alrededor de las direcciones de las dos fuentes emisoras tanto en acimut como en elevación.

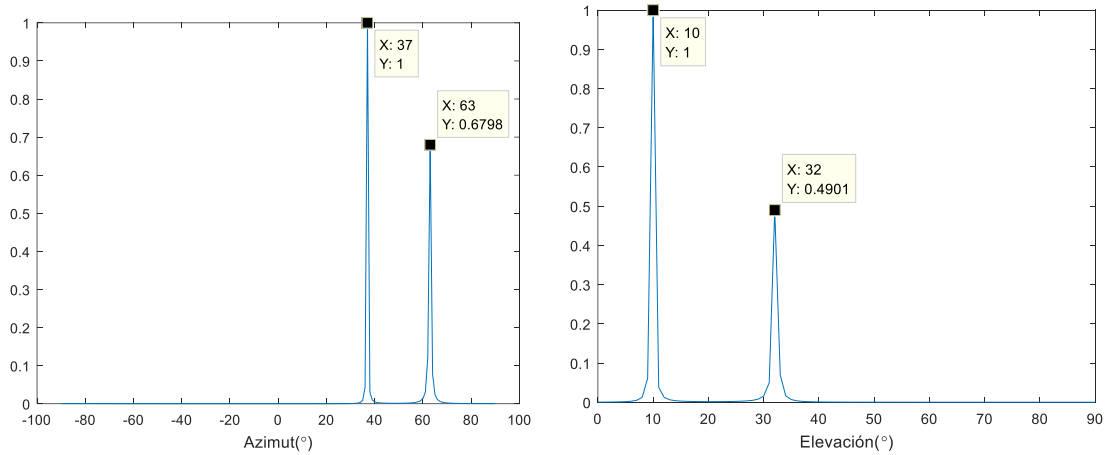
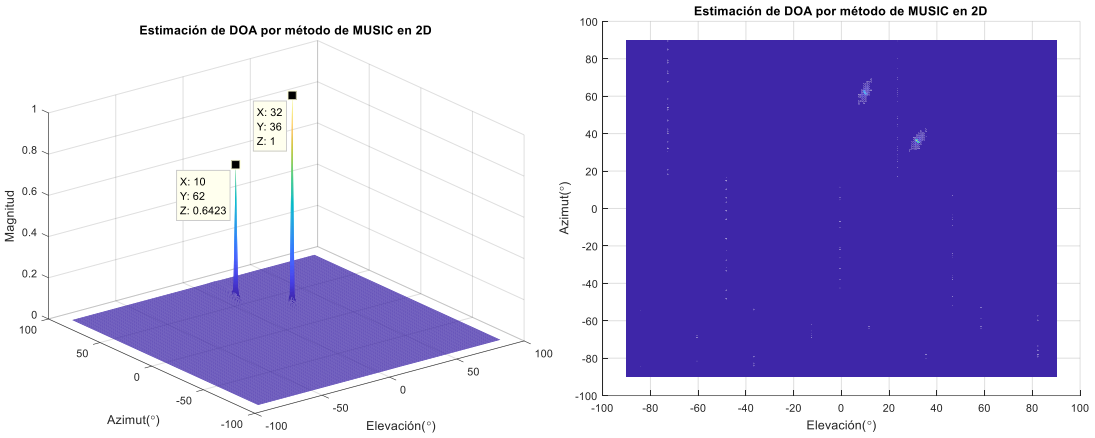



Figura 7. Espectro de MUSIC resultante de la estimación de DOA en 1D. a) De dos fuentes emisoras ubicadas en 37 º y 63 º en acimut. b) De dos fuentes emisoras ubicadas en 10 º y 32 º.

Aunque los estimados anteriores son correctos, el procesado independiente de los planos no permite asociar cada uno de los valores de acimut con los de elevación. Para ello se ejecutaron el resto de los pasos del diagrama de flujo. En la figura 8 se muestra el espectro bidimensional con los respectivos estimados de las dos fuentes emisoras tanto en acimut como en elevación.




(a) (b)

Figura 8. Espectro de MUSIC en 2D resultante de la estimación de DOA de dos fuentes emisoras ubicadas en (37 º,10 º) y (63 º, 32 º). a) En 3D. b) En el plano XY.

Luego se determinaron las combinaciones de estimados que arrojan el mayor valor en el espectro de MUSIC 2D y se completó el proceso de asociación. Aunque se representa el espectro bidimensional en su totalidad, para el cálculo solo se emplearon los puntos asociados a los estimados en cada plano, en este caso 4 puntos. Este proceso permite la asociación de cada uno de los pares de valores sin la influencia de una coordenada en la otra (desacoplamiento). Los resultados obtenidos corroboran la validez del método implementado con la geometría del arreglo seleccionado y permitieron pasar a la etapa de validación con señales reales en todo el sector de estimación.

**Resultados experimentales con señales reales**

Para la comprobación del sistema implementado en tiempo real, se empleó una cámara anecoica de radiofrecuencia como ambiente controlado para comprobar el proceso de estimación de DOA de una fuente

emisora de señal en el sector de exploración concebido para acimut y elevación. A la derecha de la figura 9 se muestra una imagen del arreglo de antenas en banda S montado en la plataforma rotatoria de la cámara anecoica y a la izquierda el bloque de procesamiento multicanal conectado al arreglo de antenas.

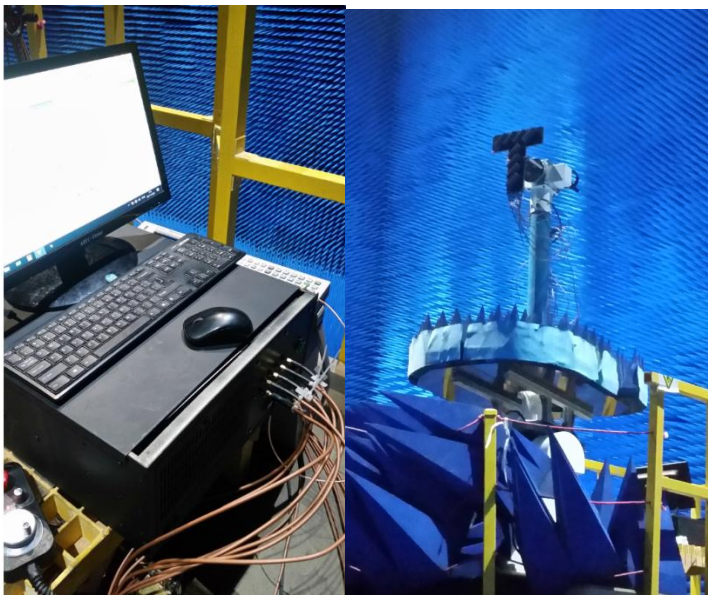
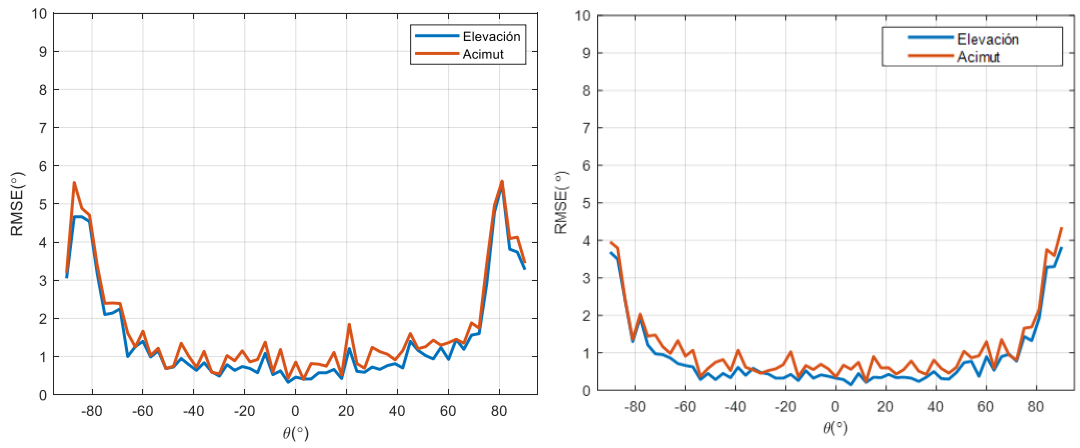
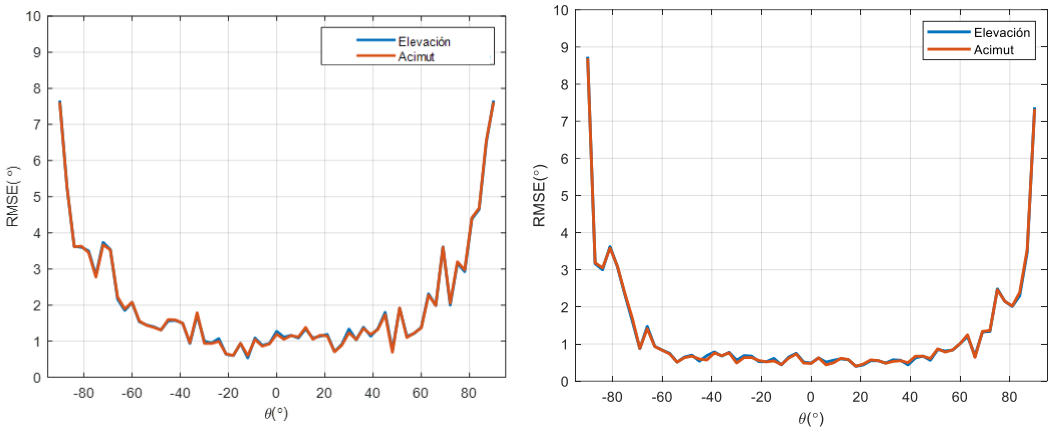


Figura 9: Sistema de estimación de DOA implementado durante las comprobaciones en la cámara anecoica. A la derecha se encuentra el bloque de recepción y procesamiento multicanal coherente.

Como fuente emisora se utilizó una antena de bocina con polarización vertical ubicada a la misma altura del arreglo a 12 m de distancia. Se rotó la plataforma giratoria con una discreción de 5 º y se realizaron 50 iteraciones para el cálculo del RMSE de la estimación de DOA en acimut. Para el caso de elevación, se rotó el arreglo de antenas 90 º y se comprobó de igual forma. En la figura se muestra el RMSE calculado para cada dirección. En la Fig. 10 se muestra el RMSE de las dos bandas de frecuencia en acimut y elevación para todo el sector de estimación de DOA.




(a) (b)




(c) (d)

Figura 10: RMSE en la estimación de la dirección de arribo para acimut y elevación en cada una de las posiciones de las fuentes emisoras comprobadas con el sistema implementado. a) Banda L: 1030 MHz. b) Banda L: 1090 MHz. c) Banda S: 2.4 GHz d) Banda S: 2.5 GHz

Como se aprecia en la figura 10, el error de estimación es mínimo en las direcciones alrededor del centro del arreglo y aumenta en las más alejadas, tal como se plantea en la literatura [15]. El RMSE total posee un valor promedio de 1.49 ° en el rango de -60 a 60 °, que para esta configuración se considera satisfactorio en función del análisis de la literatura relacionada [15]. En otro episodio se comprobó la resolución angular del método concebido en presencia de dos fuentes emisoras de señal. Con este fin, se fijaron dos antenas transmisoras a la misma altura con separaciones determinadas con las ubicaciones angulares que se muestran en la tabla 1. Luego, se determinó el número de picos estimados y el RMSE de la estimación de DOA mediante 100 iteraciones.

Tabla 1: Posiciones angulares de las dos fuentes emisoras para a la comprobación de la resolución angular de la estación.

| Δθ(°) | Fuente emisora 1 | | Fuente emisora 2 | | Picos espectrales |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\theta_1$(º) | $\hat{\theta}_1$(º) | $\theta_2$(º) | $\hat{\theta}_2$(º) | |
| 26 | 13 | 13.6 | -13 | -13.2 | 2 |
| 24 | 12 | 12.4 | -12 | -12.8 | 2 |
| 22 | 11 | 11.2 | -11 | -10.4 | 2 |
| 20 | 10 | 9.6 | -10 | -10.7 | 2 |
| 18 | 9 | 9.5 | -9 | -9.7 | 2 |
| 16 | 8 | 8.3 | -8 | -8.8 | 2 |
| 14 | 7 | 9 | -7 | -8.6 | 2 |
| 12 | 6 | 7.5 | -6 | -4.3 | 2 |
| 10 | 5 | 6 | -5 | -6.8 | 2 |
| 8 | 4 | 3 | -4 | - | 1 |
| 6 | 3 | 2.7 | -3 | - | 1 |

Como se aprecia en la tabla 1, el sistema estimó la dirección de las dos fuentes emisoras de señales separadas en una magnitud angular hasta un valor de 10 º, valor que representa menos de la mitad del ángulo de radiación del arreglo de antenas (24 º), lo que corrobora no solo la efectividad del método sino su capacidad de súper resolución.

La solución implementada tiene la ventaja de que la estimación de acimut no se influencia con la de elevación y viceversa (estimación desacoplada). En el caso particular de un arreglo plano uniforme, es

posible la aplicación de métodos más eficientes para un ULA como Root-MUSIC y el pre procesamiento para mitigar el efecto del multitrayecto. Luego de la comprobación funcional, se realizó un análisis comparativo de la eficiencia del método propuesto en función del volumen de operaciones requeridas cuya síntesis se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Complejidad computacional del método propuesto en comparación con MUSIC 2D

| **Método** | Proyecciones Ortogonales | Búsquedas de Máximo | Número de Matrices de Covarianza |
|---|---|---|---|
| MUSIC 2D | MN | MN | 1 |
| Propuesto | M+N+P | $P^2$ | 1 |

Como referencia se tomó el método espectral MUSIC 2D por ser uno de los más empleados en la literatura consultada, donde M es el número de puntos en la cuadrícula de acimut y N en elevación. Como se aprecia, la variante propuesta posee una significativa reducción del volumen de cálculo necesario para realizar la estimación de DOA en 2D. Aunque la carga computacional es dependiente del número de fuentes emisoras, esta no es significativa con respecto al de referencia.

## 5. CONCLUSIONES

Se propuso un nuevo método de estimación de DOA en 2D con súper resolución optimizado para ser implementado en un sistema práctico. Se explotan las características de la mayoría de los arreglos planos para evitar una búsqueda espectral bidimensional y disminuir de esta forma el volumen de cálculo necesario. La reducción del volumen de operaciones facilita la ejecución del método en tiempo real lo que permitió su implementación en un sistema práctico. La comprobación de la solución con señales reales validó su efectividad y factibilidad para operar con señales reales.

## REFERENCIAS

1. JUNG, Yongchul ; JEON Hohyub; LEE, Seongjoo y JUNG Yunho, "Scalable ESPRIT Processor for Direction-of-Arrival Estimation of Frequency Modulated Continuous Wave Radar," *Electronics*, vol. 10, no. 6, p. 695, 2021.
2. RUAN, Ningjun; WANG, Han; WEN, Fangqing y SHI, Junpeng, "DOA Estimation in B5G/6G: Trends and Challenges," *Sensors*, vol. 22, no. 14, pp. 5125-5139, 07/08 2022.
3. LIU, C. W.; WU, J.Y.y HUANG, K. C., "A Low Latency NN-Based Cyclic Jacobi EVD Processor for DOA Estimation in Radar System," in *2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Sevilla, Spain, 2020, pp. 1-5.
4. KASSIR, H. A. *et al.*, "DOA Estimation for 6G Communication Systems," presented at the 12th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies, Athens; Greece, 2023.
5. VAN TREES, Harry. L., *Optimum Array Processing* (Detection, Estimation and Modulation Theory). John Wiley & Sons, Inc, 2002.
6. TONELLO, A. M. e INSERRA, D., "Radio positioning based on DoA estimation: An implementation perspective," in *2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, 2013, pp. 27-31.
7. HUSSAIN, A. A.; TAYEM, N. y SOLIMAN, A. H., "Computationally Efficent Forward/ Backward Averaged DOA Estimation of Coherent Sourece Pairs," presented at the 94th Vehicular Technology Conference, Helsinki; Finlandia, 2021.
8. ZHANG, Zhe; ZHANG, Lei; WANG, Han y SHI, Junpeng, "2D-DOA Estimation in Multipath Using EMVS Rectangle Array," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 13, 2023.
9. JACKSON, B. R., "2D Direction of Arrival Estimation Using Uniform Circular Arrays With Radiation Pattern Reconfigurable Antennas," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 11909-11923, 2022.
10. BAI, X.; QIU, H.; ZOU, Z.; HUANG, P.; HUANG, Y. y WANG, Y., "Joint Gain-Phase Errors Calibration and 2D DOA Estimation for Sparse Planar UAV Arrays," presented at the IEEE 7th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), Chongqing; China, 2023.

11. JIANG, G. J.; MAO, X. P. y LIU, Y.T. "Decoupled 2D DOA estimation with a small number of elements in UCAs," *IEEE Access*, 2016.
12. KRIM, H. y VIBERG, M., "Two Decades of Array Signal Processing Research: The Parametric Aproach," *IEEE Signal Porcessing Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 67-94, 1996.
13. SCHMIDT, R. O., "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, 1986.
14. IBARRA GUERRA, Yunior.; RAMÍREZ ZALDÍVAR, Alexander Rogelio; HERNÁNDEZ VIOLAT, Abel y ROJAS RAMÍREZ, Noslen, "Implementación Hardware-Software de un Sistema de Estimación de DOA con Súper Resolución," *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 43, no. 1, pp. 17-30, 2022.
15. FRIEDLANDER Benjamin, "The Mythical Uniform Linear Antenna Array," presented at the 55th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, Califronia, USA, 2021.

**Sobre los autores**

**Yunior Ibarra Guerra**, es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del ITM "José Martí" en el año 2015. Obtuvo el título académico de Máster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría" en el año 2023. En la actualidad opta por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en el ITM "José Martí". Trabaja como Investigador Agregado en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS" Correo electrónico: yuniorig2016@hotmail.com.

**Alexander R. Ramírez Zaldívar**, es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del ITM "José Martí" en el año 2015. Obtuvo el título académico de Máster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría" en el año 2023. En la actualidad opta por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en el ITM "José Martí". Trabaja como Investigador Agregado en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS". Correo electrónico: alex.r_92@outlook.com.

**José E. Vargas Fernández**, es ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas en el año 2013. En la actualidad opta por el título académico de Máster en Automática en la Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría". Trabaja como Investigador Agregado en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS". Correo electrónico: jevargas910127@gmail.com.

**Noslen Rojas Ramírez**, graduado de Ingeniero Radioelectrónico en el año 1994, Máster en Radioelectrónica en el año 1997 y Doctor en Ciencias Técnicas en el año 2008 en el ITM "José Martí". Posee la categoría científica de Investigador Titular desde el año 2012 y en 2018 recibió la Orden "Carlos J. Finlay" por los resultados alcanzados en la actividad científica. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS". Correo electrónico: noslenrr71@outlook.com.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ANTENAS INTELIGENTES CON HAZ CONMUTADO

**Alexander R. Ramírez Zaldívar[1], Yunior Ibarra Guerra[1], Noslen Rojas Ramírez[1]**

[1]Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS"
e-mail: cid3@reduim.cu

**RESUMEN**

Las últimas décadas han sido marcadas por un incremento en el número de usuarios que emplean los diferentes servicios de comunicaciones desarrollados. Esto hace necesario evolucionar las tecnologías utilizadas para asegurar una mejor satisfacción de las demandas actuales. El presente trabajo muestra la propuesta para el desarrollo de un arreglo de antenas inteligentes con conmutación del haz para su empleo en un sistema de comunicaciones. Utiliza como plataforma de implementación tarjetas de radiofrecuencia HSMC ARRadio acopladas a la placa de desarrollo TR4. El diseño propuesto permite el control dinámico de la dirección principal de siete patrones de radiación sintetizados digitalmente, garantizando la cobertura espacial de un sector angular de 100º. Con la realización del proyecto se abre una línea de trabajo aplicable en diferentes sistemas, capaz de adaptarse con facilidad a geometrías de antenas complejas y con la posibilidad de incorporar algoritmos adaptivos para incrementar el rendimiento del formador digital de cada haz.

**PALABRAS CLAVES:** Formador digital del haz, antenas inteligentes, haz conmutado.

**IMPLEMENTATION OF A SWITCHED BEAM ANTENNA SYSTEM**

**ABSTRACT**

The last decades have been marked by an increase in the number of users who use the different communications services developed. This makes it necessary to evolve the technologies used to ensure better satisfaction of current demands. The present work shows the proposal for the development of an intelligent antenna array with beam switching for use in a communication system. It uses as an implementation platform HSMC ARRadio radio frequency cards attached to the TR4 development board. The proposed design allows the dynamic control of the main direction of seven digitally synthesized radiation patterns, guaranteeing the spatial coverage of a 100º angular sector. With the completion of the project, a line of work applicable in different systems is opened, capable of adapting easily to complex antenna geometries and with the possibility of incorporating adaptive algorithms to increase the performance of the digital former of each beam.

**KEY WORDS:** Digital beamforming, smart antenna, switched beam.

## 1. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de controlar el patrón de radiación de una antena, permite elevar el rendimiento de sistemas de radiocomunicaciones en los cuales la ubicación de los usuarios o las condiciones espectrales de trabajo varían con el tiempo. Las antenas inteligentes, constituyen el elemento clave para dar solución a la problemática anterior. En estas, la combinación de un arreglo de unidades de radiación con bloques de procesamiento digital de señales, garantiza la formación dinámica del haz en función de las necesidades de trabajo reales[1].

En sus inicios, la utilización de antenas inteligentes se limitaba a aplicaciones de radar, sonar y comunicaciones militares. Sin embargo, el desarrollo alcanzado por los dispositivos de procesamiento digital de señales ha posibilitado su incorporación en el mundo de las telecomunicaciones modernas[2]. Son la base de los enlaces satelitales con técnicas de acceso múltiple por división de espacio (SDMA, del

inglés Space Division Multiple Access), e incorporadas en los estándares de telecomunicaciones IEEE802.11ac y LTE (del inglés Long Term Evolution)[3].

Los sistemas con haz conmutado, constituyen una variante de implementación de antenas inteligentes. En estos son formados múltiples haces directivos fijos. En cada dirección se activa el sistema de recepción para identificar la presencia de señales. Al detectar una fuente de información útil, es almacenada la identificación y ubicación del usuario para establecer la comunicación a través del diagrama de radiación predefinido que apunte en su dirección. Cuando la fuente se traslada se realiza la conmutación de los diagramas para mantener el enlace con la máxima ganancia de antenas posible[4].

Varios autores han tratado el desarrollo y empleo de esta tecnología. Rosa expone la implementación de una Red de Área Local con conmutación electrónica de ocho antenas dispuestas en una geometría cilíndrica [5]. Almorabeti propone un diseño basado en la matriz de Butler para formar cuatro diagramas ortogonales, realiza su implementación sobre microcinta e incorpora un conmutador con diodos PIN[6]. Ahmed y Tiang analizan la utilización de conmutación de haces en sistemas de comunicaciones V2V (del inglés Vehicle-to-Vehicle) [7, 8].

El presente trabajo muestra la implementación de un arreglo de antenas con formación digital de múltiples diagramas de radiación para un sistema con haz conmutado. Se basa en el empleo de tarjetas transceptoras HSMC ARRadio acopladas a la placa de desarrollo TR4. El objetivo principal es exponer una arquitectura de diseño aplicable a esta variante de sistema inteligente, capaz de adaptarse a geometrías de antenas complejas e incorporar algoritmos adaptivos para incrementar el rendimiento del formador digital de cada haz. El desarrollo no incluye el algoritmo de búsqueda e identificación de señales, pero brinda la plataforma que garantiza la formación y conmutación de múltiples haces durante la recepción. El principal aporte del trabajo es la exposición de variante de diseño para el desarrollo de antenas inteligentes en sistemas de telecomunicaciones.

## 2. CONTENIDO

### Formación digital del haz

En una antena convencional la contribución del campo electromagnético para diferentes direcciones en la zona lejana se encuentra determinada por la ley de distribución de corriente en su superficie del radiador. Por tanto, su característica direccional es condicionada por la geometría de la antena y el punto de alimentación[9].

Un arreglo de antenas incluye unidades de radiación alimentadas de forma independiente. Al modificar la amplitud y fase de las señales en su entrada se establece una distribución de corriente equivalente por lo que se puede obtener la característica direccional deseada. Dicho proceso es conocido como formación del diagrama de radiación[10].

Un salto crucial para el desarrollo de los sistemas inteligentes es el empleo de formadores digitales del haz. En estos las señales adquiridas por los elementos son digitalizadas y enviadas a un procesador de señales. En su interior, se aplica a cada canal un factor de peso complejo para garantizar la síntesis del diagrama. Trabajar en el dominio digital brinda la posibilidad de conformar múltiples haces con características diferentes y dinámicas sin necesidad de modificar la estructura física del arreglo de antenas; cuestión aprovechada por los sistemas con haz conmutado[11].

### Plataforma de recepción y procesamiento

El elemento inicial para la formación digital del haz es la adquisición y digitalización de las señales a la entrada de cada elemento. Para ello, Peter Delos propone el empleo de un Circuito Integrado de Radiofrecuencia (RFIC, por sus siglas en inglés)[12]. En el trabajo [13] se muestra un prototipo desarrollado sobre la base del transceptor de cuatro canales AD9061. Operar directamente con los RFIC

disponibles requiere de una tecnología de montaje avanzada capaz de soportar diseños complejos. El integrado AD9361, por ejemplo, necesita la conexión de 144 pines en un área de 102 $mm^2$ [14].

Una respuesta es el empleo de placas de evaluación que incluyen RFIC y los elementos de hardware necesarios para su funcionamiento. En el presente trabajo se utiliza la tarjeta HSMC ARRadio. Esta puede ser acoplada a un dispositivo de manejo externo a través de la interfaz de alta velocidad HSMC (del inglés High Speed Mezzanine Card) y contiene como elemento base al RFIC de dos canales transceptores AD9361.

Las etapas de procesamiento en los formadores digitales, se caracterizan por presentar una arquitectura híbrida[15]. Predominan los DSP y FPGA (del inglés Digital Signal Processor y Field Programmable Gate Array respectivamente) para la realización de la formación digital del haz. La selección de uno u otro se encuentra condicionada por la aplicación específica a desarrollar, aunque la mayor parte de las bibliografías sobre el tema coinciden en el empleo de FPGA[16].

El RFIC AD9361, presenta dos bus de datos de 12 bits, a través de los cuales circulan entrelazadas las señales de transmisión y recepción (en banda base) de dos transceptores; un bus de control, para el manejo de la comunicación y una interfaz SPI (del inglés Serial Peripherical Interface) para la configuración de los parámetros de operación del sistema (Frecuencia, ancho de banda, tasa de muestreo, etc.). El ARRadio garantiza el acceso a todas las señales mencionadas a través del conector HSMC. El dispositivo empleado para el procesamiento digital de los datos debe garantizar la conexión con dicha interfaz.

La necesidad del empleo de múltiples tarjetas de adquisición, así como las cuestiones asociadas al control de estas conducen a la selección de la Placa de Desarrollo TR4. Esta presenta un total de 6 conectores HSMC para la conexión de tarjetas transceptoras y su núcleo de procesamiento es el FPGA EP4SGX230C2 de la familia Stratix IV.

**Arquitectura del sistema**

A partir de la plataforma de recepción y procesamiento seleccionada, se propone el esquema de conexión de la Fig.1 para el sistema de antenas con haz conmutado. Incluye cuatro tarjetas HSMC ARRadio conectadas a la placa de desarrollo TR4. Con estas, es posible procesar las señales de ocho antenas para la formación digital de los múltiples diagramas de radiación.

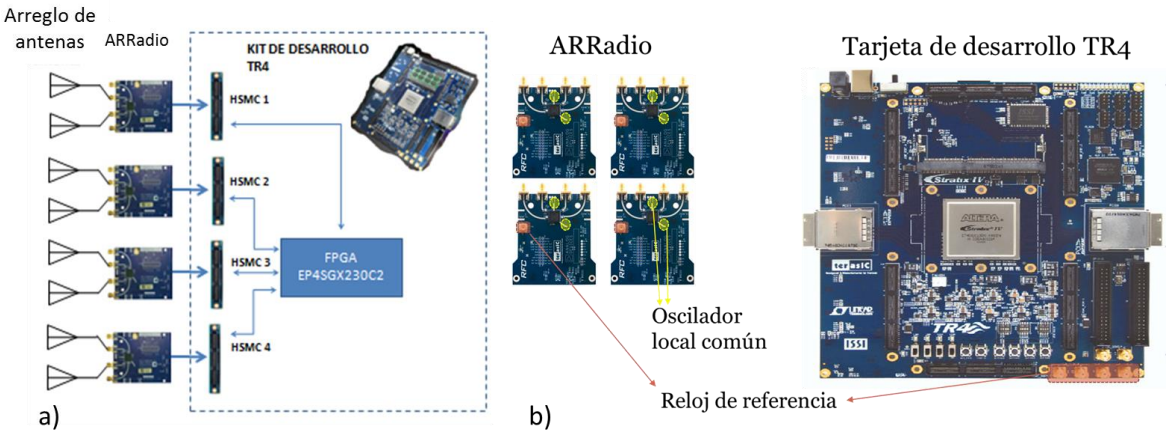



Figura 1: Esquema del arreglo de antenas inteligente. a) Conexión entre los transceptores y el sistema de procesamiento. b) Conexión de las señales para la coherencia multicanal.

La imagen de la izquierda muestra la vía de comunicación entre los transceptores integrados y la tarjeta de desarrollo TR4. A través de las líneas de alta velocidad HSMC se enlazan los AD9361 con el FPGA donde tiene lugar el grueso del procesamiento. En la derecha se incluyen los puntos para conexión de un oscilador local para garantizar la coherencia en radiofrecuencia de las señales de cada canal y el modo de distribución del reloj para asegurar el sincronismo en banda base.

El FPGA cumple con tres funciones esenciales para el sistema: efectúa la configuración de las tarjetas transceptoras, garantiza la correcta recepción y calibración de las señales procedentes de los AD9361 y realiza la síntesis digital de los siete patrones de radiación formados digitalmente. El esquema funcional que muestra sus elementos fundamentales se representa en la Fig. 2.

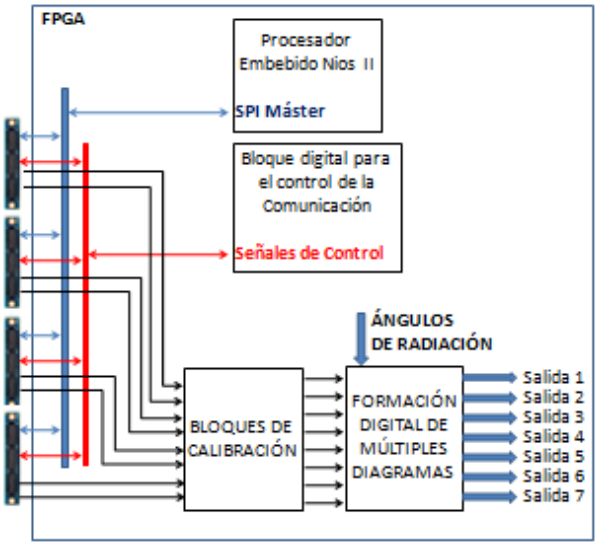



Figura 2: Esquema funcional del diseño en FPGA.

Para la inicialización de los parámetros de funcionamiento de los AD9361, se emplea el Softcore desarrollado por la empresa Altera NIOS II, embebido en el FPGA. A través de la interfaz de comunicación SPI envía la secuencia de configuración que incluye:

- Habilitación de los dos canales receptores.
- Configuración del ancho de banda del receptor en radiofrecuencia.
- Configuración de la frecuencia central de trabajo.
- Configuración de las tasas de muestreo de las señales.
- Programación del filtro digital interno.
- Configuración de la ganancia manual.
- Calibración interna del offset de recepción y el balance de los canales en fase y cuadratura.

La lógica para el control de la comunicación se elabora a partir del protocolo de comunicación establecido por el fabricante del AD9361. Tomando como base el reloj de muestreo definido durante la inicialización efectúa la recuperación de los datos de cada canal los cuales se encuentran entrelazados con la secuencia I1, Q1, I2, Q2, donde I y Q representan las componentes en fase y cuadratura de las señales, y la numeración indica el canal transceptor.

El primer bloque de procesamiento por el cual circulan las señales adquiridas es el de calibración. Este comienza su funcionamiento durante la inicialización del sistema, donde emplea una señal de referencia generada por uno de los transmisores, y distribuida a todos los canales de recepción, para obtener las diferencias de amplitud y fase entre canales. Para ello emplea un algoritmo basado en la transformada de Fourier. Una vez determinadas las diferencias se elaboran los coeficientes de corrección, que son aplicados continuamente durante el funcionamiento del sistema.

Las señales calibradas son enviadas al bloque para la formación digital de los diagramas direccionales. Se encuentra formado por un total de siete subsistemas similares encargados de la síntesis de cada haz. Las direcciones de radiación deseadas son aplicadas a cada subsistema según corresponda. El cálculo de los pesos para la formación de cada haz, se realiza mediante un algoritmo convencional basado únicamente en la dirección de radiación introducida[17].

Como circuito de conmutación se propone el esquema mostrado en la Fig.3. En este, se configura un diagrama direccional fijo en los canales sintetizados con el fin de efectuar la lectura secuencial de las salidas de cada uno. Esta variante es útil cuando las unidades de procesamiento de datos que siguen al arreglo de antenas no son capaces de manejar un número elevado de información. La plataforma desarrollada, permite implementar arquitecturas de procesamiento complejas como son los sistemas adaptativos u otras donde cada haz opere de forma aislada conmutando secuencialmente.

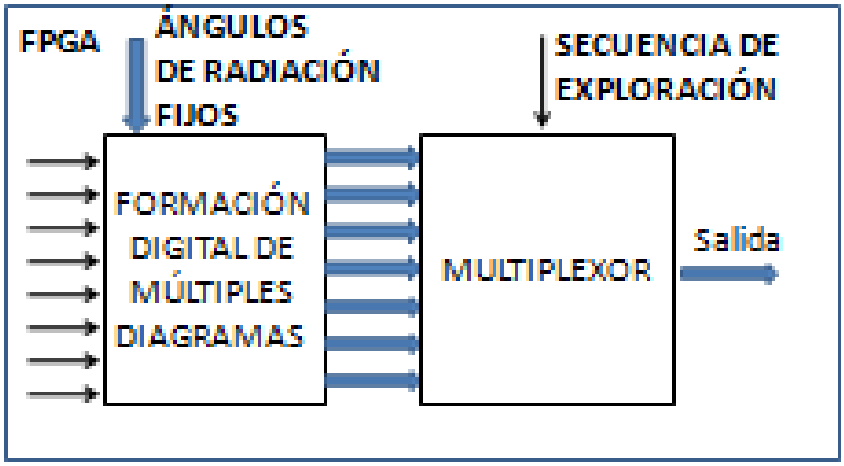



Figura 3: Sistema de conmutación del haz.

**Discusión de los resultados**

La tecnología propuesta en el presente trabajo para el desarrollo de antenas inteligentes con conmutación del haz fue validada con el objetivo de verificar las posibilidades reales de empleo. Para ello fue empleado un sistema de verificación compuesto por ocho líneas de recepción con antenas separadas a 0.6 veces la longitud de onda de trabajo. Las pruebas fueron realizadas en la frecuencia de 2.412 GHz correspondiente al primer canal de acceso wifi.

La calibración constituye un elemento clave para la correcta formación del diagrama direccional, por lo que fue el primer elemento comprobado. La siguiente imagen muestra las componentes en fase y cuadratura de las señales recibidas por los receptores antes y después de realizar este proceso.

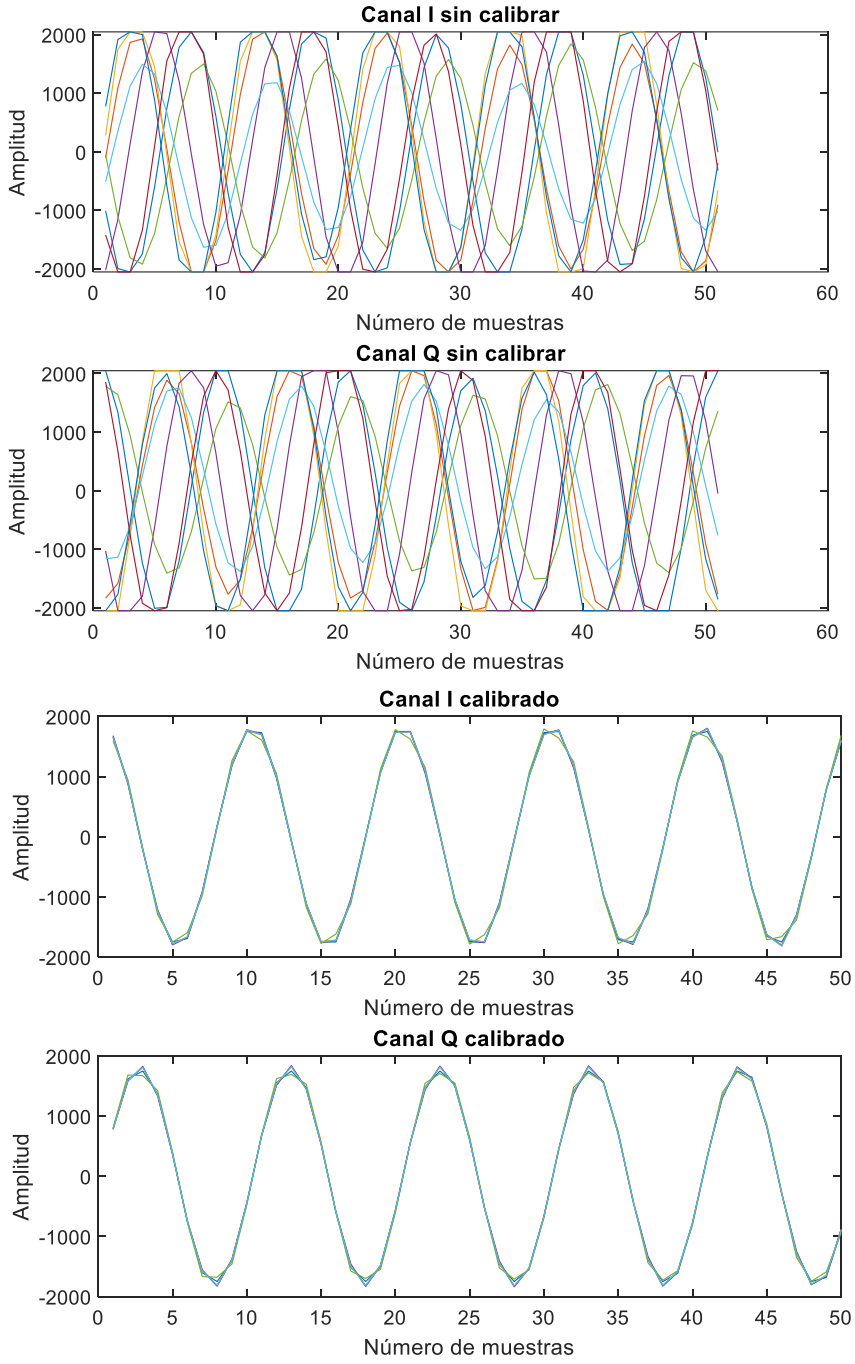



Figura 4: Señales recibidas antes (superior) y después (inferior) de la calibración.

Se aprecia la alineación de la fase de las señales y la compensación de la diferencia de amplitud entre los canales. Como referencia se utilizó una señal sinusoidal desplazada 0.1 MHz con respecto al centro de la frecuencia de trabajo.

Para valorar el comportamiento de la calibración entre canales con el tiempo se efectuaron 40 capturas de las señales de salida, distribuidas en grupos de 10 realizaciones, separados entre sí por una hora. De esta forma, se obtuvo información durante las tres primeras horas de trabajo del sistema tras la calibración. Estos datos fueron procesados en la herramienta computacional Matlab y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1: Comportamiento de los errores de amplitud y fase entre los canales tras la calibración.

| **Tiempo (minutos)** | **Desviación estándar del error absoluto de fase (°)** | **Desviación estándar del error de amplitud relativo (%)** |
|---|---|---|
| 0 | 0.0351 | 0.0621 |
| 60 | 0.1473 | 0.2828 |
| 120 | 0.6828 | 0.3594 |
| 180 | 0.7538 | 0.3971 |

Los valores mostrados en la tabla indican la tendencia a incrementar las desviaciones tras la calibración, como resultado de las variaciones de temperatura en los elementos del sistema transceptor. A pesar de ello, tanto los errores de amplitud como los de fase toman valores pequeños, en el peor de los casos no superan 0.3971% y 0.7538º respectivamente. Por tanto, es posible garantizar la formación del diagrama de radiación sin introducir errores significativos en los patrones sintetizados[18].

Seguidamente se verificó la formación de la característica direccional para lo cual se empleó el esquema de medición mostrado en la Fig. 5. La comprobación fue realizada en una cámara anecoica donde se emularon las condiciones de espacio libre. Las señales resultantes de cada haz fueron enviadas a través de una interfaz de comunicación serie hacia una PC donde un programa desarrollado para la verificación del sistema se encarga de graficar la forma del diagrama direccional sintetizado digitalmente.

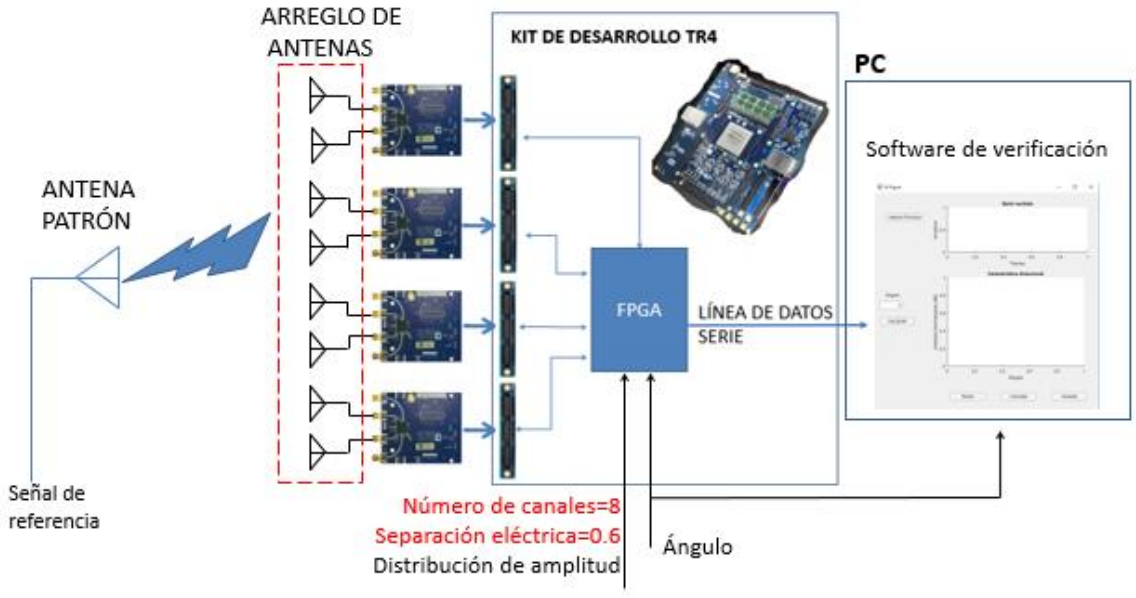



Figura 5: Esquema para la medición de la característica direccional.

Como resultado se obtuvo los patrones de radiación mostrados en la Fig. 6.

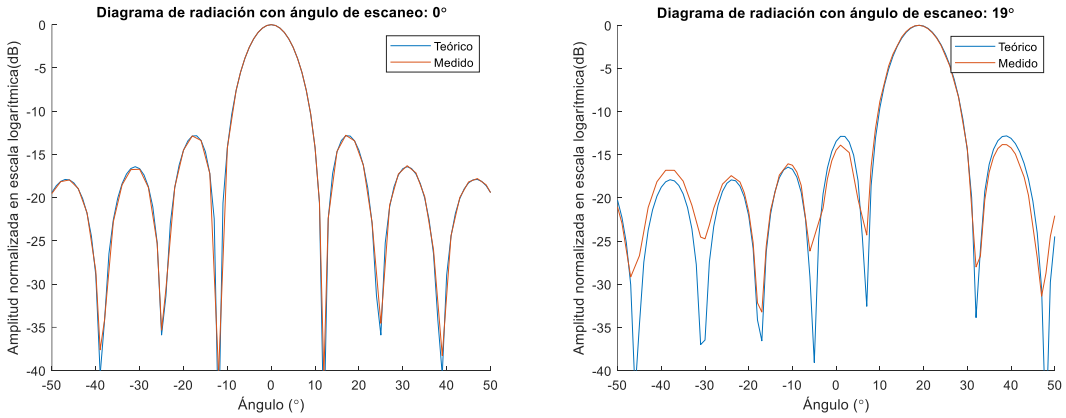



Figura 6: Diagramas de radiación formados digitalmente. Izquierda 0 grados, derecha 19 grados.

La figura representa los diagramas medidos y simulados para dos de los canales del sistema de antenas con haz conmutado. Existe una correspondencia entre ambos con un error absoluto en el nivel de los lóbulos laterales inferior a 1.5 dB y en el ángulo de radiación de 0.39°. Las diferencias fundamentales entre ambos se manifiestan en la profundidad de los nulos de radiación y son una consecuencia directa de los errores de amplitud y fase presentes en el sistema. Con la geometría empleada, utilizando siete diagramas direccionales es posible cubrir un sistema de exploración de 100° para el sistema de antenas con haz conmutado, como se muestra en la Fig. 7.

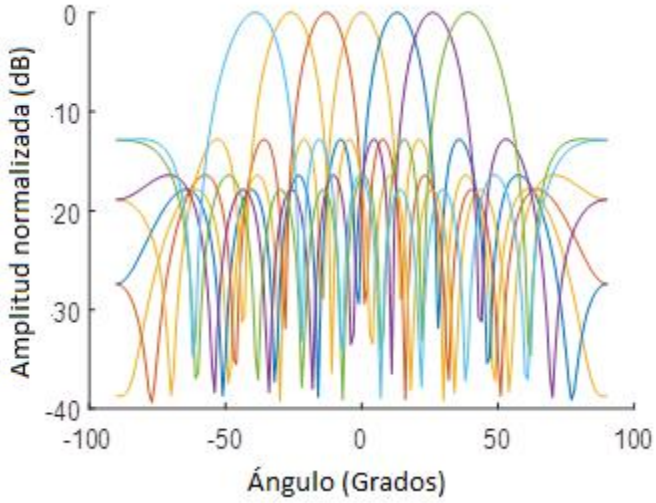



Figura 7: Característica direccional del sistema con múltiples haces.

## 3. CONCLUSIONES

El formador digital del diagrama de radiación implementado garantiza la creación de múltiples haces direccionales simultáneos de recepción por lo que puede ser empleado en un sistema con haz conmutado. En el trabajo se exponen los principales elementos tecnológicos que posibilitaron su desarrollo. La arquitectura de diseño propuesta además de ser aplicable a antenas inteligentes con conmutación del haz, es capaz de adaptarse a geometrías de antenas complejas pues, al formar el diagrama con técnicas digitales, solo necesita modificar la ecuación para la determinación de los pesos en el bloque de formación del haz. Esa misma razón hace que también sea posible el desarrollo de algoritmos adaptativos. Lo anterior ratifica el cumplimiento del objetivo propuesto para la realización del trabajo.

Fue comprobada la correcta formación del diagrama de radiación. Los errores de amplitud y fase en cada canal de recepción resultaron inferiores a 0.3971% y 0.7538° respectivamente. Como consecuencia, las diferencias entre los haces medidos en la cámara anecoica y los simulados no superaron 1.5 dB para el nivel de los lóbulos laterales inferior y 0.39° en el ángulo de radiación.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los compañeros de la entidad que han contribuido en la obtención del desarrollo expuesto en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

1.ONG, L.T., *Adaptive Beamforming Algorithms for Cancellationof Multiple Interference Signals.* Progress In Electromagnetics Research, 2015. **43**(M): p. 109-118.
2.ZHAI, M. *Smart Antenna Technology in Mobile Communication and Its Research Progress*. in *International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication (ICCTEC)*. 2017. Sanya, China: IEEE.
3.CHEN, Z. and H. Haas. *Space division multiple access in visible light communications*. in *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. 2015. London, UK: IEEE.
4.SHARMA, B., et al., *An introduction to smart antenna system.* International Journal of Business and Engineering Research, 2014. **8**(11).
5.ROSA, S.L., et al. *Switched Beam Smart Antenna for Wireless Local Area Network*. in *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2014)*. 2014. Yogyakarta, Indonesia.
6.ALMORABETI, S., et al., *Design and Implementation of a Switched Beam Smart Antenna For Wireless Power Transfer System at 5.8 GHz*, in *2018 Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)*. 2018, IEEE: Casablanca, Morocco. p. 1-6.
7.AHMED, T.H., et al., *Evaluating the Performance of Proposed Switched Beam Antenna Systems in Dynamic V2V Communication Networks.* Sensors, 2023. **23**(15): p. 1-20.
8.SETTAWIT Poochaya, P.U., *Beam Tracking in Switched-Beam Antenna System for V2V Communication.* International Journal of Antennas and Propagation, 2016. **2016**(Special): p. 1-13.
9.STINCER, E.P., *Antenas. Teoría general*. 2001, La Habana: ITM.
10.RODRÍGUEZ, D.C., E. García, and R.B. Miller *Diseño e Implementación de un Beamformer Transmisor en una FPGA*. 2017. 6.
11.BAILLEUL, P.K. *A New Era in Elemental Digital Beamforming for Spaceborne Communications Phased Arrays*. 2016. **104**, 623-632 DOI: 10.1109/JPROC.2015.2511661.
12.DELOS, P. *Digital beamforming techniques for phased array system*. 2017.
13.DELOS, P., C. Frick, and M. Jones. *Multichannel RF-to-Bits development Platform Enables Rapid Prototyping for Phased Arrays*. 2020; Design notes]. Available from: https://analog.com/en/design-notes/multichannel-to-bits-development-platform.html.
14.*HSMC ARRadio Daughter Car*.
15.YU, X., *Digital signal processor based real-time phased array radar backend system and optimization algorithms*, in *Electrical and computer engineering*. 2017, University of Oklahoma: Norman, Oklahoma. p. 164.
16.DIKMESE, S., et al., *Digital signal processor against field programmable gate array implementations of space-code correlator beamformer for smart antennas.* IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2010. **4**(5): p. 593–599.
17.S. VENKATA Rama Rao, A.M.P., CH. SANTHI Rami, *Antenna Array Weight Synthesis for Low Side Lobe Levels using Window Functions.* International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2019. **9**(1): p. 8.
18.MAILLOUX, R.J., *Phased Array Antenna Handbook*. 3rd ed. 2018: Artech House.

**Sobre los autores**

Alexander Rogelio Ramírez Zaldívar, es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2015. Ostenta el título académico de Máster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría y la categoría científica de Investigador Agregado. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

Yunior Ibarra Guerra, es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del Instituto Técnico Militar José Martí en el año 2015. Ostenta el título académico de Máster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría y la categoría científica de Investigador Agregado. Trabaja en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

Noslen Rojas Ramírez, es ingeniero Radioelectrónico, graduado del Instituto Técnico Militar José Martí en el año 2012. Ostenta el Grado científico de Doctor en Ciencias y la categoría científica de Investigador Titular. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

**CONTACTOS**

Si tiene alguna pregunta u observación en la preparación de su artículo por favor diríjase a la siguiente dirección de correo electrónico:

cid3@reduim.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO SISTEMA ANTENA-TRANSCEPTOR PARA RADAR DOPPLER DE CONTROL DE VELOCIDAD.

**Juan Carlos Lazo Lezcano[1], Ricardo J. Castillo Blanco[1], Orlando Ramos Morales[1], Noslen Rojas Ramírez[1]**

[1]Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS"
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

**RESUMEN**

El presente trabajo describe el desarrollo de un radar Doppler estacionario para el control de la velocidad, enfocado al empleo de la banda de 5 GHz con un esquema transceptor coherente homodino. En el proceso de diseño se analizan las limitaciones inherentes a los radares de onda continua referidas al aislamiento entre antenas transmisora y receptora y a los ruidos de fase de simple banda lateral, en función de maximizar el alcance de localización para blancos de baja superficie efectiva de reflexión y velocidad de traslación. En tal sentido, se emplean los modelos de estimación de alcance de radio-localización, obteniendo las principales exigencias a los subsistemas: Antena, Transmisor, Receptor y Sistema de Procesamiento digital de señales. Se desarrolla el diseño, construcción y medición de un sistema discreto de parches rectangulares con alimentación serie en la herramienta computacional CST Microwave Studio, con especial énfasis en la reducción del nivel de lóbulos laterales y el coeficiente de acoplamiento entre antena transmisora y antena receptora, así como el diseño y construcción de las etapas activas y pasivas de microondas en la herramienta computacional AWR Microwave Office. Finalmente, el sistema es validado mediante mediciones de laboratorio y en un escenario semejante a las condiciones de explotación.

**PALABRAS CLAVES:** Radar de onda continua, radar para el control de velocidad, radar Doppler.

**ANTENNA-TRASNCEIVER SYSTEM DESIGN FOR A SPEED CONTROL DOPPLER RADAR**

**ABSTRACT**

The present work describes the development of a stationary Doppler radar for speed control, focused on the use of the 5 GHz band with a homodyne coherent transceiver scheme. In the design process, the inherent limitations of continuous wave (CW) radars are analyzed, referring to the isolation between transmitting and receiving antennas and simple sideband phase noise, in order to maximize the location range for low Radar Cross Section (RCS) targets and translation speed. In this sense, radio-location range estimation models are used, obtaining the main requirements for the Antenna, Transmitter, Receiver and Digital signal processing system. The design, construction and measurement of a discrete system of rectangular patches with serial feed is developed in the computational tool CST Microwave Studio, with special emphasis on the reduction of the side lobes level and the coupling coefficient between transmitting and receiving antenna, as well as the design and construction of the active and passive microwave stages in the AWR Microwave Office computational tool. Finally, the system is validated through laboratory measurements and in a scenario similar to operating conditions.

**KEY WORDS**: CW radar, speed control radar, Doppler radar.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de radar ha experimentado en los últimos años un resurgimiento potenciado por el acelerado avance tecnológico en el campo de la microelectrónica, así como las crecientes demandas vinculadas al desarrollo de sensores cada vez más precisos y efectivos para aplicaciones militares, industriales, médicas y domésticas. Una de las aplicaciones más comunes y de gran impacto en la

seguridad pública es precisamente el empleo de radares Doppler para el control de velocidad, puesto en práctica a finales de la década de los 90 como medida preventiva y correctiva ante el exceso de velocidad en la vía. Comúnmente y basado en las regulaciones legales para la circulación vial establecidas internacionalmente, el radar Doppler debe ser capaz de medir velocidades desde 20 hasta 250 km/h en un rango de distancia de hasta 300 m para superficies efectivas de reflexión eventualmente inferiores a 1 $m^2$ [1]. La topología típica empleada en aplicaciones prácticas de transceptores de radar Doppler es la homodina con mezcla simple o IQ, obteniéndose en esta última la posibilidad de medir el sentido de desplazamiento del blanco.

Para la radiación al espacio y recepción del eco de radar se emplean dispositivos circuladores de ferrita en calidad de conmutadores de antena, dado el estrecho ancho de banda Doppler esperado, pero condicionando un empeoramiento del aislamiento entre transmisor y receptor ocasionado por las ondas reflejadas desde el radiador y con esto la limitación del alcance de radio-localización por el empeoramiento del rango dinámico del receptor. En tal sentido y como solución a la anterior limitación de éste esquema de radar, suelen emplearse antenas independientes adecuadamente espaciadas sobre la base del compromiso entre aislamiento y dimensiones físicas del sistema, fundamentalmente en aplicaciones estacionarias de radar.

Otra de las fuentes de limitaciones de alcance, especialmente abordadas en la mayoría de los desarrollos de radar de onda continua [2], está vinculada a las características espectrales de las señales de sondeo y heterodino, específicamente, la densidad espectral de ruido de fase. La frecuencia Doppler resultante del proceso de mezcla entre el eco y la señal de heterodino es proporcional a la longitud de onda radiada y a la velocidad radial del blanco (1).

$$Fd = \frac{2 \cdot Vr}{\lambda} \qquad (1)$$

donde:
$Fd$: Frecuencia Doppler recibida del blanco expresada en $Hz$.
$Vr$: Velocidad radial del blanco expresada en $m/s$.
$\lambda$: Longitud de onda de trabajo del transceptor expresada en $m$.

Dada esta relación física y un rango de velocidades del blanco entre los 20 a 200 km/h, resulta común el empleo de bandas de frecuencias superiores (X, Ku, K, Ka), obteniéndose valores de frecuencia Doppler en el orden de unidades de kHz y con ello, la reducción del impacto de los ruidos de fase de la señal de heterodino en la sensibilidad límite del dispositivo receptor. Sin embargo, se introduce un costo y complejidad tecnológica significativos, sobre la adquisición y fabricación de placas de circuito impreso con sustratos de bajas pérdidas tangenciales y dispositivos activos de microondas. En tal sentido, adquiere vital importancia la selección de la frecuencia de trabajo a emplear, en función de nuestras capacidades tecnológicas y las regulaciones establecidas en el país sobre compatibilidad electromagnética, así como la evaluación de los parámetros de los dispositivos antena y transceptor para satisfacer la exigencia de alcance de radio-localización dadas las características espectrales de los dispositivos heterodinos disponibles en el mercado. De esta forma, se seleccionó la frecuencia de 5 GHz para el diseño del radar, atendiendo a la experiencia práctica de empleo del sustrato FR4 sensibilizado (εr=4.4, H=1.5 mm, $T$=0.035 mm y $tand$=0.03) en esta banda y a la autorización como banda de radar en nuestro país [3].

## 2. ESTIMACIÓN DEL ALCANCE DE RADAR.

Según los estudios realizados sobre el comportamiento de la Superficie Efectiva de Reflexión (SER) (figura 1) sobre los distintos medios de transporte vial [4], se ha determinado como rango útil para el análisis del alcance de radio-localización, SER entre 2 (para ciclomotores) y 16 dBsm (para autos ligeros) o, entre 1.58 y 12 $m^2$. Por otra parte, para el rango de velocidades exigido, la banda útil de procesamiento de acuerdo a la expresión (1) es de 185 a 1851 Hz, por lo que la frecuencia de muestreo del conversor análogo-digital del sistema de procesamiento debe ser como mínimo de 4 kHz, cumpliendo con el criterio de Nyquist. Empleando una Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés) de 256 puntos como filtro óptimo adaptado, se obtiene una resolución de medición de 7.81 Hz, lo que correspondería en

velocidad a 0.23 km/h.

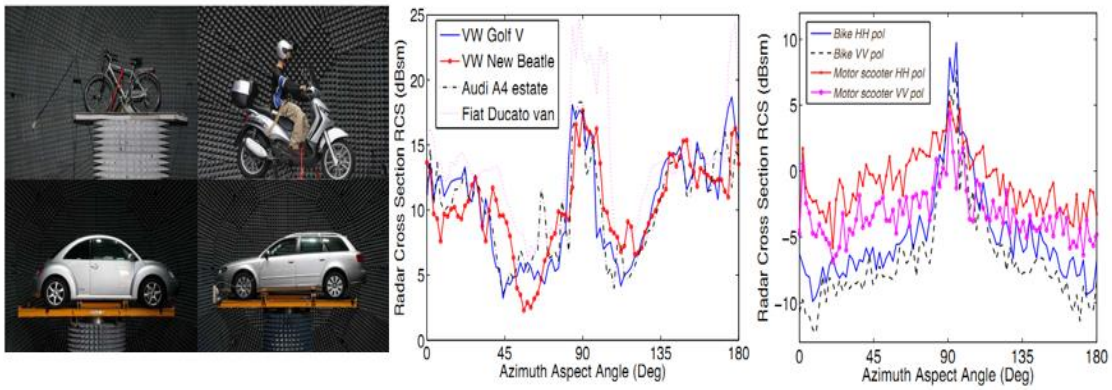



Figura 1. Mediciones de superficie efectiva de reflexión a diferentes medios de transporte vial.

De esta forma, el ancho de banda adaptado del receptor ($Bw$) se realiza en el procesamiento digital, no en las etapas analógicas de amplificación en banda base, las cuales tienen como objetivo fundamental la preselección del espectro útil resultante de la mezcla de frecuencias y la adaptación del rango dinámico de entrada en altas frecuencias al rango dinámico de procesamiento. De lo anterior se puede determinar la sensibilidad límite del receptor como:

$$Plim[dBm] = 30 + 10 \cdot \log(K \cdot T_e \cdot Bw \cdot Fn) = -157.4 \qquad (2)$$

donde:
$K = 1.38 \cdot 10^{-23} {}^{J}/_{K}$ Constante de Boltzmann;
$T_e = 300\ K$ Temperatura efectiva de ruidos;
$Bw = 7.81\ Hz$ Ancho de banda adaptado;
$Fn = 7.5\ dB$ Coeficiente de ruido del receptor, asociado a las pérdidas de conversión del mezclador de frecuencias como primera etapa.

El dispositivo heterodino empleado en el diseño es el VCO ROS 5400 [5] cuyas características espectrales se muestran en la figura 2. La potencia de ruidos de fase de simple banda lateral a la frecuencia crítica de 185 Hz es de $PnVCO = -95$ dBm, siendo evidente la limitación del rango dinámico y consecuentemente, el alcance de radio-localización potencial en relación a la sensibilidad límite calculada en (2).

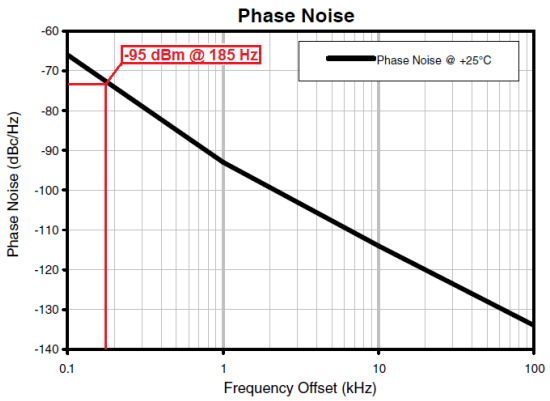



Figura 2. Densidad espectral de ruidos de fase de simple-banda lateral del VCO ROS 5400.

Al aplicar la ecuación de estimación de alcance de radar [6] y asumiendo valores de ganancias de antena transmisora y receptora de $Gt = Gr = 16\,dB$, potencia transmitida de $Pt = 17\,dBm$, $SER = 12\,m^2$ y una distancia entre el radar y el blanco de $R = 300\,m$, se obtiene una potencia recibida a la entrada del receptor de -96.7 dBm (3), ligeramente inferior a la potencia de ruidos de fase aportados por el heterodino.

$$\Pr[dBm] = 30 + 10\log\left[\frac{10^{\frac{Pt-30}{10}}\cdot 10^{\frac{Gt+Gr}{10}}\cdot\lambda^2\cdot SER}{R^4\cdot(4\pi)^3}\right] = -96.7 \qquad (3)$$

donde:
$\lambda = 0.06$ m : Longitud de onda a la frecuencia de 5 GHz.

De este análisis se observa la limitación del alcance máximo exigido para el máximo valor de SER, a partir del empeoramiento de la relación señal al ruido en una magnitud de -1.7 dB. Una alternativa de solución a este problema consiste en el empleo de amplificadores de radio frecuencia con bajo nivel de ruido (LNA) como primera etapa activa del dispositivo receptor, donde la ganancia de potencia constituye el recurso para incrementar la potencia de la señal eco por encima de los ruidos de fase del heterodino durante el proceso de mezcla de frecuencias. Sin embargo, al incrementar la ganancia en las etapas de alta frecuencia puede deteriorar la magnitud del rango dinámico de entrada del dispositivo receptor, dado el aislamiento limitado entre las antenas transmisora y receptora. En tal sentido, se puede determinar el aislamiento mínimo requerido ($S[dB]$) entre antenas para una cascada de LNA y mezclador de frecuencias como:

$$S[dB] \geq Pt[dBm] - P1dBmix[dBm] + GpLNA[dB] \qquad (4)$$

donde:
$P1dBmix\ [dBm]$: Potencia de entrada del mezclador para la cual se comprime la ganancia de conversión en 1dB;
$GpLNA\ [dB]$: Ganancia de potencia de la etapa LNA

Empleando un amplificador monolítico del tipo RF 3376 [7] y un mezclador de frecuencias del tipo SIM 153 [8] con valores de ganancia de potencia de $GpLNA = 12$ dB y $P1dBmix = 1$ dBm respectivamente, el aislamiento mínimo requerido entre antenas para el trabajo lineal de las etapas de radio frecuencia del dispositivo receptor es de $S[dB] = 28$. A partir de estos valores y para el alcance máximo exigido ($R = 300\,m$) a la mínima velocidad de traslación medible del blanco ($Vr = 20\,km/h$), la relación señal al ruido estimada a la entrada del procesador es de 10.3 dB (5), lo cual en términos de detección es un resultado satisfactorio.

$$SNRp[dB] = \Pr[dBm] + GpLNA[dB] - PnVCO[\text{dBc/Hz}] = 10.3 \qquad (5)$$

## 3. ESQUEMA FUNCIONAL DEL RADAR.

El esquema funcional del sistema proyectado se muestra en la figura 3. De acuerdo con los datos del fabricante del VCO, la potencia de salida de este dispositivo es de 0 dBm, por lo que debe ser amplificada para obtener una potencia transmitida de 15 dBm y simultáneamente garantizar la potencia requerida para la excitación del mezclador doblemente balanceado SIM 153 de 7 dBm. De esta forma se dispone de una cascada de etapas amplificadoras empleando el monolítico PHA-1 [9] y una híbrida de 90º. Las señales resultantes de la mezcla de frecuencia son aplicadas a las etapas de AFI (Amplificador de Frecuencia Intermedia) hasta alcanzar el valor de -10 dBm de potencia de ruidos propios requeridos por el procesador digital de señales. Una vez digitalizadas por el conversor análogo-digital se le aplican los procesamientos correspondientes al filtrado adaptado, detección de máximo, cálculo de velocidad en unidades de km/h y representación de la información en una pantalla de 7 segmentos.

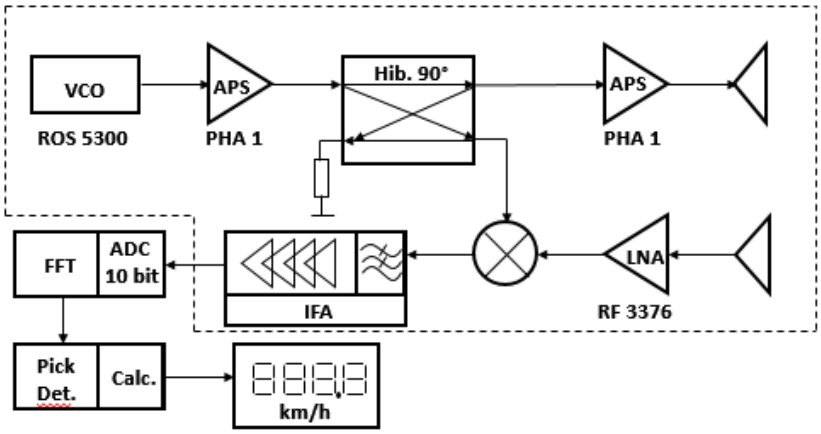



Figura 3. Esquema funcional del radar Doppler para el control de velocidad.

Para realizar físicamente esta SNR, conocida la potencia mínima a la entrada del dispositivo receptor ($\Pr[dBm]$) y la potencia mínima procesable a la entrada del sistema de procesamiento ($Pminp = -10\,dBm$), así como la pérdida de conversión del mezclador seleccionado ($Lcmix = -7\,dB$) y la ganancia de la etapa LNA ($GpLNA = 12\,dB$), la ganancia de potencia de la etapa de AFI se determina como:

$$GpAFI \geq Pminp[dBm] - \Pr[dBm] - GpLNA[dB] - Lcmix[dB] = 81.7\,dB \qquad (6)$$

## 4. DISEÑO DE LAS ANTENAS TRANSMISORA Y RECEPTORA.

Para el diseño del dispositivo antena, se seleccionó como radiador base el parche cuadrado suspendido en dieléctrico aire fabricado en aluminio con espesor 1.5 mm, debido a su simplicidad constructiva y alta ganancia por unidad de radiador. Dado al estrecho ancho de banda de la señal de sondeo empleada en esta aplicación, se desarrolló un sistema discreto lineal con alimentación serie, lo cual minimiza los costos y complejidades tecnológicas de las redes de alimentación en sistemas discretos de antenas y adiciona un mejoramiento del nivel de lóbulos laterales (NLL) respecto a la distribución de amplitud uniforme, causada por la disminución de la corriente de excitación hacia los extremos del conjunto. Tomando como base la distribución de amplitud y fase uniforme y suponiendo una ganancia típica del parche cuadrado de $Grad = 10\,dB$ y un espaciamiento uniforme entre radiadores de $d\lambda = 0.5$, se puede determinar de manera aproximada la cantidad de radiadores requeridos para una ganancia de potencia de $Ga = 17\,dB$ como:

$$N = 10^{\frac{(Ga[dB] - Grad[dB])}{10}} = 5.011 \qquad (7)$$

En aras de obtener una distribución de corriente simétrica desde el centro del conjunto se seleccionó una cantidad par de radiadores de $N = 6$. Empleado la aproximación de la distribución de amplitud uniforme y considerando que el reflector sobrepasa los parches de los extremos del sistema en una dimensión igual al espaciamiento $d\lambda$, la dimensión eléctrica del sistema es $Les = 13 \cdot 0.5 = 6.5$ y el ángulo de radiación a media potencia se determinada como [10]:

$$\theta_{0.5p} = \frac{51}{Les} = 7.8^{\circ} \qquad (8)$$

De igual forma y estimando una eficiencia ideal, la ganancia máxima del sistema se puede determinar como resultado de la multiplicación de la característica direccional del radiador por la del conjunto:

$$Ga[dB] = Grad[dB] + 10 \cdot log(2 \cdot N \cdot d\lambda) = 17.78 \qquad (9)$$

Posteriormente se procedió a la modelación del sistema en la herramienta computacional CST Microwave

Studio, parametrizando las dimensiones físicas para obtener un arreglo unidimensional con polarización horizontal, tal como se muestra en la figura 4, donde A: ancho de la cara horizontal de parche, B0: ancho de la cara vertical del parche de orden cero y los sucesivos B1 y B2 respectivamente, WL: ancho de la línea de alimentación, S: espaciamiento entre parches consecutivos, Wr: ancho del reflector en la cara vertical y Lr: ancho del reflector en la cara horizontal.

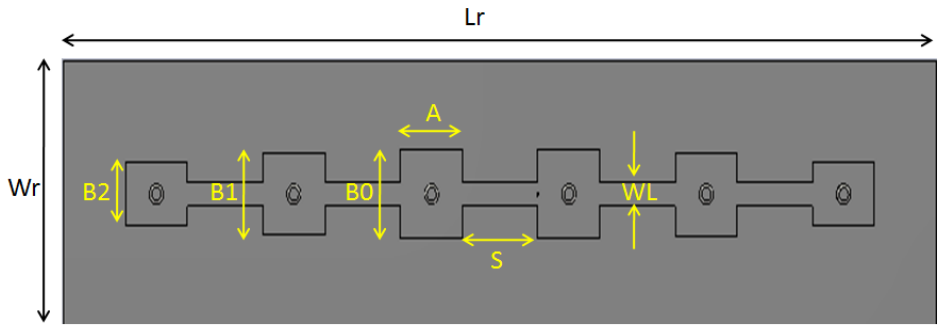



Figura 4. Variables geométricas del arreglo simple.

Luego de varias iteraciones orientadas a minimizar las pérdidas por retorno ($|S_{11}|$), el nivel de lóbulos laterales (NLL) y maximizando la ganancia de potencia, se obtuvo pérdidas por retorno satisfactorias inferiores a -20 dB en un ancho de banda superior a los 50 MHz (figura 5).

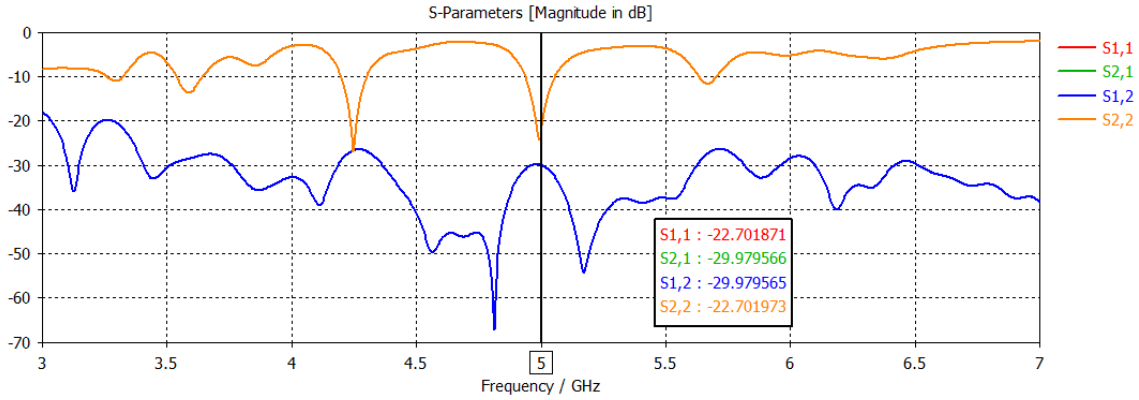



Figura 5. Pérdidas por retorno y aislamiento entre antenas de la antena doble (transmisión y recepción).

Adicionalmente se insertó, con iguales dimensiones del reflector, el segundo sistema sobre el eje vertical, obteniendo un aislamiento entre antenas de 29.9 dB y cumpliendo con la exigencia deducida de la aplicación de radar Doppler. Los diagramas direccionales en los planos horizontal y vertical se muestran en la figura 6, donde se aprecia la reducción del NLL en -3.6 dB respecto al modelo de distribución de amplitud uniforme y la expansión poco significativa del lóbulo principal en $0.5^{\circ}$. De igual forma se comporta la ganancia máxima de potencia, obteniendo un resultado satisfactorio de 17.57 dB. En ambos planos la dirección de máxima radiación coincide con la perpendicular al sistema a pesar del acoplamiento electromagnético entre antenas transmisora y receptora. Finalmente, en la figura 7 se muestra el diagrama direccional en tres dimensiones sobre la estructura de las antenas transmisora y receptora. Nótese que al igual que los resultados anteriores, el efecto de la alimentación serie sobre la eficiencia de radiación es prácticamente despreciable para la cantidad de radiadores seleccionado.

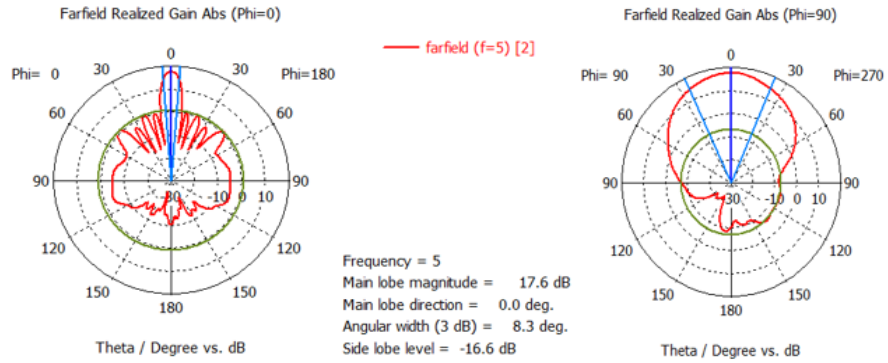



Figura 6. Diagramas direccionales de una antena, a la izquierda el plano horizontal y a la derecha el plano vertical.

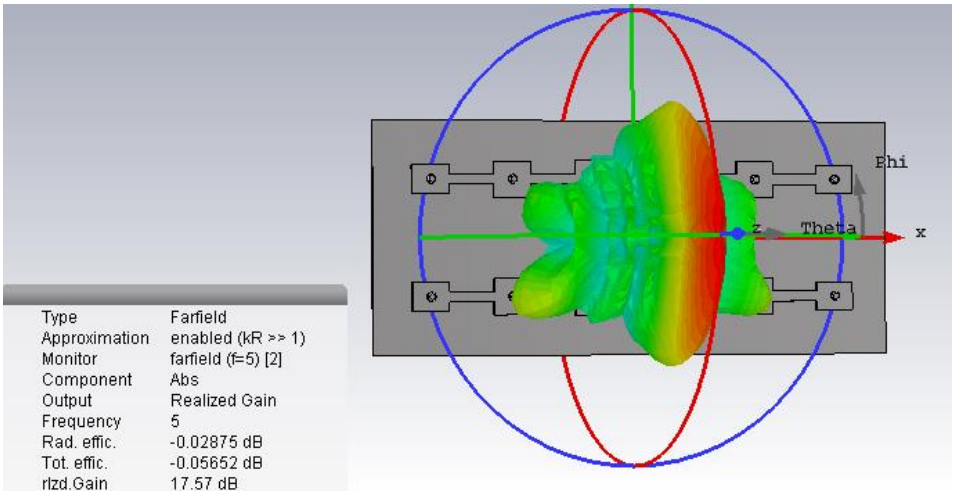



Figura 7. Diagrama direccional en 3 dimensiones sobre la estructura de ambas antenas.

## 5. DISEÑO DEL AMPLIFICADOR DE FRECUENCIA INTERMEDIA (AFI).

Dado el rango de frecuencias Doppler esperado, se seleccionó como elemento activo para la amplificación en frecuencias intermedias el transistor BC 548 [11] operando en una clase lineal de amplificación y en configuración emisor común, con corriente de colector de $Ic = 20$ mA, la cual representa una quinta parte de la corriente máxima de trabajo. Para una tensión de alimentación de 5 V y voltaje colector emisor de saturación de 0.3 V, la resistencia de colector resultante es de 240 Ω. De acuerdo a los datos del fabricante, la ganancia de corriente media ($hfe$) es de aproximadamente 280 veces, por lo cual, la resistencia de base, para la condición lineal de operación se determina como:

$$Rb[\Omega] = \frac{(5V - Ube)\cdot hfe}{Ic} = 62\ k \qquad (10)$$

donde:
$Ube = 0.6\ V$ en el voltaje base-emisor para transistores bipolares de silicio.

Por otra parte, para igual impedancia de entrada y salida, la ganancia de potencia en baja frecuencia por unidad de etapa se puede determinar como:

$$Gp[dB] = 10 \cdot \log(hfe) = 24.47 \qquad (11)$$

Por lo cual, para una exigencia de ganancia de AFI de 81.7 dB, deben ser empleadas 4 etapas amplificadoras conectadas en cascada. Para garantizar la función de preselección por frecuencias exigida a estas etapas, se disponen de redes capacitivas intercaladas entre etapas, cumpliendo además con la función de desacoplar la componente de corriente directa de polarización y en realimentación negativa entre base y colector.

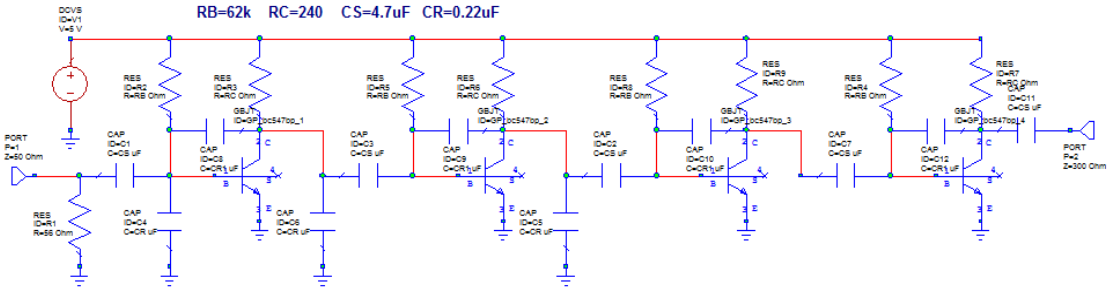



Figura 8. Esquema eléctrico del AFI.

Estos son los casos específicos de Cs y Cr (figura 8) respectivamente, cuyos valores se han sintonizado con el empleo de la herramienta computacional AWR Microwave Office para obtener la respuesta de frecuencia deseada. En la figura 8 se muestra el esquema eléctrico resultante del AFI y en la figura 9 su respuesta de frecuencia ($|S_{21}|$) y pérdidas por retorno a la entrada ($|S_{11}|$) y a la salida ($|S_{22}|$).

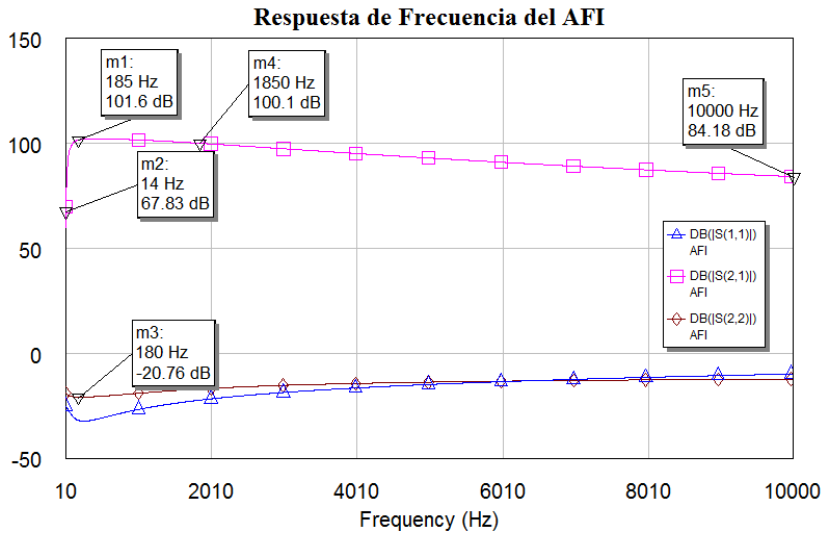



Figura 9. Respuesta de frecuencia ($|S_{21}|$) y pérdidas por retorno a la entrada ($|S_{11}|$) y salida ($|S_{22}|$).

Nótese en la figura 9 que, en el rango de frecuencias de interés, el comportamiento del coeficiente de transmisión disminuye hacia las altas frecuencias hasta un valor de rizado de aproximadamente 1 dB. En el resto de la banda de frecuencias mostrada, la ganancia disminuye con una pendiente poco significativa aportando baja selectividad por frecuencias. Por otra parte, las pérdidas por retorno obtenidas se encuentran por debajo de los -20 dB, representando un resultado satisfactorio en términos de transferencia de energía entre etapas del sistema. Para frecuencias inferiores a 185 Hz, la atenuación se incrementa de manera abrupta, con lo cual se garantiza el rechazo a los ruidos de baja frecuencia aportados por el VCO

y el mezclador.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con el empleo de la herramienta computacional AWR Microwave Office fue diseñada la placa de circuito impreso, distribuyendo en la menor área posible las tres secciones mostradas en la figura 10, que contienen el dispositivo receptor en la sección Rx (LNA, mezclador de frecuencias y AFI), el dispositivo transmisor Tx (VCO, divisor de potencia y etapas amplificadas) y una sección dedicada a reguladores de voltaje, filtrado de baja frecuencia y la regulación del voltaje de control de la frecuencia sobre el VCO.

Una vez construido el transceptor, se procedió a la sintonización de la frecuencia de 5 GHz, la medición de los principales parámetros del transmisor empleando el analizador de espectro Agilent E4408B: potencia de salida y relación de armónicas. Adicionalmente se realizó la medición de la sensibilidad real del receptor, aplicando una señal portadora desde el generador de RF Agilent E8257D, desplazada a 185 Hz de la frecuencia sintonizada en el VCO hasta obtener una SNR a la salida del AFI de 10 dB. Los resultados de estas mediciones se muestran en la tabla 1.

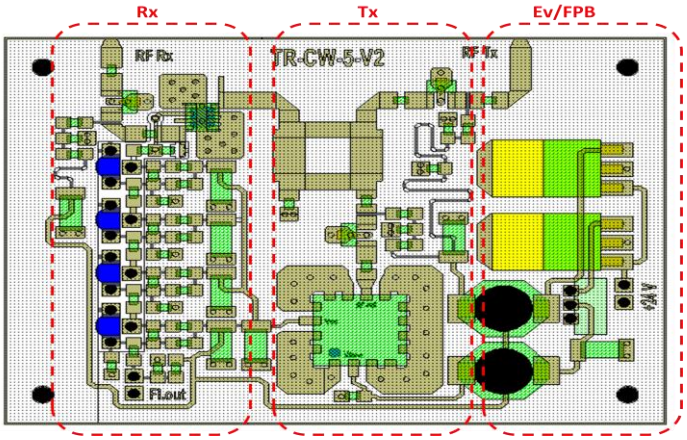



Figura 10. Placa de circuito impreso con las secciones: receptor, transmisor, reguladores de voltaje y filtrado de baja frecuencia.

Aunque no constituye objetivo en presente trabajo, se realizaron comprobaciones en laboratorio para la evaluación de los errores de medición de velocidad a partir de las señales aplicadas a la entrada del receptor desde el generador de RF Agilent E8257D, constatándose que el error de medición para SNR $\geq$ 10 dB es menor a 0.5 km/h, lo cual constituye un resultado satisfactorio en términos de exigencias estándares a este tipo de aseguramiento metrológico para el control de la velocidad vial.

Tabla 1. Resultados de las mediciones a los principales parámetros del transceptor.

| No. | Parámetro del transceptor: | Valor medio | Dispersión en 10 mediciones. |
|---|---|---|---|
| 1 | Sensibilidad real @ 185 Hz para SNR = 10dB | -97.5 dBm | +/- 0.7 dB |
| 2 | Potencia de salida del transmisor | 16.95 dBm | +/- 0.2 dB |
| 3 | Relación de harmónicas | -45.3 dB | +/- 0.2 dB |
| 4 | Error de medición de velocidad para SNR = 10dB | $<$ 0.5 km/h | +/- 0.23 km/h |

Las piezas que conforman el sistema de antena se exportaron desde el software CST Microwave Studio en formato dxf para su corte por fresado en una fresadora CNC. El error estándar de maquinado de dicha herramienta es de alrededor de 0.1 mm, siendo despreciable a los efectos de errores constructivos

esperados sobre la dimensión física más sensible del diseño, que en este caso es el ancho de la línea de alimentación de los parches ($WL$). Construida la antena, se midieron las pérdidas por retorno en ambos accesos (transmisor y receptor), así como el acoplamiento entre accesos con el empleo de un analizador de redes vectorial del tipo N9917A**,** obteniendo alta correspondencia en relación a los resultados teóricos de la simulación. Como se observa en la figura 11A, las pérdidas por retorno obtenidas son inferiores a -20 dB y el acoplamiento (figura 11B) resultó inferior en -5 dB al valor obtenido en simulación.

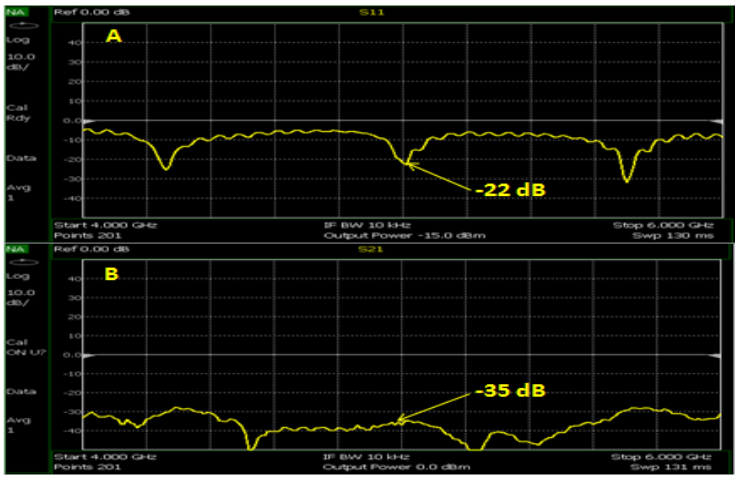



Figura 11. Medición de los parámetros de la antena. A: pérdidas por retorno ($|S_{11}|$) y B: acoplamiento entre antenas ($|S_{12}|$).

Finalizadas las mediciones de laboratorio fue ensamblado el radar, tomando como base mecánica de sujeción del subsistema transceptor y el procesador de señales, el propio reflector de la antena. En la figura 12 se muestra una vista constructiva (12 A: frontal y 12 B: trasera) del sistema montado en un trípode de 1.2 m de altura.




Figura 12. Vista constructiva del radar. A: Vista frontal, B: Vista trasera.

Para la validación del radar se empleó el vehículo automotor marca Geely, modelo CK, en un segmento

de calle interior con 250 m disponibles de recorrido recto. El experimento se planificó en tres episodios en los que el vehículo recorrió la distancia prevista a velocidades constantes de 20, 40 y 60 km/h. Como se observa en la figura 13C, para el episodio de 60 km/h, el error registrado es de 2 km/h, sin embargo, no se tiene certeza de su origen, ya que no se contó con un dispositivo profesional para realizar las comparaciones adecuadas.

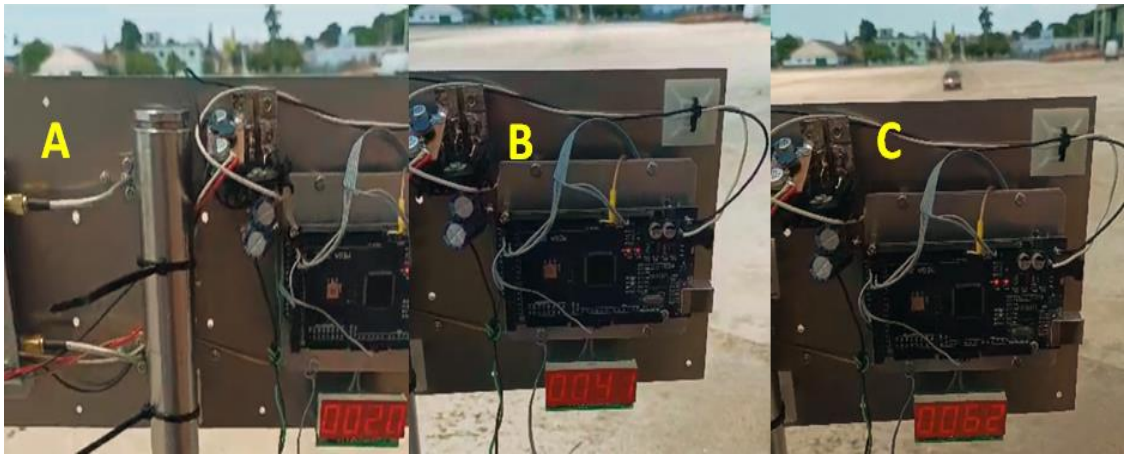



Figura 13. Experimento en escenario real. A: Vehículo desplazándose a 20 km/h, B: A: Vehículo desplazándose a 40 km/h y C: Vehículo desplazándose a 60 km/h.

## 7. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados fueron cumplidos. Se obtuvo los criterios prácticos de diseño que permitieron, dadas las exigencias de la aplicación y las conocidas fuentes de limitación de alcance de los radares Doppler, en particular, los ruidos de fase de los dispositivos VCO, alcanzar un desarrollo nacional, escalable y de alto valor agregado, que en la actualidad es patrimonio de un reducido grupo de empresas extranjeras. Se diseñó, fabricó y validó, acorde a la tecnología disponible en el país, un sistema transceptor y antena para radar Doppler que además de resultar técnicamente factible, constituye una fuente de sustitución de importaciones de cara a su generalización y los servicios postventa vinculados al mantenimiento y reparación, una vez aplicado en la práctica social.

## REFERENCIAS

1. NAVARRO GONZÁLEZ, Mirta Juana "Aseguramiento metrológico a los instrumentos destinados a medir velocidad de circulación de los vehículos automotores". Director: Rosa Mayelin Guerra Bretaña. Tesis de maestría, Universidad de la Habana, Ciudad de La Habana, 2018.
2. JIMÉNEZ MARTÍN, José Luis "Nuevas técnicas de generación de señal para sistemas de radar de alta resolución y baja probabilidad de interceptación". Director: Javier Gismero Menoyo. Tesis doctoral, Universidad politécnica de Madrid, Madrid, 2005.
3. RESOLUCIÓN 52: Reglamento para la fabricación de equipamiento de telecomunicaciones, dispositivos o partes asociadas. Ministerio de Comunicaciones. Habana. 2022.
4. SCHIPER Tom; FORTUNY-GUASCH Joaquim; TARCHI Dario; REICHARDT Lars; ZWICK Thomas. "RCS Measurenment results for automotive realted objets at 23-27 GHz". En actas de 5th European Conference on Antennas and propagation (EUCAP), 2022.
5. Minicircuits: *Hoja de datos ROS 5400* [en línea]. Disponible en Web: http://www. Minicircuits.com
6. Merrill Sckolnik, Introduction to Radar System. McGraw-Hill International Editions. 2001.
7. RFMD: *Hoja de datos* RF 3376 [en línea]. Disponible en Web: http://www. RFMD.com
8. Minicircuits: *Hoja de datos SIM 153*[en línea]. Disponible en Web: http://www. Minicircuits.com
9. Minicircuits: *Hoja de datos PHA-1*[en línea]. Disponible en Web: http://www. Minicircuits.com
10. Stincer, Teoría de Antenas. ITM. 2001

11. National Semiconductor: *Hoja de datos* BC 547 [en línea]. Disponible en Web: http://www. National Semiconductor.com

**Sobre los autores**

Juan Carlos Lazo Lezcano es Ingeniero radioelectrónico en Tropas Radiotécnicas y Electrónica graduado en el ITM José Martí en el año 2006, Máster en Radioelectrónica desde el año 2011. Posee la categoría Científica de Investigador Auxiliar desde el 2009. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS".

Orlando R. Ramos Morales es Ingeniero radioelectrónico en Tropas Radiotécnicas y Electrónica graduado en el ITM José Martí en el año 2008, Máster en Radioelectrónica desde el año 2020. Posee la categoría Científica de Investigador Auxiliar. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS ".

Ricardo J. Castillo Blanco es Ingeniero radioelectrónico en Telecomunicaciones, graduado en el ITM José Martí en el año 2015, Máster en Radioelectrónica desde el año 2022. Posee la categoría Científica de aspirante a investigador. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS ".

Noslen Rojas Ramírez es Ingeniero Radiotécnico graduado en el ITM "José Martí" en el año 1994. Máster en Radioelectrónica desde el año 1997. Doctor en Ciencias Técnicas desde el año 2008. Posee la categoría Científica de Investigador Titular. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS ".

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA DE ANTENAS OMNIDIRECCIONAL CON POLARIZACIÓN CIRCULAR EN BANDA L.

**Noslen Rojas Ramírez[1], Pilar Prado Guillot[1], Alejandro Guzmán Portelles [1]**

[1] Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS"
[1]dir: Calle 15 y 86A, Playa, La Habana, Cuba
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

**RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivos el diseño y fabricación de un sistema de antenas con característica omnidireccional, ganancia igual o superior a 5 dB, polarización circular derecha y que trabaje en la banda de frecuencias de 1 a 2 GHz. Para ello se realizó un sistema discreto tridimensional de 16 elementos. Como radiadores se emplearon dipolos cruzados para garantizar la polarización circular derecha en la banda de frecuencias deseada, cuyo ancho de banda es superior a un 60%. Para obtener la característica omnidireccional se emplearon ocho radiadores separados a 45 grados en el plano horizontal y para obtener la ganancia exigida dos radiadores en el plano vertical, formando un sistema tridimensional de 16 radiadores. Como sistema de alimentación se diseñó un distribuidor de potencias de 1 entrada y 16 salidas con amplitud y fase uniforme, empleando como línea de transmisión una microcinta con dieléctrico FR-4 de 1.5 mm de espesor y conductor cobre de 0.035 mm de espesor. Finalmente se fabricó el sistema diseñado obteniéndose una buena correspondencia entre las características eléctricas simuladas y medidas. El sistema fue comprobado y los resultados demostraron el cumplimiento satisfactorio de las exigencias demandadas. El principal impacto de desde el punto de vista científico-tecnológico es la obtención de sistemas de antenas omnidireccionales con polarización circular derecha en un ancho de banda superior a un 60% y ganancia superior a los 5 dB.

**PALABRAS CLAVES:** Polarización circular derecha, característica omnidireccional, dipolos cruzados.

# OMNIDIRECTIONAL ANTENNA SYSTEM WITH CIRCULAR POLARIZATION IN L-BAND.

**ABSTRACT**

The objectives of this work are the design and manufacture of an antenna system with omnidirectional characteristic, gain equal to or greater than 5 dB, right circular polarization and working in the frequency band from 1 to 2. To this end, a three-dimensional discrete system of 16 elements was made. Cross-dipoles were used as radiators to ensure right circular polarization in the desired frequency band, the bandwidth of which is greater than 60%. To obtain the omnidirectional characteristic, eight radiators were used separated at 45 degrees in the horizontal plane and to obtain the required gain two radiators in the vertical plane, forming a three-dimensional system of 16 radiators. As a power supply system, a power distributor of 1 input and 16 outputs with uniform amplitude and phase was designed, using as a transmission line a microstrip with FR-4 dielectric of 1.5 mm thickness and copper conductor of 0.035 mm thickness. Finally, the designed system was manufactured, obtaining a good correspondence between the simulated and measured electrical characteristics. The system was tested and the obtained results show the successful fulfillment of the demanded requirements. The main impact from the scientific-technological point of view is the obtainment of omnidirectional antenna systems with right circular polarization in a bandwidth of more than 60% and gain of more than 5 dB.

KEY WORDS: Right circular polarization, omnidirectional characteristic, crossed dipoles.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivos el diseño y fabricación de un sistema de antenas con característica omnidireccional, ganancia igual o superior a 5 dB, polarización circular derecha y que trabaje en la banda de frecuencias de 1 a 2 GHz.

Antenas con cada una de las características anteriores por independiente es algo común, pero si las exigencias del diseño implican la obtención de un sistema con todas estas características entonces resulta una tarea compleja.

## 2. DESARROLLO

El diseño desarrollado en esta investigación está dado por un sistema discreto de antenas compuesto por un sistema de radiación y un sistema de alimentación.

**Diseño del sistema de radiación.**

Para seleccionar correctamente el radiador que forma parte del sistema discreto de antenas es necesario tener en cuenta una serie de factores, que parten de la aplicación en la que se implementa dicha antena. Estas consideraciones surgen del conocimiento del funcionamiento de la antena y sus requerimientos de ensamble; todo esto con el menor costo posible. Dentro de los parámetros más importantes a evaluar se encuentran:

- ✓ Ancho de banda.
- ✓ Polarización.
- ✓ Directividad o ganancia.
- ✓ Característica direccional.
- ✓ Impedancia de entrada.
- ✓ Eficiencia de radiación.
- ✓ Acoplamiento electromagnético.
- ✓ Costo, viabilidad y producibilidad.

Si se analiza el ancho de banda que requiere la antena, se pueden descartar una serie de radiadores que no pueden garantizar el ancho de banda relativo de un 66%. Otro parámetro clave que determina la selección es la polarización que debe presentar la antena, que en este caso es circular derecha. Teniendo en cuenta los elementos anteriores los mejores candidatos resultan las antenas espirales, las helicoidales y los dipolos.

Eléctricamente los tres radiadores anteriores se pueden emplear para formar parte del sistema discreto a diseñar. Para determinar cuál de ellos es más recomendable, se analiza la tecnología necesaria para garantizar la correcta fabricación de cada uno. En este aspecto los dipolos resultan más convenientes debido a la complejidad que presenta la fabricación de las espirales y helicoidales. Además, en el caso de estas últimas, presentan mayor volumen. Finalmente se escogió el dipolo, que fabricándose sobre bronce garantiza una mayor facilidad en la elaboración, así como una mayor producibilidad.

La mayor complejidad que presenta el diseño del dipolo es garantizar la polarización circular derecha. Existen diversas maneras de obtener esto (donde se necesitan dos dipolos cruzados), dentro de las que se encuentran:

- ✓ Dos dipolos en fase con diferentes longitudes.
- ✓ Dos dipolos alimentados ortogonalmente (empleando un puente cuadrado o un distribuidor de potencias con dos salidas desbalanceadas 90 grados.).

Con el fin de alimentar directamente con cable coaxial ambos dipolos, facilitar el proceso constructivo y evitar el uso de acopladores o distribuidores, se empleó una solución híbrida de las anteriores. Esta consiste en

alimentar un dipolo directamente y el otro a través de una línea de aproximadamente λ/4 que une ambos dipolos, garantizando así la ortogonalidad entre ellos.

En la figura 1 se muestra la variante escogida, donde se puede apreciar gráficamente la alimentación directamente con cable coaxial y como se unen los dipolos perpendiculares a través del arco de radio R1 y ancho Wdef para garantizar la diferencia de fase que permite la rotación del campo electromagnético y con ello la polarización circular, en este caso derecha.

Para garantizar la separación entre cada par de dipolos y aumentar la rigidez de la estructura se incorporaron piezas de FR-4 (figura 1), y para la separación de estos elementos anteriores con el reflector se emplearon separadores de aluminio, los cuales al incluirse en el análisis se determinó que no afectaban los resultados.

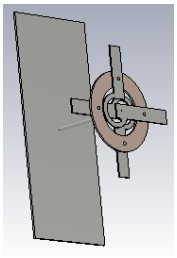


Figura 1: Dipolo con polarización circular derecha.

Después del diseño y optimización de las variables anteriores en el programa profesional de análisis de estructuras electromagnéticas CST Microwave Studio, se obtuvieron la Razón de Onda Estacionaria (ROE) en la banda de frecuencias de trabajo (figura 2) y los diagramas direccionales en 3D y en coordenadas polares en las frecuencias 1 GHz, 1.5 GHz y 2 GHz (figuras 3, 4 y 5 respectivamente). En la figura 2 se observa que la curva de ROE se encuentra por debajo de 1.8 en toda la banda de frecuencias y en los diagramas direccionales se obtienen para las tres frecuencias ganancias realizadas entre 5 y 6 dB y ángulos de radiación entre 71 y 89 grados en el plano horizontal.

Además, en los diagramas direccionales en 3D se puede apreciar la ganancia realizable absoluta y la ganancia realizable con polarización circular derecha, cuya diferencia resulta la relación axial que presenta el radiador, obteniéndose valores entre 0.26 y 2.37 dB. Para las antenas con polarización circular valores de relación axial por debajo de tres se consideran buenos, por lo que se considera obtenida la polarización circular derecha.

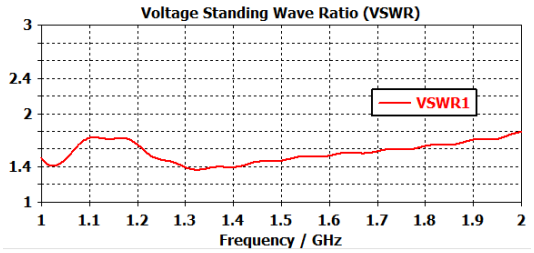



Figura 2: ROE calculado del radiador.

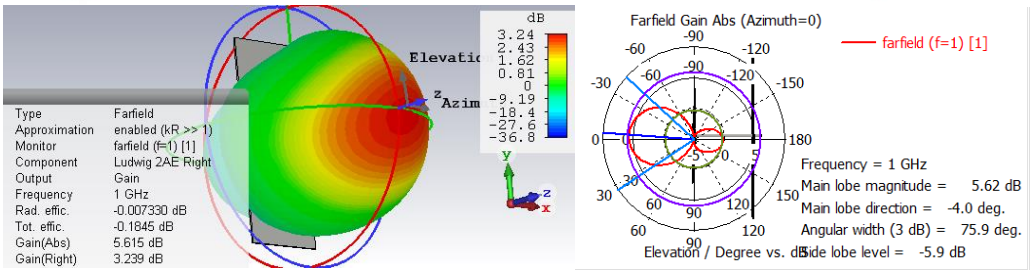



Figura 3: Diagrama direccional de ganancia del dipolo en 3D y en coordenadas polares en el plano horizontal en 1 GHz.

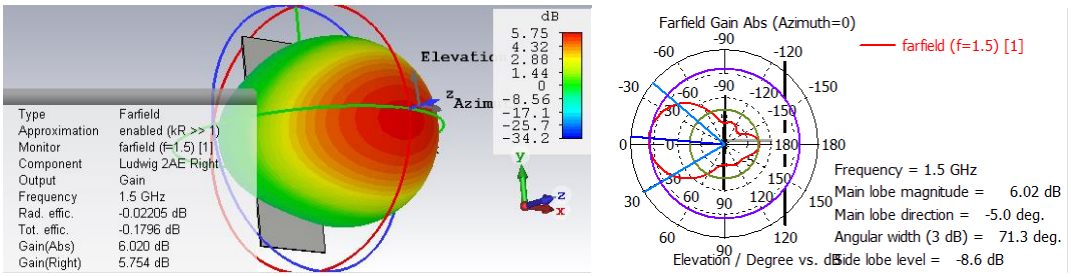



Figura 4: Diagrama direccional de ganancia del dipolo en 3D y en coordenadas polares en el plano horizontal en 1.5 GHz.

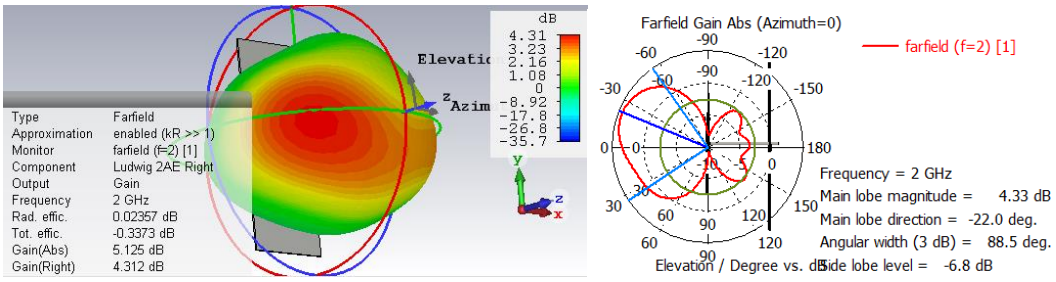



Figura 5: Diagrama direccional de ganancia del dipolo en 3D y en coordenadas polares en el plano horizontal en 2 GHz.

**Diseño del Dipolo con polarización circular.**

En el diseño del radiador se obtuvieron los parámetros de ROE y polarización exigidos. El resto de los parámetros se deben garantizar en el diseño de la geometría del sistema.

La característica omnidireccional deseada se obtiene a partir de la correcta cantidad y disposición de cada radiador, teniendo en cuenta el ángulo de radiación obtenido para cada frecuencia analizada. Tras el análisis de lo anterior se determina que con ocho radiadores separados a 45 grados se garantiza el diagrama omnidireccional en toda la banda de frecuencias, la diferencia entre ellos está dado por la ganancia que se obtiene tras el solapamiento de los diagramas direccionales de cada radiador. Los ocho radiadores estarán dispuestos en una circunferencia cuyo diámetro en un inicio puede ser cualquiera, debido a que la separación angular sigue siendo la misma. El objetivo es escoger el menor diámetro posible para reducir las dimensiones del sistema, por lo que estará limitado por las dimensiones del reflector del radiador previamente diseñado. A partir de la formación de los ocho radiadores y el ancho de su reflector de 80 mm se obtiene un diámetro del sistema de 200 mm.

Aunque la ganancia de cada radiador cumple con las exigencias iniciales, la formación del diagrama direccional implica una caída de la ganancia de solapamiento del sistema, por lo que es necesario aumentarla. La solución seleccionada es el aumento de los radiadores en el plano vertical y así no afecte la característica omnidireccional del plano horizontal, en este caso es suficiente con dos radiadores.

Finalmente, el sistema va a estar compuesto por 16 radiadores dispuestos en dos pisos, cada uno con ocho radiadores separados a 45 grados.

**Diseño del sistema de alimentación.**

Teniendo en cuenta los resultados de los dos acápites anteriores, se pasa al diseño del sistema de alimentación, donde es necesaria la obtención de un distribuidor de potencias de una entrada y 16 salidas para alimentar a los 16 radiadores. Como todos los radiadores deben tener la misma excitación el distribuidor de potencias debe presentar una amplitud y fase uniforme.

Para el diseño del distribuidor de potencias se empleó: como línea de transmisión una microcinta con sustrato FR-4 de 1.5 mm de altura, espesor del cobre de 0.035 mm y permitividad dieléctrica relativa de 4.6 y como eslabón base uniones T.

El diseño esquemático y el *layout* final del distribuidor de potencias de una entrada y 16 salidas se muestra en la figura 6, para ello se empleó la herramienta computacional AWR Microwave Office.

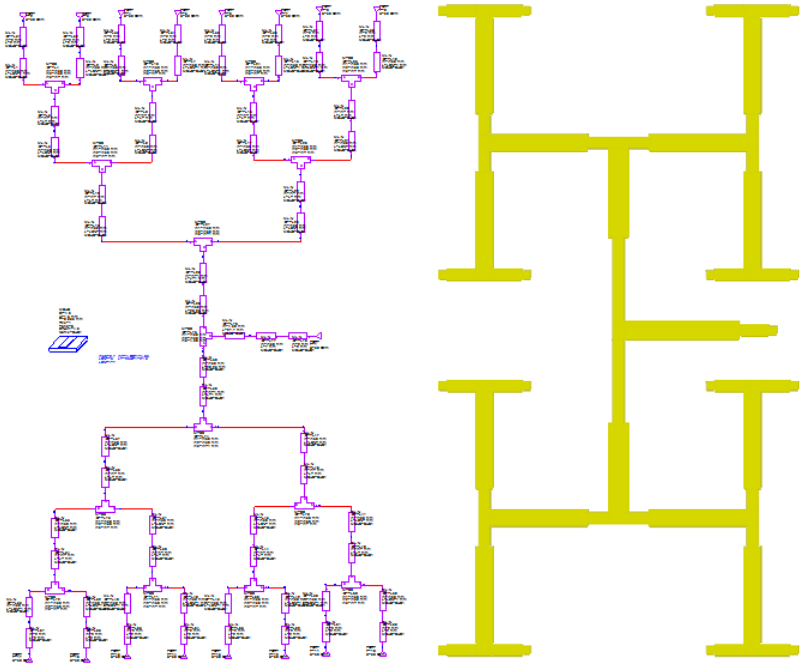


Figura 6: Diseño esquemático (izquierda) y layout (derecha) del distribuidor de potencias de una entrada y 16 salidas.

Los parámetros más importantes en el diseño del distribuidor son: la ROE, la distribución de amplitud y fase y las pérdidas de inserción, los cuales se muestran en la figura 7 y en las tablas 1 y 2 respectivamente para la

banda de frecuencias de interés. La ROE se encuentra por debajo de 1.35 en toda la banda de frecuencias, que corresponde a un 2.2% de la onda reflejada. Para el caso de las distribuciones de amplitud y fase se muestran 8 de las 16 salidas en las cuales los valores coinciden totalmente, pudiendo afirmarse que el distribuidor de potencias presenta una distribución de amplitud y fase uniforme. En este caso el distribuidor de potencias presenta pérdidas de inserción máximas de 0.08 dB que equivalen a un 2% de la potencia total que no es distribuida hacia los puertos de salida.

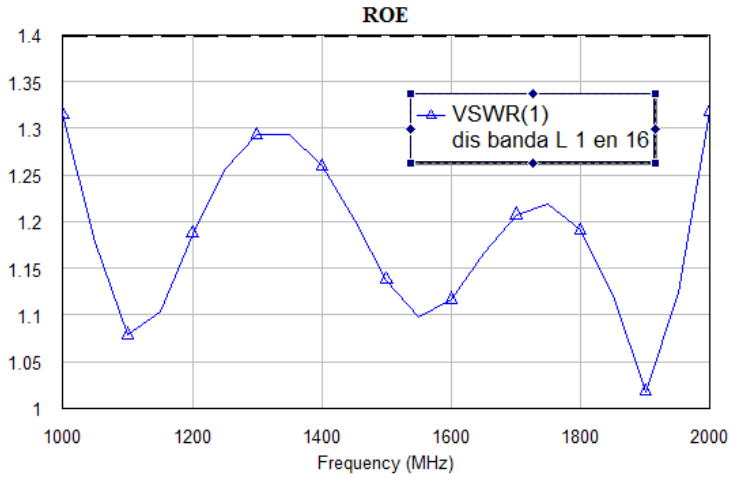



Figura 7: ROE simulado del distribuidor de potencias de una entrada y 16 salidas.

Tabla 1: Amplitud (izquierda) y Fase (derecha) de las salidas del distribuidor de potencias.

AMPLITUD

| Freque... (MHz) | DB(\|S(1,9)\|) dis banda ... | DB(\|S(1,8)\|) dis banda ... | DB(\|S(1,7)\|) dis banda L... | DB(\|S(1,... dis banda... | DB(\|S(1,5)\|) dis banda... | DB(\|S(1,4)\|) dis banda... | DB(\|S(1,... dis banda... | DB(\|S(1,2)\|) dis banda ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | -12.179 | -12.179 | -12.179 | -12.179 | -12.179 | -12.179 | -12.179 | -12.179 |
| 1050 | -12.127 | -12.127 | -12.127 | -12.127 | -12.127 | -12.127 | -12.127 | -12.127 |
| 1100 | -12.105 | -12.105 | -12.105 | -12.105 | -12.105 | -12.105 | -12.105 | -12.105 |
| 1150 | -12.11 | -12.11 | -12.11 | -12.11 | -12.11 | -12.11 | -12.11 | -12.11 |
| 1200 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 |
| 1250 | -12.158 | -12.158 | -12.158 | -12.158 | -12.158 | -12.158 | -12.158 | -12.158 |
| 1300 | -12.175 | -12.175 | -12.175 | -12.175 | -12.175 | -12.175 | -12.175 | -12.175 |
| 1350 | -12.176 | -12.176 | -12.176 | -12.176 | -12.176 | -12.176 | -12.176 | -12.176 |
| 1400 | -12.163 | -12.163 | -12.163 | -12.163 | -12.163 | -12.163 | -12.163 | -12.163 |
| 1450 | -12.143 | -12.143 | -12.143 | -12.143 | -12.143 | -12.143 | -12.143 | -12.143 |
| 1500 | -12.125 | -12.125 | -12.125 | -12.125 | -12.125 | -12.125 | -12.125 | -12.125 |
| 1550 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 |
| 1600 | -12.122 | -12.122 | -12.122 | -12.122 | -12.122 | -12.122 | -12.122 | -12.122 |
| 1650 | -12.136 | -12.136 | -12.136 | -12.136 | -12.136 | -12.136 | -12.136 | -12.136 |
| 1700 | -12.15 | -12.15 | -12.15 | -12.15 | -12.15 | -12.15 | -12.15 | -12.15 |
| 1750 | -12.155 | -12.155 | -12.155 | -12.155 | -12.155 | -12.155 | -12.155 | -12.155 |
| 1800 | -12.147 | -12.147 | -12.147 | -12.147 | -12.147 | -12.147 | -12.147 | -12.147 |
| 1850 | -12.129 | -12.129 | -12.129 | -12.129 | -12.129 | -12.129 | -12.129 | -12.129 |
| 1900 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 | -12.117 |
| 1950 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 | -12.133 |
| 2000 | -12.203 | -12.203 | -12.203 | -12.203 | -12.203 | -12.203 | -12.203 | -12.203 |

FASE

| Frequency (MHz) | Ang(S(1,2... dis banda... | Ang(S(1,3... dis banda... | Ang(S(1,4... dis banda ... | Ang(S(1,5... dis banda... | Ang(S(1,6... dis banda... | Ang(S(1,7)... dis banda ... | Ang(S(1,... dis banda... | Ang(S(1,9... dis banda... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 35.453 | 35.453 | 35.453 | 35.453 | 35.453 | 35.453 | 35.453 | 35.453 |
| 1050 | 17.832 | 17.832 | 17.832 | 17.832 | 17.832 | 17.832 | 17.832 | 17.832 |
| 1100 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 | 0.16072 |
| 1150 | -17.451 | -17.451 | -17.451 | -17.451 | -17.451 | -17.451 | -17.451 | -17.451 |
| 1200 | -34.929 | -34.929 | -34.929 | -34.929 | -34.929 | -34.929 | -34.929 | -34.929 |
| 1250 | -52.257 | -52.257 | -52.257 | -52.257 | -52.257 | -52.257 | -52.257 | -52.257 |
| 1300 | -69.474 | -69.474 | -69.474 | -69.474 | -69.474 | -69.474 | -69.474 | -69.474 |
| 1350 | -86.651 | -86.651 | -86.651 | -86.651 | -86.651 | -86.651 | -86.651 | -86.651 |
| 1400 | -103.86 | -103.86 | -103.86 | -103.86 | -103.86 | -103.86 | -103.86 | -103.86 |
| 1450 | -121.16 | -121.16 | -121.16 | -121.16 | -121.16 | -121.16 | -121.16 | -121.16 |
| 1500 | -138.56 | -138.56 | -138.56 | -138.56 | -138.56 | -138.56 | -138.56 | -138.56 |
| 1550 | -156.03 | -156.03 | -156.03 | -156.03 | -156.03 | -156.03 | -156.03 | -156.03 |
| 1600 | -173.53 | -173.53 | -173.53 | -173.53 | -173.53 | -173.53 | -173.53 | -173.53 |
| 1650 | 169.01 | 169.01 | 169.01 | 169.01 | 169.01 | 169.01 | 169.01 | 169.01 |
| 1700 | 151.59 | 151.59 | 151.59 | 151.59 | 151.59 | 151.59 | 151.59 | 151.59 |
| 1750 | 134.19 | 134.19 | 134.19 | 134.19 | 134.19 | 134.19 | 134.19 | 134.19 |
| 1800 | 116.71 | 116.71 | 116.71 | 116.71 | 116.71 | 116.71 | 116.71 | 116.71 |
| 1850 | 99.081 | 99.081 | 99.081 | 99.081 | 99.081 | 99.081 | 99.081 | 99.081 |
| 1900 | 81.202 | 81.202 | 81.202 | 81.202 | 81.202 | 81.202 | 81.202 | 81.202 |
| 1950 | 63.061 | 63.061 | 63.061 | 63.061 | 63.061 | 63.061 | 63.061 | 63.061 |
| 2000 | 44.736 | 44.736 | 44.736 | 44.736 | 44.736 | 44.736 | 44.736 | 44.736 |

Tabla 2: Pérdidas de inserción del distribuidor de potencias.

perdidas

| DB(SUM... dis band... Frequency | DB(SUMPW... dis banda L ... |
|---|---|
| 1000 | -0.055232 |
| 1050 | -0.056292 |
| 1100 | -0.057284 |
| 1150 | -0.058221 |
| 1200 | -0.059136 |
| 1250 | -0.060067 |
| 1300 | -0.061046 |
| 1350 | -0.062089 |
| 1400 | -0.063187 |
| 1450 | -0.064314 |
| 1500 | -0.065429 |
| 1550 | -0.066501 |
| 1600 | -0.067522 |
| 1650 | -0.068524 |
| 1700 | -0.069574 |
| 1750 | -0.070751 |
| 1800 | -0.072113 |
| 1850 | -0.073658 |
| 1900 | -0.07529 |
| 1950 | -0.076804 |
| 2000 | -0.077931 |

**Resultados del sistema.**

A partir de los resultados obtenidos en la simulación de los dipolos cruzados y el distribuidor de potencias de una entrada y 64 salidas, se determinan los diagramas direccionales de ambos sistemas conectados (figura 8), para ello se emplearon 16 cables RG-402 de 50 ohm de impedancia y de 30 cm de longitud. Los resultados se muestran en la figura 9, donde se observa el diagrama direccional en coordenadas polares con la traza roja y una circunferencia violeta de ganancia igual a 5 dB en las tres frecuencias fundamentales: las de los extremos de la banda y la central. En las frecuencias de 1 y 1.5 GHz se obtiene un diagrama omnidireccional bien definido con ganancia de 6 y 5 dB respectivamente. En el caso del extremo superior de la banda (2 GHz) existen máximos y mínimos en el diagrama direccional, estando en pequeños sectores la ganancia por debajo de 5 dB, pero de manera general manteniendo una característica omnidireccional.

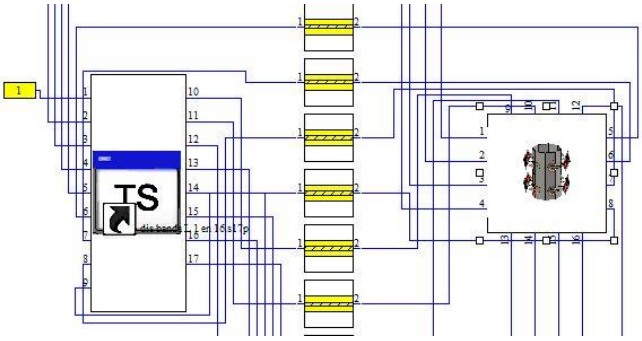



Figura 8: Conexión de los sistemas de radiación y alimentación.

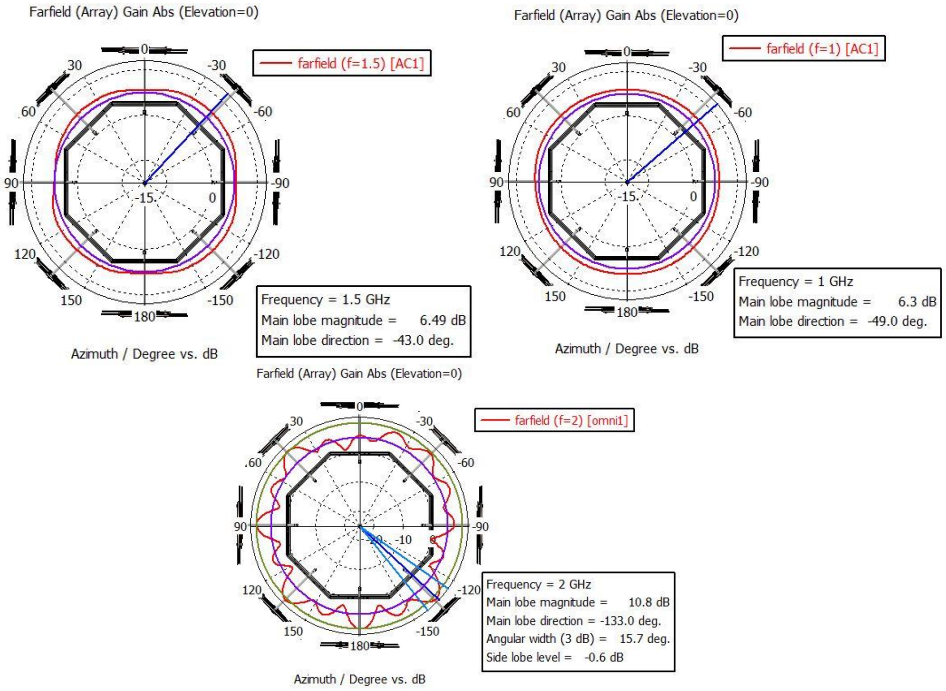



Figura 9: Diagramas direccionales en coordenadas polares para las frecuencias de 1, 1.5 y 2 GHz.

**Mediciones del sistema.**

Concluidos los análisis teóricos del sistema y sus elementos por independiente, se pasa a su construcción para su posterior medición. En la figura 10 se muestra el sistema de antenas construido.

La medición de la ROE del sistema construido se muestra en la figura 11, obteniéndose un valor por debajo de 2 en toda la banda de frecuencias, presentando un ancho de banda superior a un 67%.

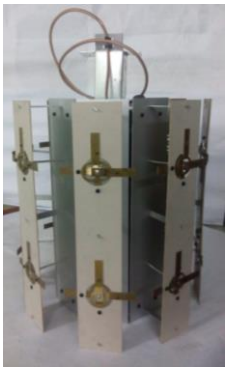


Figura 10: Sistema de antenas construido.

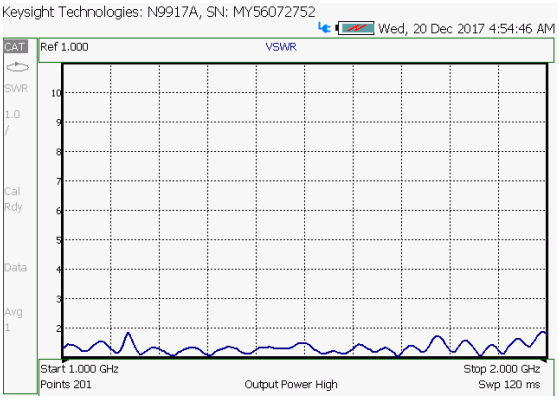



Figura 11: ROE medido del sistema de antenas construido.

A partir de los resultados obtenidos se puede plantear que la comprobación experimental del sistema fabricado presentó una buena correspondencia con los resultados teóricos. Además, el sistema fue comprobado en polígono, comprobándose la característica omnidireccional y ganancia deseadas a partir de la correcta neutralización de los sistemas GPS.

## 3. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño y fabricación de un sistema de antenas con característica omnidireccional, polarización circular derecha que trabaja en la banda de frecuencias de 1 a 2 GHz.

La comprobación experimental del sistema fabricado presentó una buena correspondencia con los resultados teóricos. En las frecuencias de trabajo se logró una razón de onda estacionaria inferior 2 y una ganancia superior a 5 dB en los 360º.

El principal impacto científico-tecnológico del trabajo es la obtención de sistemas de antenas omnidireccionales con polarización circular derecha en un ancho de banda superior a un 60% y ganancia superior a los 5 dB.

## REFERENCIAS

1. Rojas, N., Obtención de las Bases Tecnológicas para el Diseño y Fabricación de Sistemas Discretos con Bajo Nivel de Lóbulos Laterales y Múltiples Haces. 2008, ITM "José Martí".
2. Pozar, D.M., Microwave Engineering. 2nd ed, ed. J.W. Sons. 1998. p. 734.
3.Wadell, B., Transmission Line Design Handbook, ed. A. House. 1991.
4. Balanis, C.A., Antenna Theory, Analysis and Design. 3rd ed, ed. J.W. Sons.2005
5. Balanis, C.A., Modern Antenna Handbook, ed. J.W. Sons. 2008.
6. Dybdal, R., Communication Satellite Antennas: System Architecture, Technology, and Evaluation, ed. M.G. Hill. 2009. 344.
7. Stincer, Teoría de Antenas. ITM. 2001
8. Kraus, J.D., “Antennas”, ed. E. Rev. 1969, La Habana
9. Miguel Ferrando, e.a., Antenas, ed. UPC. 2002. 460.
10. G.T.Markov, a.D.M.S., Antenas, ed. M. Moscú. 1978.

**Sobre los autores**

**Noslen Rojas Ramírez,** es Ingeniero Radioelectrónico, graduado en el ITM "José Martí" en el año 1994. Máster en Radioelectrónica desde el año 1997 y Doctor en Ciencias Técnicas desde el año 2008. Posee la categoría científica de Investigador Titular desde el año 2012 y en 2018 recibió la Orden "Carlos J. Finlay" por los resultados alcanzados en la actividad científica. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

**Pilar Prado Guillot** es Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica graduada en la CUJAE en el año 2010, Máster en Telecomunicaciones y Telemática desde el año 2015. Posee la categoría Científica de Investigador Auxiliar desde el año 2018. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

**Alejandro Guzmán Portelles** es Ingeniero Mecánico graduado en la CUJAE en el año 2014. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DISEÑO DE ANTENA PORTÁTIL PARA RECEPCIÓN SATELITAL CON POLARIZACIÓN CIRCULAR.

**Pilar Prado Guillot[1], Noslen Rojas Ramírez[1], Cinthya Pérez Salmerón[1]**

[1] Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS"
[1]dir: Calle 15 y 86A, Playa, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza el diseño de una antena portátil con polarización circular derecha, en la banda de 240 a 320 MHz. El diseño está basado en un arreglo de dipolos paralelos cruzados (antena Yagi). La generación de una onda circularmente polarizada se obtiene con el control de la fase, mediante el tamaño de los elementos que forman el dipolo activo. La alimentación de la antena se realiza a través de un coaxial rígido. La antena se diseñó con la ayuda de las herramientas informáticas: PCASAL, CST MICROWAVE STUDIO y AWR MICROWAVE OFFICE. Finalmente se valida el diseño mediante la construcción y medición de la antena. Los resultados obtenidos muestran gran similitud con las simulaciones realizadas y una buena correspondencia con las exigencias eléctricas y mecánicas impuestas.

**PALABRAS CLAVES:** Polarización circular derecha, antena Yagi.

## DESIGN OF A PORTABLE ANTENNA FOR SATELLITE RECEPTION WITH RIGHT CIRCULAR POLARIZATION.

**ABSTRACT**

In the present work its designed a portable antenna with right-hand circular polarization, in the band of 240 to 320 MHz. The design is based in a parallel crossed dipole array (Yagi antenna). Circular polarized wave generation is obtained with phase control, through the size of the elements that composes the active array. The antenna feeding is accomplished through a rigid coaxial cable. The antenna is designed with the help of the following softwares: PCASAL, CST MICROWAVE STUDIO and AWR MICROWAVE OFFICE. Finally, the design is validated with the construction and measure of the antenna. The results shoe great similarity with the simulations and a good correspondence with the imposed electrical and mechanical demands.

**KEYWORDS:** Right-hand circular polarization, Yagi antenna.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las señales provenientes de los satélites que operan en la banda de 240 a 320 MHz utilizan enlaces con polarización circular donde se precisa de niveles muy bajos de pérdidas por despolarización en el sistema receptor. En la despolarización de la señal inciden dos factores principalmente, el primero es el relacionado con los fenómenos naturales, los cuales afectan la señal en el trayecto desde el satélite hacia la antena y aunque existen recomendaciones para minimizar su efecto, en la práctica se tiene poco control sobre su influencia en la propagación de la señal [1,2].

El segundo factor que incide en la despolarización, es el relacionado con la capacidad de las antenas para recibir una onda con polarización circular en toda la banda de trabajo, además, incide el acoplamiento por polarización entre la antena de la estación terrena portátil y la del satélite.

En la actualidad existen diversas técnicas y configuraciones para obtener antenas con polarización circular para los sistemas de recepción satelitales; la complejidad radica en diseñar una que cumpla con los requisitos en cuanto a la polarización y ganancia en toda la banda de trabajo con una estructura que garantice las dimensiones para ser portable [3].

El objetivo de este trabajo es diseñar una antena con polarización circular derecha con las dimensiones para ser utilizada en las estaciones terrenas portátiles en la banda de 240 a 320 MHz con las siguientes exigencias eléctricas y mecánicas: ganancia ≥ 6 dB, razón de onda estacionaria (ROE) ≤ 2, impedancia de entrada (Zent) = 50 Ω, polarización circular derecha, relación Axial (RA) ≤ 3.5 dB, estructura portable, peso ≤ 2.5 kg, tiempo de emplazamiento ≤ 1 minuto.

Para satisfacer las exigencias anteriores, se escogió la antena Yagi, cuyo procedimiento de diseño se encuentra en diversas literaturas [1,2,4]. La mayor complejidad está asociada a la obtención de la polarización circular. En este trabajo se realiza un procedimiento de diseño y se utilizan las herramientas informáticas PCASAL, CST Microwave Studio y AWR Microwave Office. Posteriormente se analizan los resultados de la simulación y se comparan con los de la medición.

## 2. DESARROLLO

El presente trabajo se divide en cinco etapas, en las cuales se expone el procedimiento de diseño obtenido. Primero se diseña una antena Yagi con polarización lineal, que es la variante abordada en la literatura; en una segunda etapa se diseña el dipolo con polarización circular y posteriormente se combinan los dos pasos anteriores para obtener una antena Yagi con polarización circular derecha. A partir de los resultados anteriores se diseña la línea de alimentación de la antena y se comprueban los resultados teóricos de la antena. Finalmente, después de construida, se realizan las pruebas experimentales para comprobar el procedimiento de diseño y el cumplimiento de las exigencias eléctricas y mecánicas.

**Diseño antena YAGI con polarización lineal.**

Para el diseño de la antena Yagi con polarización lineal (con los dipolos orientados en un solo plano) se emplea el programa PCASAL. En la figura 1 se muestra una vista de la interface de usuario del programa PCASAL. Como se puede observar, la ventana brinda la posibilidad de introducir: la cantidad de dipolos, el diámetro y el número de reflectores que componen la antena, la variante de dipolo activo (simple o doblado), el valor deseado de ROE y el nivel de radiación trasera (NLT); además, se puede seleccionar una de las tres variantes concebidas para el diseño, fijar la separación: del dipolo activo y del reflector, del dipolo activo y la del primer director, o generar por el programa la separación más adecuada. Después de introducidas las condiciones iniciales para el diseño, el programa con el empleo del método de Monte Carlos combinado con el de los Momentos ofrece: la longitud de cada dipolo y la separación; además, determina ROE, NLT, longitud eléctrica, característica de directividad, distribución de amplitud y fase, diagrama direccional, influencia del terreno en el diagrama direccional y la geometría de la antena. En este caso se seleccionó:

- 1 reflector y el dipolo activo simple para facilitar el proceso tecnológico de la antena.
- 5 directores para obtener la ganancia deseada.
- impedancia de entrada 50 Ω dada en las exigencias iniciales.

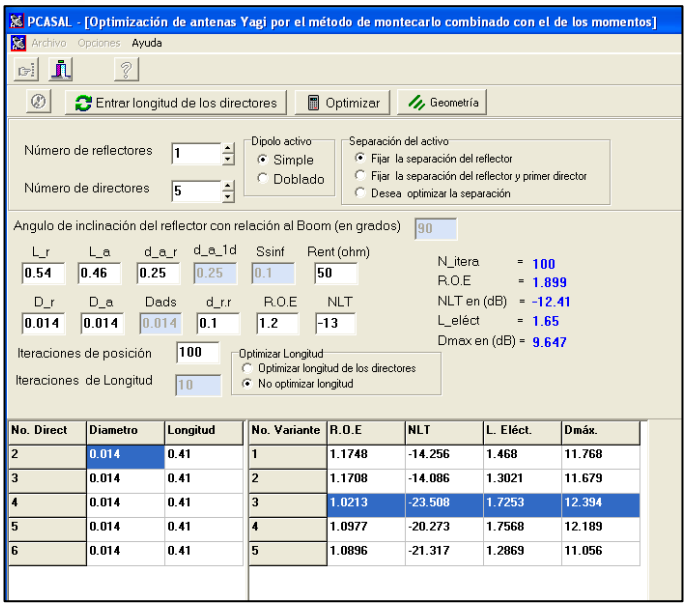



Figura 1. Ventana para el diseño de la antena Yagi.

Los resultados de la variante se observan en el cuadro inferior derecho de la figura 1. La opción seleccionada se puede mostrar en función de la longitud eléctrica o longitud física, según se elija. En la figura 2 se muestra el esquema de la geometría de la variante seleccionada y las dimensiones físicas en milímetros se muestran en la figura 3, en este cuadro las variables tienen la siguiente correspondencia: L corresponde a las dimensiones de los dipolos, Y a la separación entre ellos y D al diámetro de los dipolos.

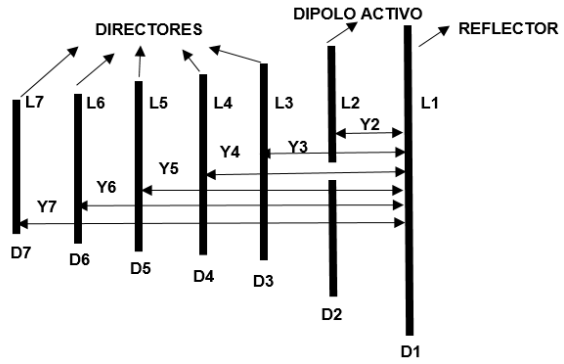



Figura 2. Esquema de la geometría de la antena.

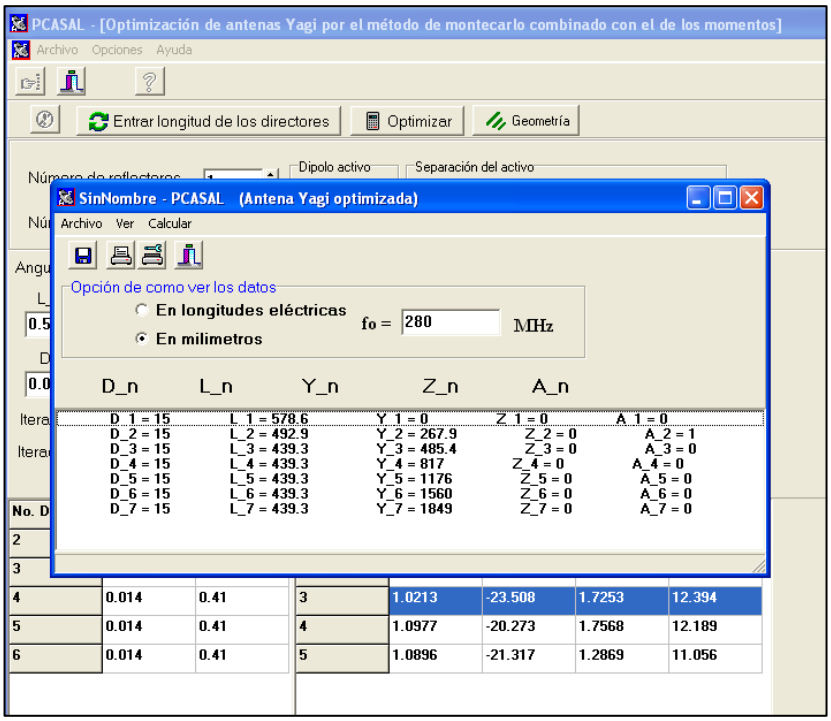



Figura 3. Dimensiones obtenidas de la antena.

**Diseño del Dipolo con polarización circular.**

A partir de la antena Yagi con los dipolos simples se realiza el diseño de la antena con los dipolos cruzados para la generación de un campo polarizado circularmente, determinándose inicialmente el dipolo activo de la antena. Para ello se seleccionan dos frecuencias dentro de la banda de trabajo, una superior y otra inferior a la frecuencia central (280 MHz), con una diferencia de esta de 20 MHz. Después de seleccionadas las frecuencias se calculan las longitudes de los dipolos para cada una de ellas, tomando los dipolos de λ/2 (media longitud de onda).

Para la frecuencia de 260 MHz la longitud del dipolo (Ld1) es de 576 mm y para la frecuencia de 300 MHz (Ld2) es de 500 mm; estas longitudes se tomarán como variables de ajuste de la antena (tomando como valores iniciales los calculados en estos puntos), para obtener un valor de ROE por debajo de dos en toda la banda de frecuencias.

La separación entre el dipolo activo y el reflector se seleccionó dentro del rango (0.15 - 0.25) λ y, de forma similar a la longitud de los dipolos, se toma como variable en el ajuste de la antena. El valor inicial para la optimización es 0.15 λ0 (157.5 mm), siendo λ0 la longitud de onda correspondiente a la frecuencia central.

La generación del campo con polarización circular derecha se obtiene con dos dipolos de diferentes longitudes, alimentados con igual amplitud y en fase, para ello se conectan un brazo del dipolo corto y otro del dipolo largo al conductor central de la línea de alimentación (coaxial) y los otros dos brazos de ambos dipolos al conductor exterior (tierra); con la longitud de los dipolos es posible controlar la fase de las corrientes que circulan por los dipolos y así controlar la fase de las componentes del campo eléctrico.

El diseño del reflector debe garantizar su funcionalidad en los 360º, para ello se utilizan 4 dipolos de forma radial separados a 90º entre sí. La longitud de los dipolos del reflector se seleccionó mayor o igual que λmax/2,

siendo λmax la longitud de onda de la frecuencia inferior de la banda de trabajo (240 MHz); esta longitud también se toma como variable en la optimización de la antena teniendo como valor inicial 625 mm. A partir de las consideraciones anteriores se realiza la modelación y simulación de la antena (dipolos cruzados con reflector) con los valores iniciales de las variables definidas, en la figura 4 se muestra la antena modelada y los resultados de la simulación en la herramienta CST MICROWAVE STUDIO.

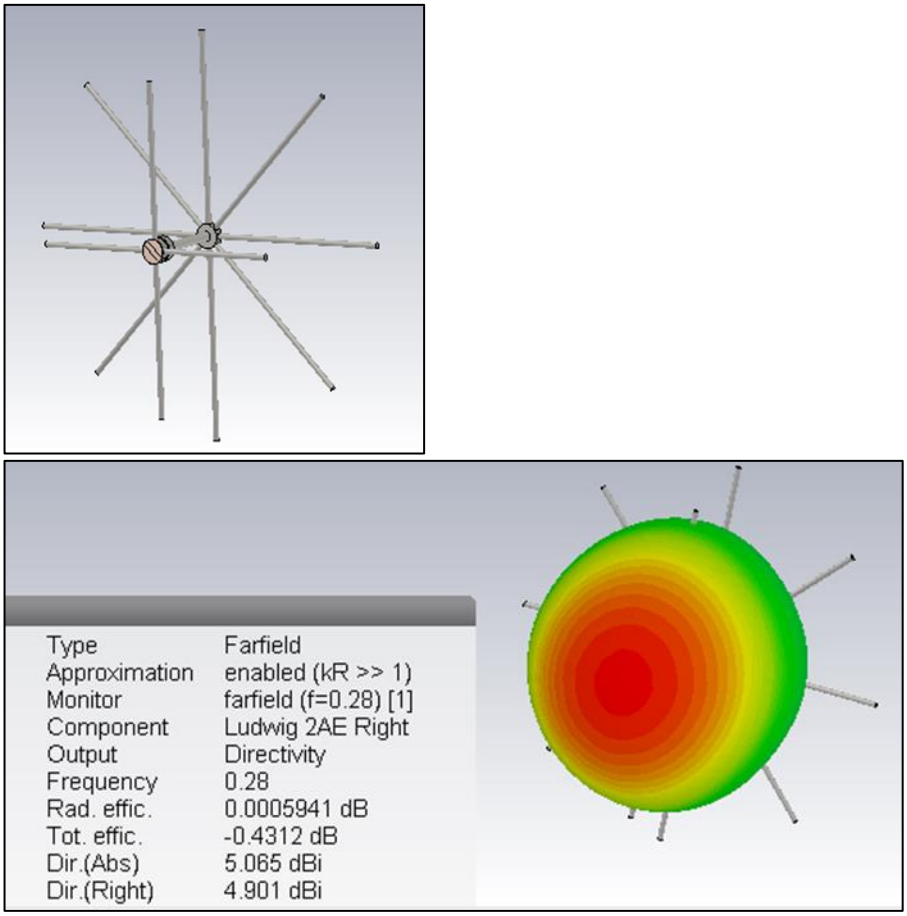



Figura 4. Dipolo activo con reflector.

**Diseño de antena Yagi con polarización circular derecha.**

A partir de los resultados el diseño de la antena Yagi con polarización circular derecha se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. La longitud de los directores (dipolos cruzados) y su separación, se mantienen con las dimensiones obtenidas en el PCASAL, tomando los dos dipolos que forman un par cruzado con la misma longitud.
2. La estructura de los directores se acopla al dipolo activo diseñado anteriormente con el reflector.
3. Se modela la antena en el CST MICROWAVE STUDIO, el resultado se muestra en la figura 5.

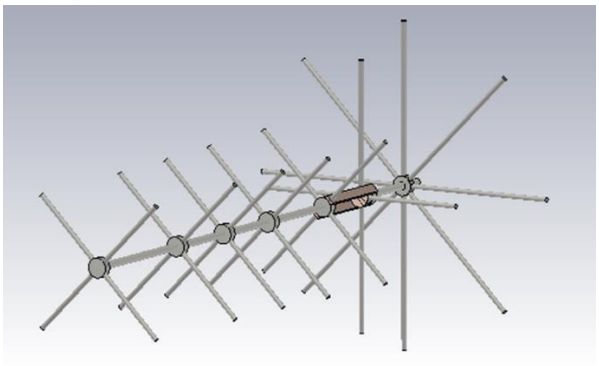


Figura 5. Antena Yagi modelada en CST Microwave Studio.

Se simula el comportamiento de la antena en el CST MICROWAVE STUDIO ajustando la separación entre el reflector y el dipolo activo, así como entre el dipolo activo y el primer director, para obtener máxima ganancia con polarización circular derecha. Los resultados de la simulación de la antena se muestran en la figura 6, donde se puede observar que la ganancia de la antena a la frecuencia de 280 MHz es de 8.42 dB (polarización circular derecha), valor que satisface las exigencias impuestas al diseño, aunque la ROE está por encima de 2 desde los 260 MHz hasta los 290 MHz, con lo que evidencia que la antena se encuentra desacoplada en el rango de frecuencias señalado.

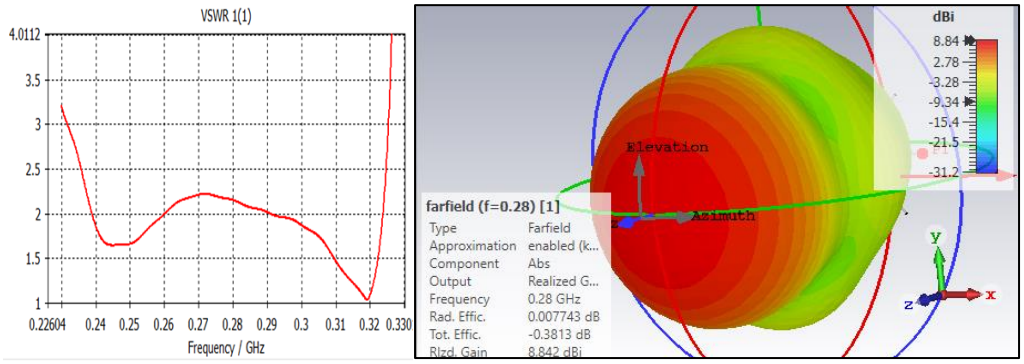



Figura 6. ROE y Diagramas Direccional en 3D simulados.

**Diseño de la línea de alimentación.**

La línea de alimentación de la antena se diseñó con un coaxial rígido con dieléctrico aire, formado por un tubo de aluminio como conductor exterior y una varilla de bronce como conductor interior. Las dimensiones de la línea fueron obtenidas con ayuda de la herramienta TXLINE del AWR MICROWAVE OFFICE. El diámetro del conductor interior es 3 mm y el del exterior es 6.5 mm; con estas dimensiones la impedancia de la línea es de 50 Ω. La separación entre los conductores del coaxial se obtiene mediante tres arandelas de teflón de 4 mm de espesor.

Para el acoplamiento de impedancias se seleccionó un stub serie conectado en el conductor interior del coaxial rígido. La implementación práctica del stub se realizó a través de una discontinuidad en el conductor central del coaxial. La discontinuidad en el conductor interior provoca un efecto capacitivo que permite eliminar o disminuir la reactancia de la impedancia en la línea de alimentación; este efecto capacitivo depende de las

relaciones entre los radios del conductor central, el stub y el diámetro interior del coaxial [5,6,7].

Para el diseño de la línea acoplada se empleó el AWR MICROWAVE OFFICE y para la modelación el CST MICROWAVE STUDIO. En el diseño se definieron dos puertos (1 y 2): el primero, con los valores de impedancias medidos desde el coaxial hacia la antena y el segundo, con el valor de impedancia deseado a la entrada del coaxial (50 Ω). Se mantienen las dimensiones del coaxial obtenidas en el TXLINE; se emplean como variables de control para el diseño del stub: la longitud (LA), el radio (DA) y la posición dentro del coaxial. En las figuras 7 y 8 se muestra el diseño esquemático del stub y la línea de alimentación.

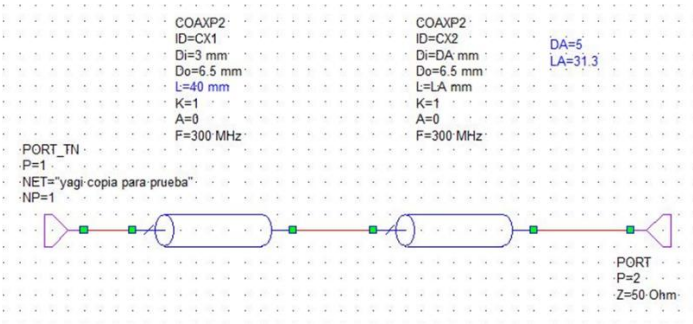



Figura 7. Diseño esquemático en el AWR Microwave Office del stub serie.

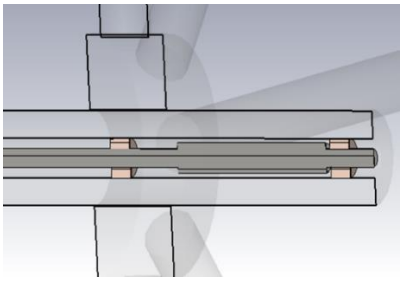


Figura 8. Modelación en el CST Microwave Studio del stub de la línea de alimentación.

**Resultados obtenidos en el diseño y comparación con las mediciones.**

Los resultados obtenidos en la simulación después de ajustar la línea de alimentación se muestran en las figuras 9 y 10, presentando los siguientes valores: ganancia con polarización circular derecha de 8.68 dB, ROE ≤ 2 en toda la banda de trabajo y relación axial ≤ 3.5 dB.

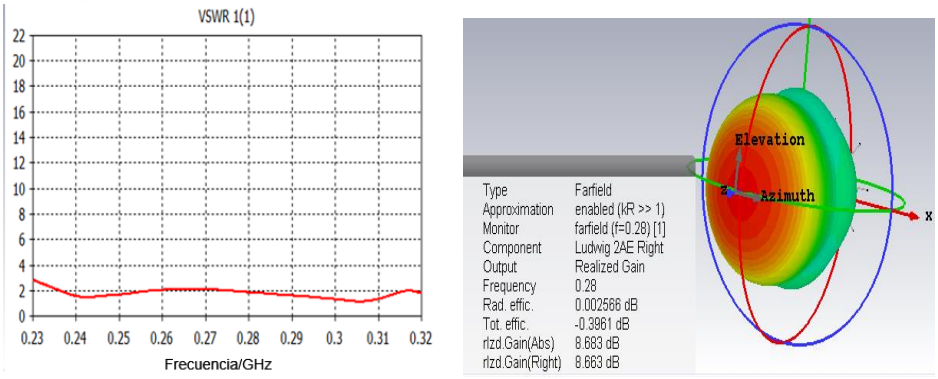



Figura 9. Diagrama direccional en 3D en la frecuencia central y ROE con la línea de alimentación de la antena acoplada.

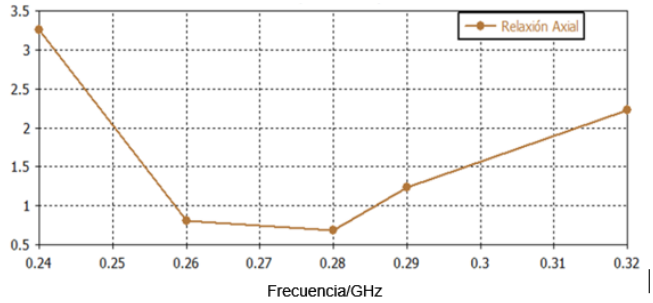



Figura 10. Curva de la Relación Axial en toda la banda de trabajo.

Posteriormente se construyó la antena cuya dimensión máxima es de 1219 mm y 578 mm del reflector y que presenta una estructura portable. La estructura mecánica de la antena es plegable y se secciona en tres partes ensamblables (figura 10), además presenta un peso de 2,5 kg, lo que unido a la propiedad anterior hace que pueda ser portable y permite su emplace y desemplace en breve tiempo (menos de 1 minuto). En la figura 11 se muestra la antena plegada y emplazada para la recepción satelital.

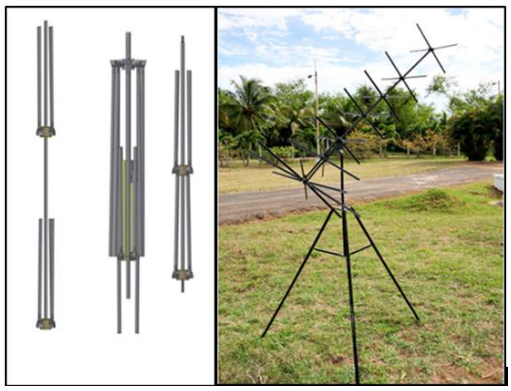


Figura 11. Antena plegada para la transportación y emplazada sobre un trípode plegable.

Después de realizar la construcción se midió la ROE. En la figura 12 se muestra una comparación de los resultados de la simulación y la medición, observándose una buena correspondencia entre ambos. En la figura 13 se muestra una comparación de los diagramas direccionales obtenidos en la simulación y en la medición en la frecuencia central y los extremos de la banda, apreciándose gran similitud entre ellos.

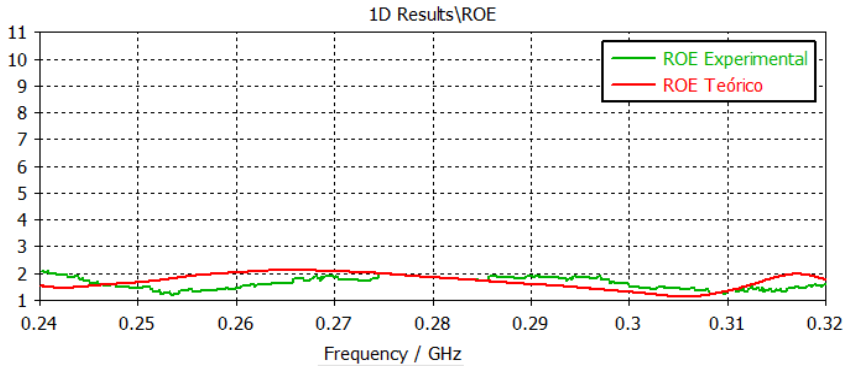



Figura 12. ROE medida en toda la banda de trabajo.

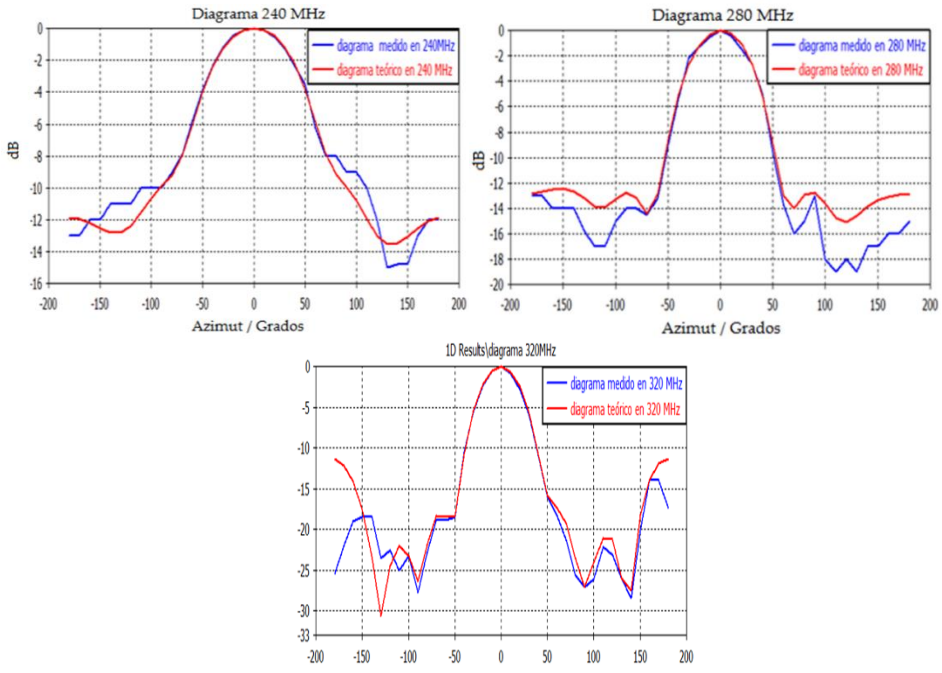



Figura 13. Diagramas de radiación (240, 280 y 320 MHz), la línea de color rojo corresponde a los resultados obtenidos de la simulación y la de color azul a la medición realizada.

En la figura 14 se muestra el espectro de la señal recibida de un satélite UFO por la antena diseñada (trazo magenta) y la señal recibida por una antena helicoidal de 3 m diseñada para las mismas prestaciones (trazo amarillo) observándose prácticamente los mismos valores de relación señal al ruido (S/N) de cada una de las portadoras que se muestran, así como de sus anchos de banda.

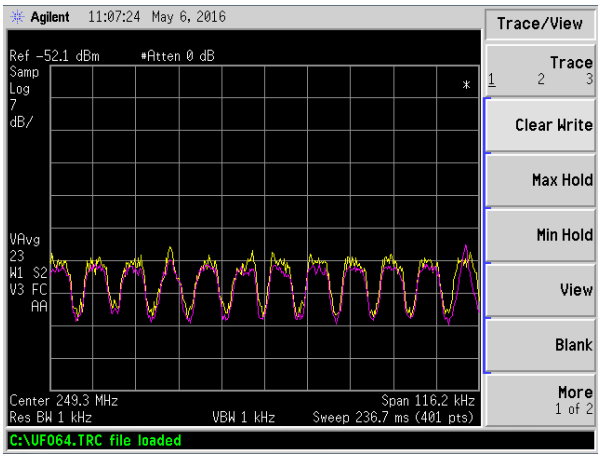



Figura 14. Espectro de la señal recibida de un satélite UFO por la antena diseñada y por una antena helicoidal de 3 metros.

## 3. CONCLUSIONES

Se diseñó una antena portátil para recepción satelital con polarización circular derecha, cuyos principales parámetros fueron comprobados experimentalmente mostrando correspondencia con las simulaciones realizadas. Además, fueron recibidas las señales de satélites UFO en diferentes emplazamientos y comparadas con las señales recibidas por una antena helicoidal de 3 m de longitud diseñada para estas prestaciones, existiendo gran correspondencia entre ambas señales. La estructura mecánica de la antena es plegable y se secciona en tres partes ensamblables, siendo portable y con un emplazamiento y desemplazamiento en breve tiempo (menos de 1 minuto).

## REFERENCIAS

1.Balanis, C.A., Antenna Theory, Analysis and Design. 3rd ed, ed. J.W. Sons.2005
2.Balanis, C.A., Modern Antenna Handbook, ed. J.W. Sons. 2008.
3.Dybdal, R., Communication Satellite Antennas: System Architecture, Technology, and Evaluation., ed. M.G. Hill. 2009. 344.
4.Stincer, Teoría de Antenas. ITM. 2001
5.Kraus, J.D., “Antennas”, ed. E. Rev. 1969, La Habana
6.Miguel Ferrando, e.a., Antenas, ed. UPC. 2002. 460.
7.G.T.Markov, a.D.M.S., Antenas, ed. M. Moscú. 1978.

## Sobre los autores

**Pilar Prado Guillot** es Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica graduada en la CUJAE en el año 2010, Máster en Telecomunicaciones y Telemática desde el año 2015. Posee la categoría Científica de Investigador Auxiliar desde el año 2018. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, “CID MECATRONICS”.

**Noslen Rojas Ramírez,** es Ingeniero Radioelectrónico, graduado en el ITM "José Martí" en el año 1994. Máster en Radioelectrónica desde el año 1997 y Doctor en Ciencias Técnicas desde el año 2008. Posee la categoría

científica de Investigador Titular desde el año 2012 y en 2018 recibió la Orden "Carlos J. Finlay" por los resultados alcanzados en la actividad científica. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

Cinthya Pérez Salmerón es Ingeniera Mecánica graduada en la CUJAE en el año 2016. Labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica, "CID MECATRONICS".

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SISTEMA TRANSPONDEDOR PARA MONITOREO MARÍTIMO EN LOGÍSTICA DE COMBUSTIBLES

**Jorge H. Vázquez Leiva[1], Randy Mustelier Rivero[1], Michel Buzón Tur[2], Armando Estévez Alonso[2]**

[1]Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica "CID MECATRONICS", dir: Calle 15 y 86A, Playa, La Habana, Cuba
[1]e-mail: cid3@reduim.cu

[2] Empresa de Informática, Automática y Comunicaciones TECNOMÁTICA, dir: Árbol Seco 56 e/ Estrella y Maloja, Centro Habana, La Habana, Cuba.
[2]e-mail: aestevez@tm.cupet.cu

**RESUMEN**

Este trabajo propone el desarrollo de un sistema transpondedor para monitoreo de transporte marítimo con la utilización del Sistema de Identificación Automática (AIS- por sus siglas en inglés). La composición general del diseño comienza con la recepción del protocolo AIS en la banda de muy alta frecuencia (VHF- por sus siglas en inglés). Una vez recibida la señal se realiza la demodulación y decodificación de los datos de interés para el monitoreo que incluyen posicionamiento y parámetros de navegación de cada buque. La transmisión de la información hacia los centros de control se lleva a cabo en la banda de 2.4 GHz mediante un módem por radiofrecuencia (RF) del fabricante DIGI. Aunque para la investigación fueron empleados medios técnicos en existencia, se puede reproducir la investigación con dispositivos similares si se desea variar o agregar nuevas prestaciones. Las pruebas de validación se realizaron en condiciones de laboratorio y se analizan parámetros fundamentales en este tipo de comunicación. El sistema obtenido puede aplicarse en medios de transporte o señalización marítima.

**PALABRAS CLAVES:** Transporte marítimo, monitoreo, transpondedor, AIS.

**TRANSPONDER SYSTEM FOR MARITIME MONITORING IN NATIONAL WATERS**

**ABSTRACT**

This work proposes the development of an automatic transponder system for monitoring vessels with the use of the Automatic Identification System (AIS). The general composition of the design begins with the reception of the AIS protocol in the very high frequency (VHF) band. Once the signal is received, the demodulation and decoding of the data of interest for monitoring is carried out, which includes positioning and navigation parameters of each vessel. The transmission of information to the control centers is carried out in the 2.4 GHz band using a radio frequency (RF) modem from the manufacturer DIGI. Although existing technical means were used for the research and can be reproduced with similar devices if one wishes to vary or add new features. The validation tests were carried out under laboratory conditions and fundamental parameters in this type of communication are analyzed. The system obtained can be applied in means of transport or maritime signaling.

**KEY WORDS:** Maritime Transportation, monitoring, transponder, AIS.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para determinadas operaciones de logística de combustibles es crucial el conocimiento de la posición exacta del medio marítimo que se aproxima a puerto. En la actualidad este monitoreo se realiza con la ayuda de sistemas de grandes prestaciones que precisan de conexión a Internet y por ello en ocasiones la inmediatez de la información puede verse afectada [1]. Una alternativa a esta situación es auxiliar el control de trayectoria desde tierra con la ayuda del AIS que permite ofrecer información de localización. Estos mensajes se utilizan para diversos usos, como el control de la flota, el control del tráfico o la

prevención de abordajes. En la actualidad los transpondedores de AIS presentan altos costos en el mercado internacional, sin tener en cuenta los elementos adicionales que precisan como es el caso de antenas, líneas de transmisión y sistemas de respaldo energético [2].

Con el avance de la tecnología varios equipos de costo elevado para el monitoreo han sido sustituidos por aplicaciones informáticas combinadas con radio definido por software (SDR- por sus siglas en inglés) [2]. Novedosas técnicas se han aplicado en este campo, algunas de ellas incluyen el uso de protocolos que se basan en AX.25 con formato especial [3]. En otra investigación se modula la trama de actualización basada en protocolo KISS TNC con modulación LoRa (Long Range) [3]. En [4] se realiza el diseño de un transmisor AIS utilizando SDR y software de código abierto, aunque se ve limitado por el alcance. Se realiza un estudio en [5] con el fin de diseñar una unidad de seguimiento de animales silvestres o protegidos que viven en un parque nacional para una distancia similar. Este utiliza AIS como protocolo de comunicación para rastrear la ubicación de dichas especies dentro de un área sin infraestructura de red inalámbrica.

A pesar del éxito de las investigaciones desarrolladas [1-5], estos sistemas de grandes prestaciones exigen como mínimo una conexión permanente a Internet. Por tanto, se genera dependencia en cuanto a la ocurrencia de fallos e interrupciones, falta de seguridad contra ataques externos y aumento de costos adicionales por adquisición de hardware o software especializado [6]. En el presente trabajo se propone una solución alternativa que emplea como soporte técnico radio definido por software, computadora de placa única y módem de RF. Esta consiste en desarrollar un sistema transpondedor AIS de bajo costo que garantice confirmar la recepción de las tramas de ubicación y su disponibilidad, para controlar la trayectoria de los medios de transporte. La ventaja radica en la obtención de un sistema independiente de internet, con alcance de transmisión de hasta 30 km y que brinda soberanía tecnológica mediante el empleo de software de decodificación y representación propias.

## 2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

El sistema propuesto debe contar en cada extremo de comunicación con medios de cómputo para la demodulación, decodificación y representación de la trama AIS, así como el módem de radiofrecuencia que garantiza la transmisión y recepción de los datos. La figura 1 muestra el diagrama de bloques que ilustra las etapas y componentes del transponedor AIS diseñado.

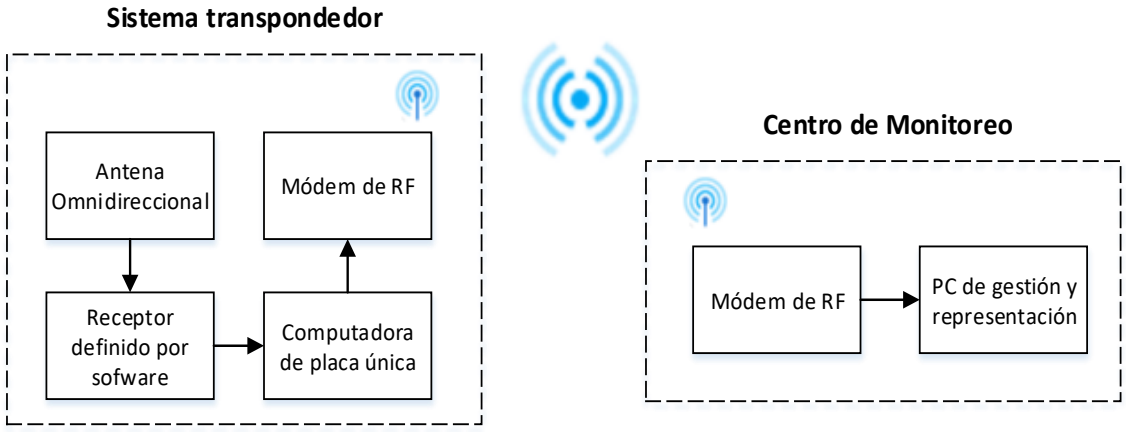



Figura 1: Diagrama de bloques del sistema transpondedor propuesto.

Como es posible observar la propuesta está compuesta por cinco elementos fundamentales que se describen a continuación:

- Antena omnidireccional: Antena de monopolo diseñada para recibir señales en la banda de onda ultracorta en las frecuencias de 156.25 MHz a 163 MHz.

- Receptor definido por software: Garantiza la recepción y demodulación del AIS para entregarlo en formato IQ [7] a la etapa de decodificación.
- Computadora de placa única: Contiene la aplicación para decodificar el protocolo AIS y obtener los datos de interés para el monitoreo, de igual forma compacta los datos en el formato definido para su transmisión hacia el centro de control.
- Módem de RF: Realiza la función de etapa transmisora del transpondedor y actúa como elemento de enlace en el centro de control.
- PC de gestión y representación: Presenta la aplicación para seguimiento y representación de los datos recibidos desde el transpondedor.

**Decodificación de AIS en formato IQ**

El receptor definido por software entrega la señal recibida en formato IQ, por lo que es necesario realizar la decodificación para obtener la trama NMEA083 [8]. El hardware previsto para contener esta etapa es una computadora de placa única (SBC- por sus siglas en inglés), la cual se conecta al SDR vía USB. La salida de los datos se configura para una comunicación RS-232 [9] con el módem RF.

Para el intercambio de los datos, se diseña un protocolo de transmisión/recepción que garantiza el transporte de los datos de localización geográfica para el monitoreo. En este caso fue empleada la trama mostrada en la Tabla 1, con la siguiente estructura:

- Bandera de inicio: marca el comienzo de la trama y la identifica como del tipo APRS.
- Campo origen: contiene el indicativo o código de la fuente.
- Campo de información: contiene los datos de ubicación geográfica.
- Bandera final: marca el fin de la trama APRS.

Tabla 1: Formato de la trama a enviarse.

| Bandera | Origen | Ubicación | Bandera |
|---|---|---|---|
| 3 bits | 2bits | 12 bits | 3 bits |

Los datos de ubicación geográfica, pueden adaptarse a la región donde se realice el monitoreo, por ejemplo, si tuviese lugar en Cuba se limitaría a:

- Entre los 19˚ 46' 36” y 23˚ 17' 09” de latitud norte.
- Entre los 74˚ 07' 52” y 84˚ 00' 00” de longitud occidental

En el caso particular del sistema propuesto, para la implementación del mecanismo de transmisión/recepción, se utilizó una biblioteca de código abierto, que permite el manejo del hardware de recepción, además provee funciones para manipular la sincronía, demodulación y decodificación del canal, entre otras facilidades. La aplicación final fue desarrollada en Delphi7 para interpretar y estructurar los datos de radiofrecuencia y entregarlos a la entrada de un transmisor que los coloca en el sistema de monitoreo. Para lograr confidencialidad de la información fue aplicado un algoritmo de decodificación basado en Viterbi. La figura 2 muestra el diagrama de flujo para el proceso antes explicado.

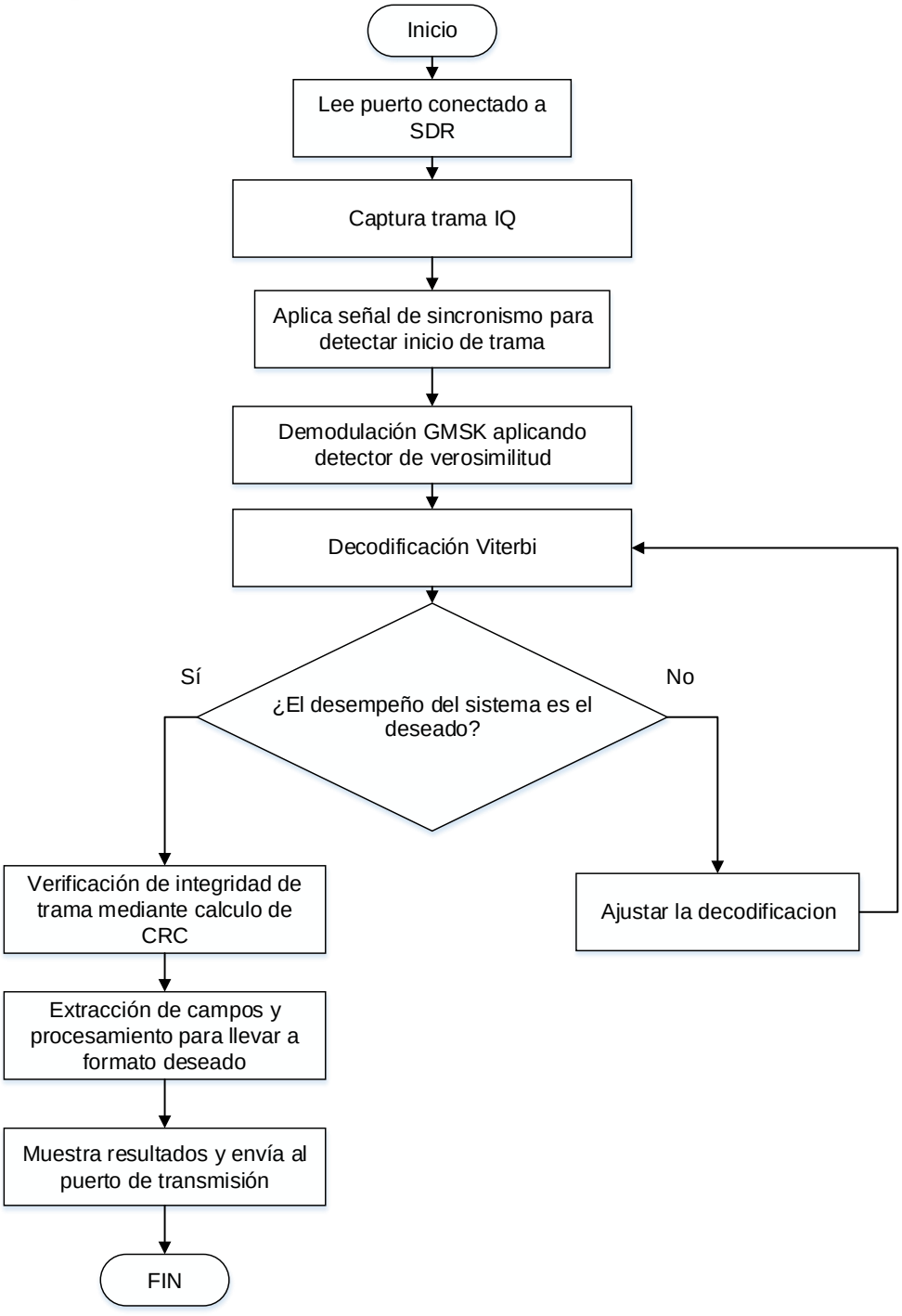



Figura 2: Diagrama de flujo de la aplicación para procesar los datos para monitoreo.

Un elemento a tener en cuenta durante la transmisión de datos a distancia es la constancia de la correcta recepción de la información en la estación destino, lo cual se asegura con un protocolo orientado a conexión con técnicas de acceso al medio de tipo CSMA (Carrier Sense Multiple Access) [10]. Para el cumplimiento del protocolo se parte del principio de una comunicación bidireccional. Deben declararse estados para definir todas las situaciones posibles a presentarse en un proceso de intercambio de información. En primer lugar, se examina el medio de transmisión hasta confirmarse que ha quedado libre y solo se inicia la comunicación una vez ocurrido. Luego es ejecutado el proceso de envío de las tramas

AIS hacia el centro de control, de ocurrir este proceso sin error se recibe el acuse de recibo (ACK), en caso contrario se notifica las causas del fallo en la comunicación.

**Software para representación gráfica**

La visualización de los datos de posicionamiento geográfico se puede realizar sobre cualquier aplicación destinada a tal efecto. El sistema propuesto desarrolla su propia aplicación empleando el entorno de desarrollo (IDE) QtCreator en su versión 5.7 [11], la que se conecta vía Ethernet y realiza la lectura del buffer de datos disponibles. Una captura de la interfaz gráfica puede observarse en la figura 3.

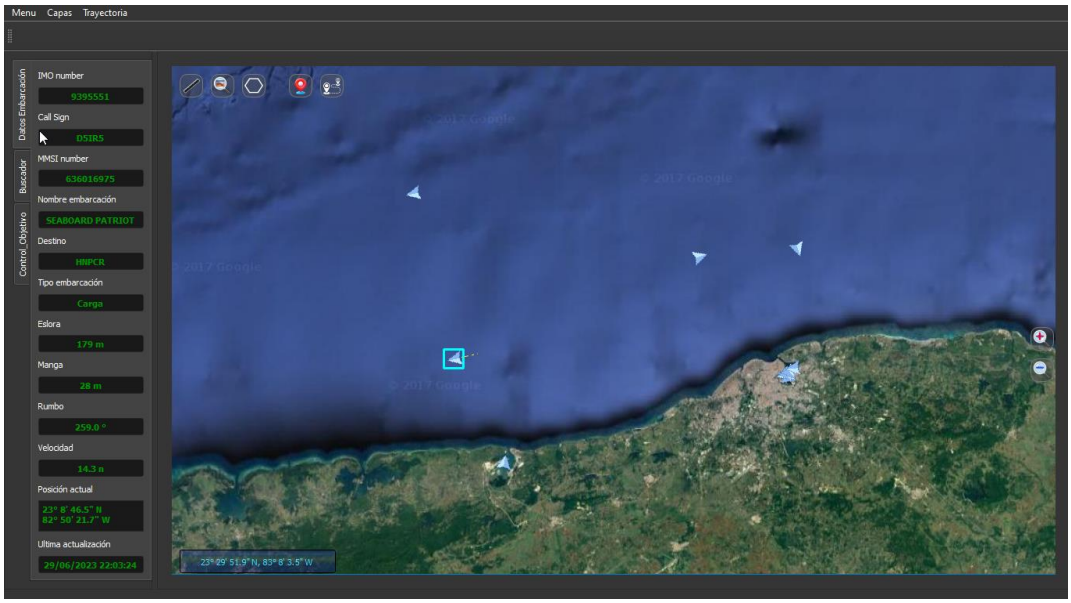



Figura 3: Interfaz gráfica de la aplicación para monitoreo de los medios marítimos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas se llevan a cabo empleando módem de RF del fabricante DIGI del tipo XTEND-PKG [12], computadora de placa única Rapsberry PI 4 [13] y dongle RTL RTL2832U [14]. La estructura del sistema para cada extremo de comunicación con el hardware citado se puede observar en las figuras 4 y 5 respectivamente.




Figura 4: Montaje del sistema transpondedor para las pruebas de validación.




Figura 5: Montaje del centro de control para las pruebas de validación.

En la conexión inalámbrica, resultan parámetros claves en la caracterización del enlace: la potencia recibida, la ganancia de la antena y el nivel de ruido ambiental [15]. Por lo que se valoró el desempeño del sistema frente a diferentes distancias, con empleo de la antena integrada en el SDR. En la tabla 2 se muestra la dependencia de la potencia recibida contra la distancia al punto de acceso del servidor.

Tabla 2: Dependencia de la potencia recibida respecto a la distancia.

| Distancia (km) | Potencia (dBm) | Frecuencia (MHz) | Ganancia (dBi) | Ruido ambiental (dB) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -35 | 900 | 10 | -25 |
| 5 | -45 | 900 | 9 | -35 |
| 10 | -50 | 900 | 6 | -40 |
| 20 | -54 | 900 | 5 | -45 |
| 25 | -58 | 900 | 4 | -48 |
| 30 | -62 | 900 | 2 | -50 |
| 35 | -69 | 900 | 1 | -65 |

Se puede apreciar que para distancias superiores a los 30 km la potencia recibida se reduce significativamente haciendo inestable la conexión. Esta medición permite determinar la distancia máxima a la que se puede ubicar el punto de control con el empleo del punto de acceso embebido. Para mejorar los resultados obtenidos puede agregarse una antena direccional en el conector de radiofrecuencia presente en el módem de RF.

En el centro de control se colocaron tres herramientas de decodificación de la trama como material de comparación para la señal recibida: Soundmodem 100, AFSK1200 y AX.25-SCS [15]. Para determinar la veracidad de cada trama recibida, se incorporó al extremo receptor una aplicación desarrollada en DELPHI 7, para el cálculo de la tasa de bit errado [16] (BER – por sus siglas en inglés). En todos los

casos el protocolo de comunicaciones orientado a conexión dio acuse de recibo del envío de los datos. En la Tabla 3, se ilustra cantidades de bits de datos transmitidos, recibidos y errados, llegada del ACK y el BER resultante. Como es posible apreciar los valores resultantes se encuentran en parámetro según la ICT (Information and Communications Technology) [17].

Tabla 3: Resultados obtenidos.

| Herramienta decodificadora | Total de bits transmitidos | Total de bits recibidos | Bits errados | Llegada de ACK | BER < 0.0000015 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Soundmodem 100 AFSK 1200 Ax.25-SCS** | 7200000 | 7200000 | 10 | Sí | 0.0000013 |
| **Soundmodem 100 AFSK 1200 Ax.25-SCS** | 7200000 | 7200000 | 10 | Sí | 0.0000013 |
| **Soundmodem 100 AFSK 1200 Ax.25-SCS** | 7200000 | 7200000 | 9 | Sí | 0.0000012 |
| **Soundmodem 100 AFSK 1200 Ax.25-SCS** | 7200000 | 7200000 | 9 | Sí | 0.0000012 |
| **Soundmodem 100 AFSK 1200 Ax.25-SCS** | 7200000 | 7200000 | 9 | Sí | 0.0000012 |

## 4. CONCLUSIONES

Se desarrolló un trasnpondedor AIS sin conexión a internet, soportado sobre estructuras de datos, mecanismos de transmisión segura y representación geográfica propios, lo cual otorga una soberanía tecnológica y reducción en gastos de inversión. El sistema se puede implementar con la utilización de transceptores y otros tipos de medios como computadoras de placa reducida, tipo Rapsberry Pi u ODROID. Es posible implementar interlineado y códigos de corrección de error tipo FEC (Forward Error Correction), lo cual permitiría construir sistemas más robustos frente a interferencias, ruido u otro tipo de efecto indeseado [18], y disminuir los niveles del BER durante la transmisión.

## REFERENCIAS

1. P. Bernabé, A. Gotlieb, B. Legeard, D. Marijan, F. O. Sem-Jacobsen and H. Spieker, "Detecting Intentional AIS Shutdown in Open Sea Maritime Surveillance Using Self-Supervised Deep Learning," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 25, no. 2, pp. 1166-1177, Feb. 2024, doi: 10.1109/TITS.2023.3322690.
2. Jyrki T. J. Penttinen, "Modulation and Demodulation," in The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems, Wiley, 2013, pp. 261-280, doi: 10.1002/9781118678916.ch10.
3. M. Weatley, “PSKCore.DLL Software Specification and Technical Guide Ver. 1.41”, Septiembre 24, 2018.
4. H. TOUIL, N. E. AKKAD and K. SATORI, "Text Encryption: Hybrid cryptographic method using Vigenere and Hill Ciphers," 2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISCV49265.2020.9204095.
5. F. De Rango, N. Cordeschi and F. Ritacco, "Applying Q-learning approach to CSMA Scheme to dynamically tune the contention probability," 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369509.

6. DI NISIO Atilio; PICARIELLO Francesco. "Selected Papers from the 2018 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea". Switzerland: Office MDPI, 2020. ISBN 978-3-03928-406-1.
7. Y. Adityawarman and J. Matondang, "Development of Micro Weather Station Based on Long Range Radio Using Automatic Packet Reporting System Protocol,"2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), 2018, pp. 221-224, doi: 10.1109/ICITSI.2018.8696081.
8. S. Dwi Harsono, Rumadi and R. Ardinal, "Design and Implementation of SatGate / iGate YF1ZQA for APRS on the LAPAN-A2 Satellite," 2019 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICARES.2019.8914335.
9. J. Matondang and Y. Adityawarman, "Implementation of APRS Network Using LoRa Modulation Based KISS TNC," 2018 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), 2018, pp. 37-40, doi: 10.1109/ICRAMET.2018.8683928.
10. N. Hongyim and P. Watanachaturaporn, "A Design and Implementation of an Emergency Message Beacon System Using APRS Protocol," 2020 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2020, pp. 21-24, doi: 10.1109/ECTI CON49241.2020.9158272.
11. Qt Creator [Software]. 5.7 Version. Available: https: //www.qt.io/download-qt-installer
12. N. Hongyim and S. Mithata, "Designing and Implementation Exploration Vehicle Remote Controller Using APRS Protocol," 2017 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSEC.2017.8443845.
13. A. S. Suryawanshi and M. R. Deshmukh "A Mobile APRS Gateway for Real-Time Vehicle Tracking and Monitoring" 2018 International Journal of Computer Applications, 2018.
14. F. De Rango, N. Cordeschi and F. Ritacco, "Applying Q-learning approach to CSMA Scheme to dynamically tune the contention probability," 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369509.
15. DI NISIO Atilio; PICARIELLO Francesco. "Selected Papers from the 2018 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea". Switzerland: Office MDPI, 2020. ISBN 978-3-03928-406-1.
16. N. Hongyim, "Designing and Implementation Wildlife Tracking System Using APRS Protocol," 2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICEAST.2019.8802541.
17. S. Okabe et al., "10-Gbps forward error correction system for 120-GHz-band wireless transmission," 2010 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 2010, pp. 472-475, doi: 10.1109/RWS.2010.5434147.

**Sobre los autores**

**Jorge H. Vázquez Leiva** es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2015. Actualmente labora como Aspirante a Investigador en el CID MECATRONICS.

**Randy Mustelier Rivero** es ingeniero en Informática, graduado del Instituto Técnico Militar "José Martí" en el año 2015. Actualmente labora como Investigador Agregado en el CID MECATRONICS.

**Michel Buzón Tur** es ingeniero en Ciencias Informáticas, graduado de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) en el año 2009. Actualmente labora como Especialista principal y Jefe de Proyecto en la Empresa Tecnomática.

**Armando Estévez Alonso** es ingeniero en Electrónica, graduado de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" en el año 1986. Actualmente labora como Director General de la empresa Tecnomática.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Investigación de las Características de la Antena de Cuadro Volumétrica.

Dr.CT Alexis Manuel Cristobo Brooks[1], Ing. Claudia Arrieta Castellanos[2]
[1, 2] Universidad Tecnológica de la Habana ¨José A. Echeverría¨, CUJAE, Calle 114 # 1190, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
[1]e-mail: cristobo@tele.cujae.edu.cu
[2]e-mail: claudiaarrietacastellanos@gmail.com

**Resumen:** Los sistemas radiotécnicos actuales requieren de diseños de antenas pequeñas y eficientes en cuanto a anchos de banda y ganancia. Esta investigación se desarrolla con el objetivo de satisfacer con estos requisitos. Para ello se realiza la propuesta de empleo del lazo volumétrico, como una alternativa a la antena de cuadro simple, para logra un empleo más eficiente del volumen de radiación; al introducir más variables independientes en las tres dimensiones espaciales para lograr el ajuste de los parámetros eléctricos de la antena. Se realiza un estudio de diversas variantes de antenas que permitan validar el modelo físico, modelarlos matemáticamente, obtener cuantitativamente sus parámetros eléctricos, construir diseños prácticos y realizar validaciones preliminares.
Se varía la longitud, el grosor del conductor y posición del punto de alimentación para investigar sus efectos respecto al lazo original. Se realizan estudios con la polarización; así como la influencia de un reflector. También se incluyó el diseño de antenas fractales y de variación lineal de la longitud del cono de radiación. Los resultados del modelo se validaron con ayuda del programa CST y el analizador de redes Keysight, Fiel Fox Microwave Analyzer N9917A; además se realizó su implementación práctica en la TVD. Estos resultados son la base para nuevas investigaciones y su implementación práctica en diversos sistemas radiotécnicos que lo requieran

**Palabras claves:** Antena volumétricas, antena de cuadro, parámetros de la antena.

**Abstract**: Current radiotechnical systems require small and efficient antenna designs in terms of bandwidth and gain. This research is developed with the objective of satisfying these requirements. For this purpose, the proposal to use the volumetric loop is made, as an alternative to the simple loop antenna, to achieve a more efficient use of the radiation volume; by introducing more independent variables in the three spatial dimensions to achieve the adjustment of the electrical parameters of the antenna. A study of various antenna variants is carried out to validate the physical model, mathematically model them, quantitatively obtain their electrical parameters, build practical designs and carry out preliminary validations.

The length, thickness of the conductor and position of the feed point are varied to investigate their effects with respect to the original loop. Studies are carried out with polarization; as well as the influence of a reflector. The design of fractal antennas and linear variation of the length of the radiation cone was also included. The model results were validated with the help of the CST program and the Keysight Fiel Fox Microwave Analyzer N9917A network analyzer; In addition, its practical implementation was carried out in the TVD. These results are the basis for new research and its practical implementation in various radiotechnical systems that require it.

**Key words:** Volumetric antenna, loop antenna, antenna parameters.

## Introducción.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos han tenido un gran avance y su progresiva demanda exige que las estructuras radiantes tengan elevada directividad, poco peso, así como pequeño volumen para resolver problemas estéticos, movilidad y de enmascaramiento. La antena deberá presentar dimensiones generalmente, menores que la longitud de onda. Por otro lado, la multitud de servicios que coexisten fuerzan a la antena a operar en diversas bandas y en algunos casos poseer un gran ancho de banda; así como trabajar en condiciones de cambio de polaridad. Es objetivo de esta investigación determinar las características y posibilidades de esta propuesta de antena de cuadro volumétrica como una posible variante de solución.

**Desarrollo**

La antena lazo es una antena básica, de las más antiguas y útiles, ha sido estudiada ampliamente [1-3] y sigue siendo tema de investigación [4,6-8,11-18], debido a una serie de buenas cualidades como ancho de banda y directividad, la misma posee diversas formas geométricas en dependencia de su empleo. Uno de sus problemas principales es su baja ganancia y longitud efectiva, lo cual se trata de resolver mediante multiespiras y el empleo de núcleos de ferrita.

Las expresiones para las componentes del campo magnético y eléctrico:

$$H_\theta = -\frac{E_\phi}{\eta} = -\frac{akI_0 e^{-jkr}}{2r} J_1(ka\,sin\theta) \quad (1)$$

$$E_\phi = -\frac{ak\eta I_0 e^{-jkr}}{2r} J_1(ka\,sin\theta) \quad (2)$$

Dónde: a – radio de la antena, k=2$\pi$/ $\lambda$ numero de onda, $J_1$ – función de Bessel, r- distancia hasta punto de observación, $\eta$- impedancia del medio, $I_o$ – corriente uniforme.

Se clasifican en eléctricamente pequeñas, si su perímetro es menor de λ/10 la cual se aproxima a una línea corta en corto circuito y eléctricamente grandes si es del orden una longitud de onda o mayor.

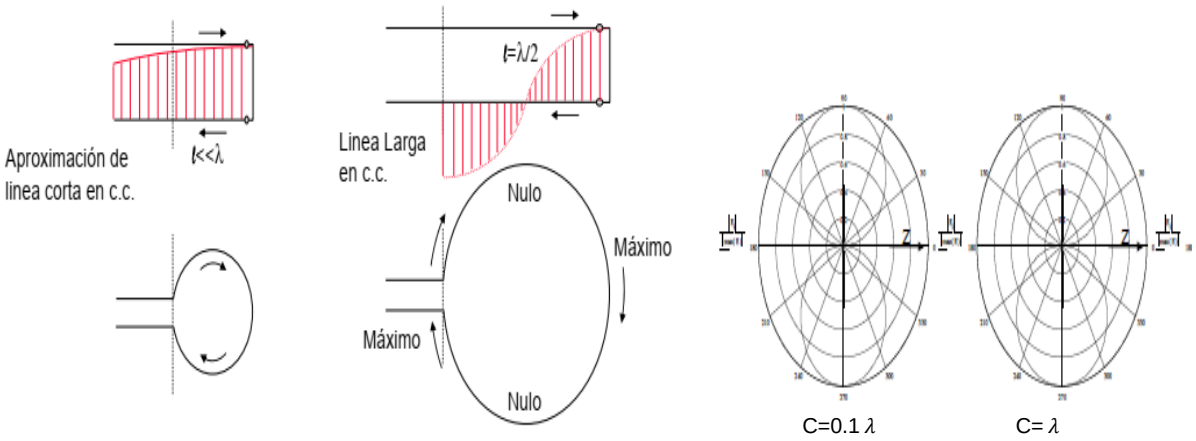



Figura 1. Antena de lazo: (a) eléctricamente corta;(b) eléctricamente larga; c) diagramas de radiación para diferentes perímetros C=0.1 $\lambda$; $\lambda$ y $\lambda/4$.

**Análisis de un lazo circular de corriente uniforme, $I_\phi = I_0$.**

Para esta investigación el caso de mayor interés es la antena eléctricamente corta por contribuir a la reducción de las dimensiones de la antena y donde se comporta como radiador elemental. La distribución de corriente 2-D para un radio de la antena $a << \lambda$ y $a = \lambda/2$, muestran en la figura 1a y b. Estas distribuciones de corriente hacen que el campo irradiado por la antena a lo largo de su eje ($\theta = 0^o$) es cero y tienen la forma mostrada en la figura1c para diferentes perímetros C; donde C mucho mayor que $\lambda$ adquiere forma multilocular careciendo de interés practico.

**Diseño y cálculo del lazo resonante**

Para el diseño de la antena de lazo primeramente se debe definir las dimensiones características de la antena como son el radio (a) y el material a emplear (b). Eléctricamente en los lazos grandes se puede asumir el criterio de que la circunferencia del lazo ($C$) es aproximadamente igual a la longitud de onda ($\lambda$) por tanto, se define $C$ como: [2, 10,16].

$$C = 2\pi a \approx \lambda \quad (3)$$

Dónde para definir $\lambda$ se trabajará con la frecuencia central o frecuencia de trabajo $f_0$ del rango de frecuencias del Canal 36 de la Televisión Digital en Cuba (602 − 608 $MHz$).

$f_0 = fmax+fmin/\ 2$ (4)

$f_0$ =602 + 608/ 2 = 605$MHz$

Por tanto:

$\lambda = c\ / f_0$= 3∗108 605∗106= 0.496 (4a)

$C = 2\pi a$ = 0.496 (5)

Luego el radio del lazo queda definido por:

$a$ = 0.496 $2\pi$ = 0.0789$m$ = 7.89$cm$ (7)

Se define para los cálculos un espesor de 1 $cm$, el radio del conductor será $b$ = 0.5 $cm$ y la conductividad $\sigma$ = 37,8 $*$ 106 $S/m$, dado que se emplea el aluminio.

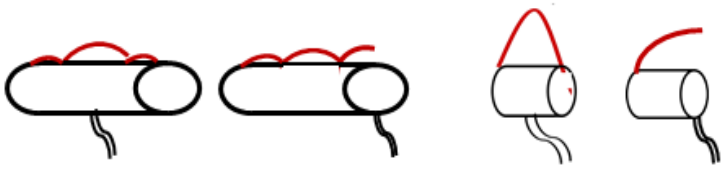
Para el cálculo de la impedancia de entrada primero se necesita calcular las resistencias de pérdidas (9) y de radiación (10), y la parte reactiva.

$R_L = a/b\sqrt{(\omega\mu_0)/2\sigma}$ =7.890.5√ (38∗10$^8$∗4$\pi$∗10$^{-7)}$ / (2∗37,8∗10$^6$)=1.25$\Omega$ (9)

$\sigma$: conductividad del material,
$\omega$: frecuencia angular,
$\mu_0$: permeabilidad en el vacío,

$Rr$ = (20$\pi^2$∗$C^4$) / $\lambda^4$= 20$\pi^2$∗ (0.0789 $*$ 2 ∗$\pi$)$^4$ / 0.4964 = 196.98 $\Omega$ (10)

Es interés de esta investigación observar la influencia que tiene en los parámetros de la antena de cuadro cuando esta adquiere forma de un volumen de radiación/recepción. Donde la distribución de cargas y corrientes serán en los tres ejes de la antena. En la figura 2. Se observan las distribuciones de corrientes en las antenas según la longitud y posición del punto de alimentación, para L= $\lambda$ y L= $\lambda$ /8.



**a)** L= $\lambda$. b**)** L= $\lambda$/8.

Figura 2. Distribucion de corrientes según punto de alimentacion.

**Diseño de experimentos.**
Para lograr resultados fiables durante los experimentos se establecen las siguientes variables:
*Variables Dependientes:*
• Impedancia de entrada
• Ganancia
• ROE
• Ancho de banda
• Diagrama direccional
*Variables Dependientes:*
• Longitud del cono L**:** $\lambda$,/2, $\lambda$/4, $\lambda$/8 y $\lambda$, variación lineal de la longitud.
• Espesor del conductor $\delta$**:** 0.1mm y 1 cm.
• Punto de alimentación: variando desde extremo frontal hasta el centro.

**Simulación, análisis y resultados**

El software que se empleará será el CST MICROWAVE Studio 2017. Dicho software es un paquete totalmente destacado para el análisis y diseño electromagnético. Se utilizara las soluciones en el dominio del tiempo pues ofrecen la mayor flexibilidad de simulación, y obtener todo el comportamiento en frecuencia del dispositivo simulado, desde una única ejecución de cálculo. El método de análisis numérico empleado principalmente por el simulador CST es el Método de Diferencias Finitas en el dominio del tiempo (FDTD).

Utilizando la siguiente corrección demostraremos la dependencia que tiene la frecuencia y longitud de resonancia con el espesor del conductor a utilizar [11]. El factor F se puede calcular

$$F = 1 + 0.4/\alpha + 3.0/\alpha^2 \quad (11)$$

$$\alpha = 2ln\,(2.54\,C/\,\delta) \quad (12)$$

Donde $\alpha$ es un coeficiente que *depende de C* la circunferencia del lazo y $\delta$ es el espesor del mismo. La longitud de onda de resonancia está dada por $F\lambda$, siendo $\lambda$ la longitud de onda inicial de los cálculos sin tener en cuenta el grosor del conductor de la antena. No obstante quedan por investigar la influencia del volumen y otras variables.

**Simulaciones en CST.**

Como se observa en la simulación, la ganancia del lazo está en los 3.7 $dBi$, típico para este tipo de antenas y supera la del dipolo de media onda, siendo esta de 2.1 $dBi$. El ancho de banda es de 168 $MHz$ (550 $MHz$ − 718 $MHz$) comprendiendo el rango de frecuencias del canal 36 de TVD, y la impedancia de entrada obtenida fue de 139+ $j$4 Ω

Tabla 1. Influencia del grosor y la separación de los bornes de alimentación (garp) del lazo simple.

| Datos | | | Simulación | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F (MHz) | Garp (cm) | Grosor (cm) | Ganancia (dB) | Zin R(Ω) | Zin I(Ω) | ROE | BW (-10dB) |
| 605 | 1 | 1 | 3,59 | 119 | -35 | 1,45 | 571-756 (185) |
| 605 | 2 | 1 | 3,7 | 139 | 4 | 1,16 | 550-718 (168) |
| 605 | 2 | 0.1 | 1,9 | 258 | -1552 | 49,54 | 455-462 (7) |

**Simulación del lazo volumétrico.**

Se realizaron simulaciones variando el largo de la antena *L = λ/8, λ/4, λ/2 y λ*, para obtener diferentes volúmenes y poder analizar los efectos provocados en ella.

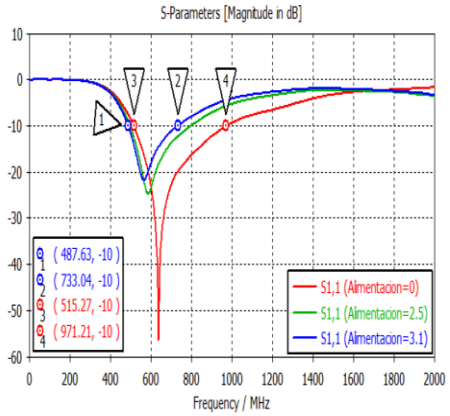
**Lazo de longitud, $L = \lambda/8$: *(ver tabla2 y figura5).***

Al igual que en el lazo simple se utilizaron dos grosores para los experimentos uno de 1 cm y otro de 0.1 cm. Se aprecia un ligero incremento de la G al aumentar el grosor del conductor, una disminución de la Zint. Los resultados obtenidos en ambos casos fueron similares con respecto al lazo original exceptuando en la impedancia de entrada de las antenas, la cual disminuye, llegando a valores de 70…80 Ω manteniendo la resonancia y permitiendo la posibilidad del uso de líneas de transmisión convencionales como el cable coaxial de 75 Ω. Además de ser más pequeña, otra ventaja de la antena de *L =λ/8,* es que para ambos grosores tiene mayor ancho de banda que la de *L=λ/4*. Otro aspecto de interés es que las antenas con L= *λ/2 y λ* adquieren cualidades multifrecuenciales, muy útil en determinados sistemas.

***Variación del punto de alimentación a lo largo de la antena (ver tabla2 y figura5).***
Se pudo apreciar que los parámetros ganancia, ancho de banda y directividad de la antena sufren variaciones según la posición del punto de alimentación. Lo cual es útil en dependencia de la aplicación en la que se requiera. Se desplazaron los puntos de alimentación de la antena desde el centro (x=0) hasta la parte frontal de la antena (x=L) omitiendo el punto en la posición trasera de la antena ya que tiene los mismos resultados que en la posición delantera, pero radiando en sentido contrario. Una interesante cualidad que no posee el cuadro simple, es decir se convierte en directiva.

**Tabla 2. Parámetros de las antenas para diferentes longitudes y grosores.**

| Datos | Simulación | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Grosor 1cm | | | | |
| Largo (cm) | Ganancia (dB) | Zin R(Ω) | Zin I(Ω) | ROE | BW (-10dB) (MHz) |
| λ/8=6.2 | 3,61 | 70 | 18 | 1,12 | 487-733 (246) |
| λ/4=12,4 | 3,63 | 43 | 103 | 5 | 1245-1402 (157) |
| λ/2=24,8 | 4,54 | 221 | -126 | 1,72 | 576-645//1253-1146//1670-1925 |
| λ=49,6 | 4,42 | 362 | -75 | 1,34 | 215-229//580-624//860-920//1160-1225//1435-1510//1715-1805 |
| | Grosor 0.1 cm | | | | |
| Largo | Ganancia (dB) | Zin R(Ω) | Zin I(Ω) | ROE | BW (-10dB) |
| λ/8=6.2 | 3,15 | 78 | 26 | 1,38 | 505-675 (170) |
| λ/4=12,4 | 3,6 | 57 | 123 | 4,6 | 1285-1460 (175) |
| λ/2=24,8 | 4,7 | 342 | -196 | 1,75 | 580-630//1270-1155//1600-2100 |
| λ=49,6 | 4,57 | 565 | 40 | 1,06 | 230-250//366-378//590-620//1170-1215//1445-1500//1720-1790 |



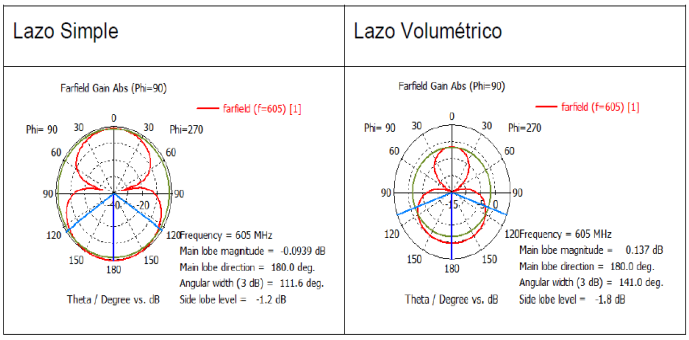




Figura 5: Influencia del punto de alimentación en a) perdidas de retorno; b) característica direccional

Como se aprecia en las tablas 1, 2 y la figura 5, esta antena adquiere nuevas cualidades que no posee el cuadro simple. Se evidencia que sus parámetros eléctricos pueden ser modificados y adecuados a conveniencia al variar sus dimensiones y posición del punto de alimentación. La alimentación en la parte delantera es similar a la presencia de un reflector, aspecto muy interesante y útil.

**Lazo volumétrico con reflector**

En esta sección le añadimos un reflector cuadrado de 18x18 cm a las antenas para mejorar su calidad y disminuir el lóbulo trasero en el patrón de radiación.

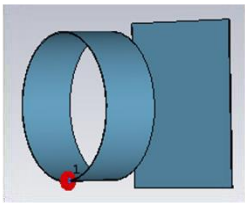


Figura 7. Lazo volumétrico de L = λ/8, y λ con reflector

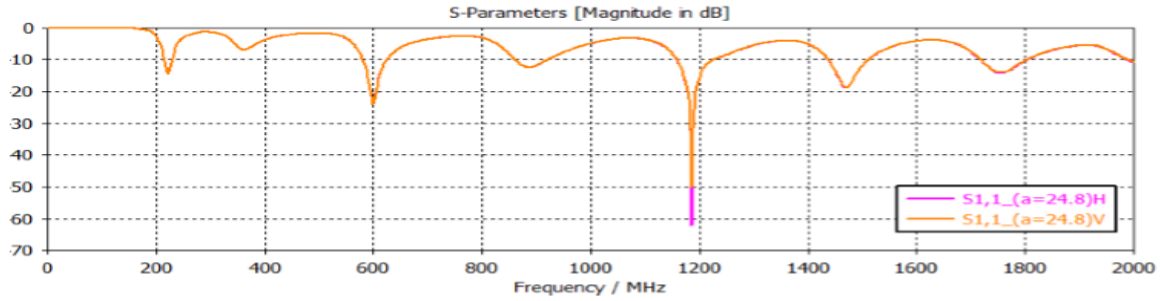
Una cualidad destacada del lazo L=λ/8, es que tiene un ancho de banda de 36% respecto a la frecuencia central; mayor que el lazo simple y que una Yagui de tres elementos que es de solo 4%, además posee una ganancia de 6,6 dB, cercano al valor de la Yagui antes mencionada.

Tabla 3.Comparación de las antenas de lazo volumétrica con otros tipos de antenas.

| Antenas | G(dBi) | Zent | Ancho de banda | ROE | Grosor del conductor |
|---|---|---|---|---|---|
| Lazo circular | *3.7* | *139+j4* | *28% 168 MHz* | *1.16* | *1cm* |
| Lazo volumétrico L = λ/4 | *3.63* | *43+j103* | *26% 157MHz* | *5* | *1cm* |
| Lazo volumétrico L = λ/8 | *3.61* | *70+j18* | *40.6% 246MHz* | *1.12* | *1cm* |
| Lazo volumétrico con reflector L = λ/8 | *6.6* | *120+j60* | *36% 218MHz* | *1.6* | *1cm* |
| Lazo volumétrico con reflector L = λ | *5.6* | *335-j28* | *55% 333MHz* | *1.15* | *1cm* |
| Yagui de 3 elementos | *7.1* | *22.3+j15* | *4% FC* | | |
| Yagui de 4 elementos | *10* | *25.8+j23.2* | *5% FC* | | |

Posee la ventaja de trabajar con similares parámetros tanto en polarización vertical como horizontal como lo muestra la siguiente figura 8, sin necesidad de complejos dispositivos de conmutación como se aborda en [15].Aquí se combinan cualidades de una antena de cuadro y de dipolo en una sola

estructura, a diferencia de diseños como el mostrado en [18].Lo cual es de gran utilidad en diversos sistemas radiotécnicos.

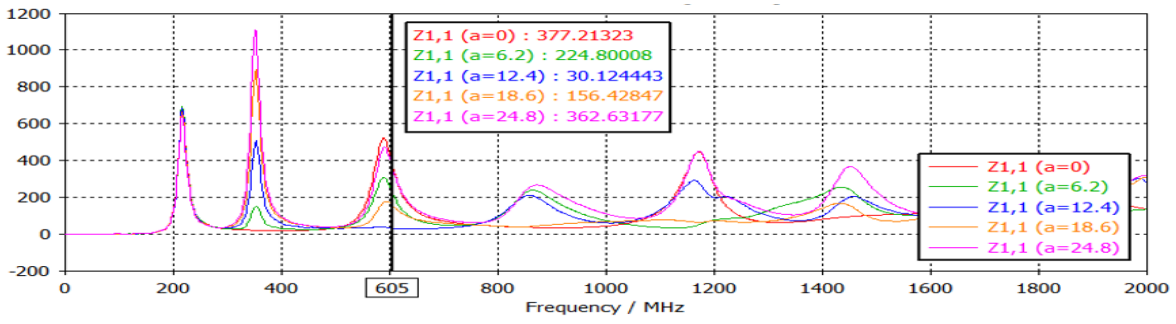



**a)**

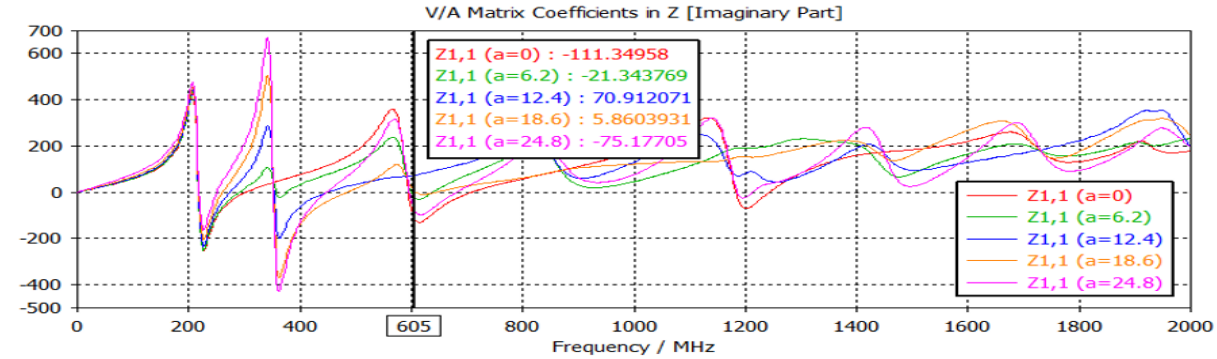
Figura 8: Graficas de la antena $L = \lambda$ en posición horizontal y vertical: (a) parámetro S11,

Como se aprecia en figura 8, existen submúltiplos de la frecuencia de diseño 605MHz, con altos niveles de impedancia de entrada y ROE bajos que pudieran emplearse en el diseño de antenas más pequeñas que empleen la frecuencia de trabajo como un submúltiplo.

Estos parámetros varían también con el punto de alimentación, por ejemplo, la impedancia puede disminuir hasta los 30 Ω y su parte reactiva hasta los 5 Ω.




a




b

Figura 9. Variaciones de la impedancia de entrada con respecto a la posición del punto de alimentación en la antena de 1 cm de grosor. (a) Parte real (b) Parte imaginaria.

**Implementación práctica de la antena volumétrica.**

Tabla 4. Características de las antenas volumétricas experimentadas con la televisión digital a 605 MHZ.

| Variante de antena | *C, cm* | *L, cm* | *C/λ* | *L/λ* | Calidad de la señal | Nivel de la señal |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *50* | *23* | *1* | *0,5 (λ/2)* | *100* | *48* |
| *2* | *25* | *6* | *0,5* | *0,12 (λ/8)* | *100* | *47* |
| *3* | *19* | *9* | *0,38* | *0,18 (λ/5)* | *100* | *47* |

Para la validación experimental se empleó el analizador de redes Keysight Technologies N9917A, el cual permite determinar las pérdidas de retorno en dB y el ROE en forma de imagen y en datos.

Para ello se realizó el análisis del comportamiento de la antena en los diferentes punto de alimentación de la antena volumétrica con longitud *λ*/8, la cual de acuerdo con los simulaciones mostro varias características de interés y que se confirman en los experimentos

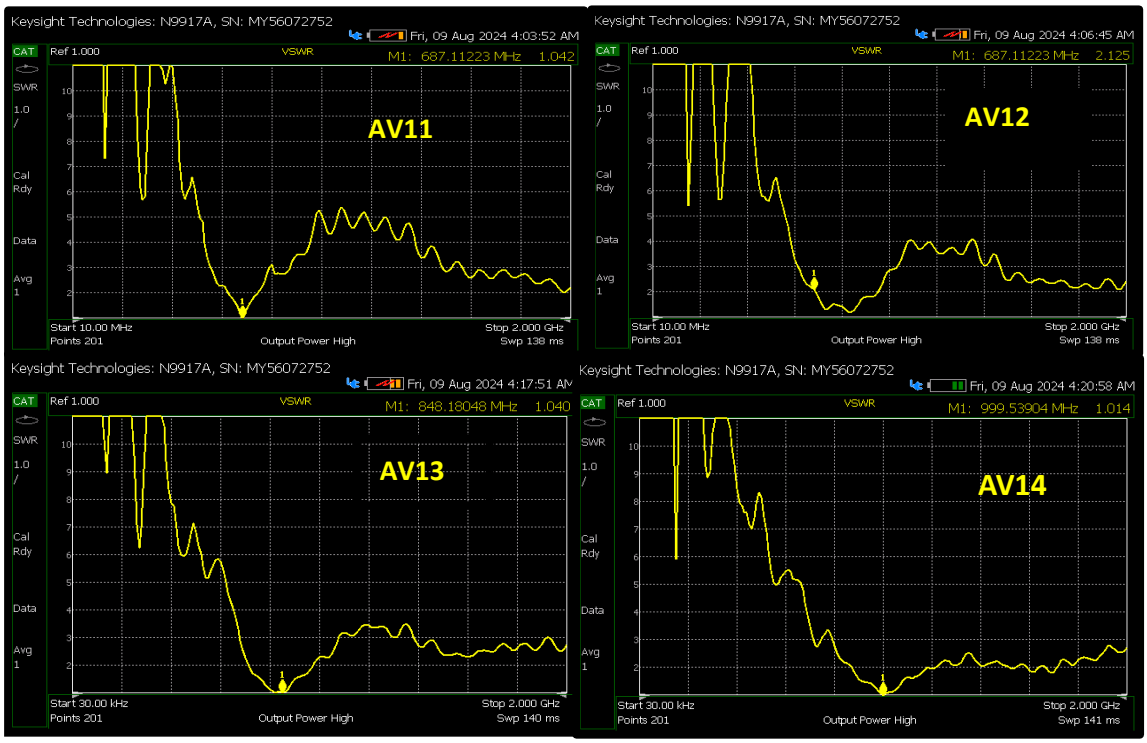



Figura 10. ROE de las antenas volumétricas variando el punto de alimentación desde el extremo exterior AV11 hasta el centro AV14.

Como se aprecia en la figura 10, en la medida que el punto de alimentación se acerca al centro se incrementa la frecuencia de resonancia de la antena y se incrementa el ancho de banda, lo

cual está asociado a la variación de la impedancia de la antena, como se aprecia en la tabla 2 y figura 5. Estas características se evidencian también en las diferencias perdidas de retorno entre la alimentación en el extremo y centro, como se observa en las figuras 11

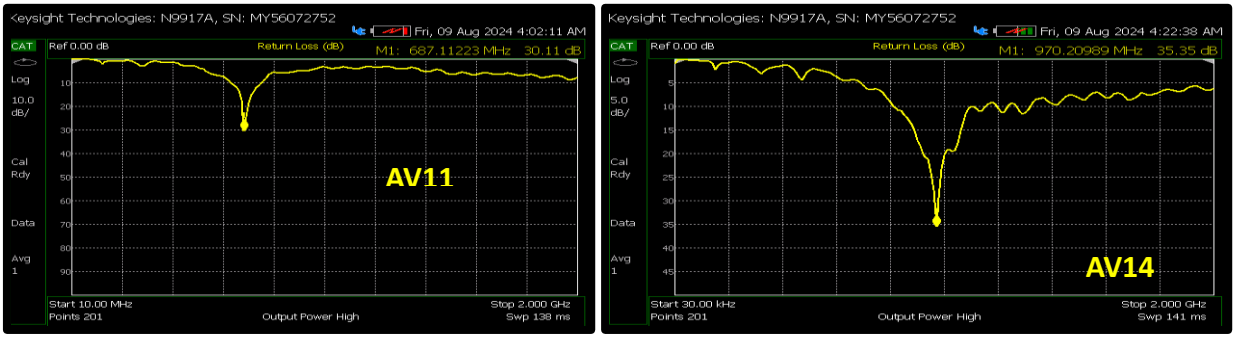
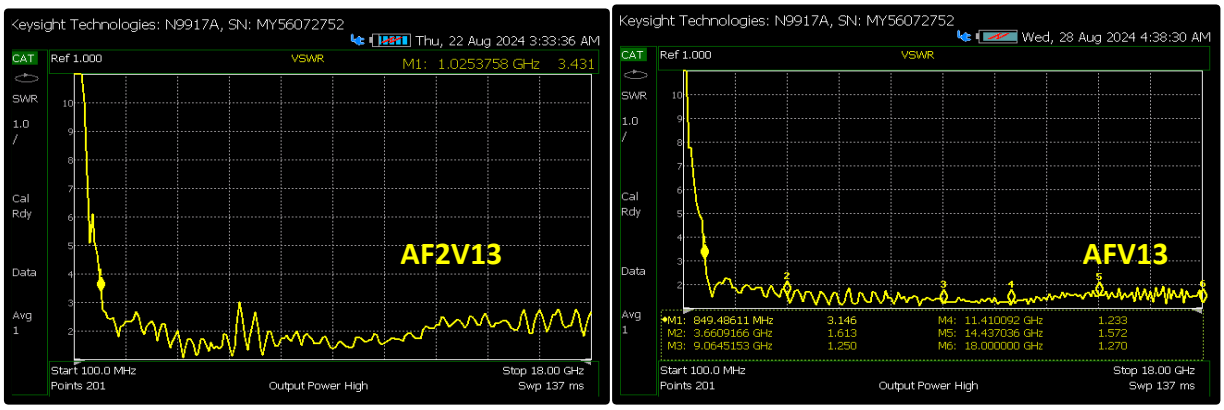



Figura 11. Perdidas de retorno de la antena volumétrica con alimentación en el extremo AV11 y en el centro AV14 (ver simulación con CST, fig.5).

Otra forma de incrementar el ancho de banda es el empleo de la geometría fractal, para lo cual se emplearon tres antenas volumétricas, con perímetros C1=43, C2=28 y C3=16 cm respectivamente con separación de puntos de alimentación con 2cm, ver figura 12 y fotos; con una variante AF2V13 donde la antena con C2 tiene un largo L=3cm y las demás L=6 cm; la otra variante AFV13 posee todos los largos iguales a L=6cm. Todas alimentadas en un punto ubicado en el eje longitudinal a 1cm del centro (punto 3).




**a)** **b)**

Figura 12, Antena fractal volumétrica de tres iteraciones: a) Variante AF2V13 donde la antena ajustada a la frecuencia central tiene un largo de 3cm y las demás 6 cm b); la otra variante AFV13 posee todos los largos iguales a 6cm.

a)  b) 

Figura 13.Antenas de banda ancha: a) con variación lineal del volumen, b) con geometría fractal.

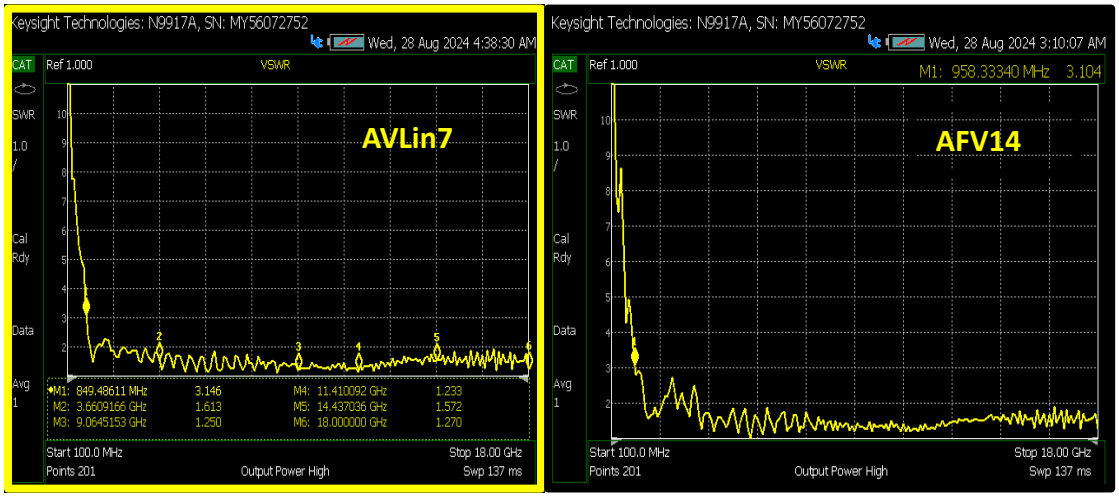



Figura 14. Comparación de antena fractal volumétrica AVF14 y antena volumétrica con variación lineal de la longitud L de 1 y 3cm, AVLin7; todas alimentadas en el punto central longitudinal.

Teniendo en cuenta que la longitud del cono influye en el ancho de banda de la antena volumétrica se experimentó una antena de perímetro C=27cm y con variación lineal de la longitud L de 1 a 3cm, AVLin7; alimentada en el punto central. Lo cual permitió observar la influencia de la variación de la longitud en las características frecuenciales de la antena. Se aprecia que tiene un efecto similar al de una antena fractal.

Las antenas fractales AFV 13 y AFV14 y la AVLin7 presentan características similares en cuanto a ancho de banda desde cerca de 1GHz hasta los 18 GHz.



Figura 15. Imágenes de las tres variantes de antenas y las características de las señales en el televisor.

Estas pruebas preliminares se prevé continuarlas en una cámara anecoica, para obtener una valoración cualitativa y cuantitativa del comportamiento real de dichas antenas.

La posición mostrada de la antena es la mejor desde el punto de vista de su orientación ya que posee carácter adireccional.

**Conclusiones**

- Como resultado de la investigación se pudo constatar que las antenas de lazo volumétricas presentan características interesantes desde el punto de vista de la ganancia, múltiples frecuencias de resonancias y un ancho de banda superior respecto al lazo simple y las antenas Yagui de 3 elementos.
- Permiten reducir sus dimensiones con similares ganancias que los cuadros resonantes cuando se emplea el concepto volumen de radiación/recepción.
- Pueden tener múltiples aplicaciones en sistemas civiles y militares.
- Las variantes de lazos pequeños y longitud $L=\lambda/8$ y $C=0.5\ \lambda$ deben ser priorizadas en el empleo debido a sus pequeñas dimensiones y buenas características.
- Se deben continuar las investigaciones con los modelos físicos matemáticos, con otras configuraciones, incluida los fractales; empleo de ranuras en la superficie para variar su impedancia, su empleo en sistemas de antenas etc.

Con este trabajo se lograron cumplir satisfactoriamente los objetivos parciales de la investigación relacionada con la antena de lazo volumétrica.

**Bibliografía**

[1] J. D. Kraus, «Antennas», 1988.

[2] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 318. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2016.

[3] J. Anguera y A. Pérez, Teoría de antenas. Guía de estudio. 2008.

[4] F. Bong, E. Lim, y F. Lo, «Compact Folded Dipole With Embedded Matching Loop for Universal Tag Applications», 2017.

[5] Eddy Pérez Rodríguez y Juan J. Justo Morales, «Antena Activa Interior: Una Alternativa Para La Televisión Digital en Cuba», Revista Telemática, vol. 16, n.o 1, pp. 40-53, 2016.

[6] John J. Borchardt, «Loop Antennas for Use On/Off Ground Planes», IEEE, 2020.
[7] I. P. Ako, I. E. Achumba, y C. K. Agubor, «A Study of the Radiation Characteristics of a Circular Loop Antenna Using Genetic Algorithm Technique», International Journal of Applied Engineering Research, vol. 14, n.o 7, pp. 1499-1504, 2019.

[8] Martín Javier Martínez Silva, María Susana Ruiz Palacios, y Gustavo Adolfo Vega Gómez, «Antenas de lazo planas resonantes con cancelación de reactancia», vol. 7, 2020.

[9] N. Inagaki y T. Sekiguchi, «An Investigation of the Array of Circular-Loop Antennas».

[10] Luis Aleman.H, «Nuevo Modelo de Antena FME (TV)», 1967.

[11] S. Adachi y Y. Muchiake, «Studies of large circular loop antennas», 1952.

[12] H.-D. Chen, C.-Y.-D.Sim, C.-H. Tsai, y C. Kuo, «Compact Circularly Polarized Meandered-Loop Antenna for UHF-Band RFID Tag», IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 15, pp. 1602-1605, 2016, doi: 10.1109/LAWP.2016.2518215.

[13] П. В. Холод, Л. А. Варяниця-Рощупкіна, Т. М. Огурцова. E-mail: PavloKh@ukr.net "Электрически большая рамочная антенна для приема сверхширокополосных импульсных полей"ISSN 1028−821X. Радіофізика та електроніка.Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины 2017. Т. 22. № 2 2017.

[14] Кеда В.В.Новая конструкция рамочной антенны. *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.* ew1bbe@mail.ru.ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН Conferencia23-25 ноября 2016 г.

[15] Ю.Ю. Бобков, И.С. Садовский, О.А. Юрцев, В.В. Кеда. Рамочная антенна с переключаемой поляризацией. ОАО «КБ Радар» - управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», г.Минск. 2015.

[16] F. Rozi y U. Khayam, «Design of circle shaped loop antenna as partial discharge sensor», en 2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS), 2014, pp. 349-352.

[17] Rahul Sharma, P.K. Singhal. Loop Antenna and Rectifier Design for RF Energy Harvesting at900MHz.International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET),www.irjet.net, e-ISSN: 2395-0056.Volume: 02 Issue: 04 | July-2015.

[18] Ying Chena, Wen-Jun Lua, Lei Zhub. Square loop antenna under even-mode operation: modelling,validation and implementation. International Journal of Electronics, Vol. 104, No. 2, 271–285. 2017

**Sobre los autores**

Dr.CT Alexis Manuel CristoboBrooks:ProfesorTitular. Graduado en Academia de Ingeniería de Aviación "NicolaiEgorovichZhukovski" año 1988 y Dr CT en Instituto Técnico Militar "José Martí" en 2014. Actualmente Vice Decano Docente de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de LaHabana "José Antonio Echeverría", CUJAE, La Habana, Cuba

Ing. Claudia Arrieta Castellanos**:** Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, graduada en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, en enero de 2022. Actualmente realizando el Servicio Social en ETECSA como adiestrada en la Vicepresidencia de Inversiones de la entidad, específicamente en el departamento de Servicios, Control y Acceso de gestión de inversiones.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DETECCIÓN DE RADAR EN EL ESPACIO DE LOS MOMENTOS DE LA SUPERFICIE EFECTIVA DE DISPERSIÓN: APLICACIÓN A BLANCOS MARITIMOS DE BAJA OBSERVACIÓN

**Nelson Chávez Ferry[1], Camilo Guillén Soriano[2], Jesus de la C. Bacallao Vidal[3], Hugo R. Rodríguez Rodríguez[4], Susana García García[5]**

[1] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[2] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[3] Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
[4]Instituto Técnico Militar "José Martí"
[5] DTS - MININT
[1] nelson@tele.cujae.edu-cu
[2] camilo.gs@tele.cujae.edu.cu
[3] bacallao@tele.cujae.edu.cu
[4]hurirodriguez81@gmail.com
[5]sgarciagggg1234@gmail.com

**RESUMEN**

El presente artículo propone la aplicación del método de detección en el espacio de los momentos de los parámetros de la señal dispersada por el blanco (DEMPS), al caso de blancos marítimos puntuales de baja observación. El parámetro seleccionado es la superficie efectiva de dispersión (SED) correspondiente a la célula resolutiva observada, ya sea fondo o anomalía la clase a la que pertenezca. A partir de: un fondo simulado, válido para un conjunto de células resolutivas por distancia, de un ángulo rasante comprendido entre $0{,}1^0$ y $0{,}4^0$ , de elevados estados del mar y un radar naval estándar tomado como base, se presenta la característica de detección para dos momentos de la SED, el de primer orden y el de segundo orden de auto correlación. Las probabilidades de detección, obtenidas de la simulación realizada, dadas de forma tabulada para valores muy pequeños de la SED del blanco puntual y relaciones señal a (clutter + ruido) inferiores a – 10 dB, muestran el elevado poder de detección del método aplicado, compitiendo o superando los resultados de otros métodos actuales de detección de blancos marítimos de baja observación.

**PALABRAS CLAVES:** Blanco marítimo de baja observación, detección en el espacio de los momentos de los parámetros de la señal, ángulo rasante, relación anomalía a fondo, célula resolutiva, probabilidad de detección.

## DETECTION IN THE MOMENTS SPACE OF RADAR CROSS SECTION: APPLICATION TO LOW OBSERVABLE MARITIME TARGETS

**ABSTRACT**

In this paper, the method of detection in the moments space of the parameters of the signal scattered by the target (DMSSP), is proposed to be applied to point maritime low observable targets. The selected parameter is the radar cross section corresponding to the observed resolution cell, whether it belongs to the class background or to the class anomaly. Starting from: a simulated background, valid for a set of distance resolution cells, corresponding to values of the grazing angle between $0.1^0$ and $4^0$, high sea estates and a standard naval radar as a base, is presented the detection characteristic for two moments of the RCS, the first order moment and the second order moment of autocorrelation. The detection probabilities, obtained from the simulation carried out and given in tabulated form for very small RCS of the point target values and signal to (clutter + noise) ratios less than –10 dB, show the high detection power of the applied method, competing or surpassing, in terms of detection quality, other current methods for detecting low – observable maritime targets.

**KEY WORDS:** Low observable maritime target, detection in the moments space of the signal parameters, grazing angle, anomaly to background ratio, resolution cell, detection probability.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia de las aguas territoriales es una tarea de primera importancia para todo país con costas, destacándose como sensor de primer orden, el radar de costa, cuya tecnología y prestaciones se desarrollan de forma continua. Los blancos de radar, de interés para la vigilancia costera, están comprendidos en una amplia gama: objetos flotando en la superficie marina, embarcaciones de diferentes portes, aeronaves de pequeño tamaño, aparatos volantes no tripulados y poluciones de diferente naturaleza. El omnipresente clutter marino es un factor enmascarador en la detección por radar de los blancos de superficie y a baja altura sobre ella, en particular en el caso de los denominados blancos de bajo nivel de observación, caracterizados por valores muy pequeños de su superficie efectiva de dispersión (SED), que dan lugar a bajos niveles de la relación señal a interferencia a la salida del detector del radar de que se trate, con pequeños valores de la probabilidad de detección. En la predicción de la cobertura de radar entran en consideración factores técnicos del radar empleado, factores relacionados con el entorno, como es el caso de la topografía del terreno donde se encuentre ubicado el radar, así como las características del clutter marino y del estado del mar. Abundan, en la literatura científica dedicada al radar, publicaciones que tratan el problema de la predicción o cálculo de la cobertura de radar para blancos marítimos o a baja altura sobre la superficie del mar, en particular blancos de baja observación: excelentes libros, como, en opinión del autor, los referidos en [1], [2], [3], así como recientes artículos como los citados en [4], [5], [6], empleándose para ello alguno de los métodos conocidos para la detección del blanco, los cuales, en general, están basados en el procesamiento de algunos de los parámetros de la señal dispersada, a los que en lo adelante se hará referencia por detección en el espacio de los parámetros (DEP). El presente artículo muestra los resultados de la investigación que se desarrolla en el Grupo de Radar de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (UTH), enfocada en la predicción de la cobertura de radar, en el caso de que la detección se realice mediante procesamiento y toma de la decisión a partir de un número determinado de momentos de los parámetros seleccionados de la señal dispersada, al que se hará referencia en lo adelante como detección en el espacio de los momentos de los parámetros de la señal (DEMPS), dándose los fundamentos de este método en las tesis doctorales citadas en [7], [8], [9], [10] y en lo publicado en [11], [12], así como una generalización de él en las tesis de maestría y doctoral dadas, respectivamente, en [13], [14], considerando aspectos específicos del método en [15], [16], [17]. En publicaciones anteriores, relativas al método DEMPS, se toma como parámetro la amplitud de la señal dispersada por el blanco; en el presente artículo el parámetro considerado del blanco es su superficie efectiva de dispersión (SED), lo que vincula de manera más estrecha este método a las propiedades dispersoras del blanco. La aplicación presentada en este trabajo, al caso de blancos navales y a baja altura sobre la superficie marina, considera como fondo al clutter marino más el ruido interno de la etapa receptora del radar, el cual está relacionado con la superficie efectiva de dispersión normalizada de la superficie del mar y con el estado de éste y los parámetros del radar iluminador. El interés fundamental está dirigido a la detección de blancos puntuales de bajo nivel de observación en presencia del clutter marino y de perturbaciones locales de la superficie del mar, ya que es para esos tipos de blancos donde el método DEMPS puede competir o es superior a los métodos basados en DEP. Se presenta una simulación, tomando como base un radar naval estándar y blancos de muy pequeña SED, cuyos resultados demuestran el elevado poder de detección del método DEMPS, lo que permite compararlo, satisfactoriamente, con métodos basados en DEP.

## 2. SÍNTESIS DEL MÉTODO DEMPS

El método de detección DEMPS pertenece a los detectores de relación de verosimilitud, empleando como variables aleatorias los momentos de los parámetros de la señal dispersada por el blanco, los cuales, cuando el tamaño *M* de la muestra del parámetro seleccionado es suficientemente grande, adoptan una distribución normal. Este método de detección parte de una clasificación inicial en dos clases: fondo y anomalía, permitiendo la subdivisión de la clase anomalía en subclases. Cualquiera que sea el proceso que se analice, ya sea fondo o anomalía, los momentos tendrán la distribución normal, por lo que este método de detección es paramétrico y no tiene en cuenta, para la detección, la distribución del parámetro seleccionado. Para un vector de *N* momentos: $\mu = m_1,\ldots,m_N$, la relación de verosimilitud $\Lambda(m_1,\ldots,m_N)$ se expresa, cuando se considera el caso general de correlación entre los momentos [14], por

$$\Lambda(\boldsymbol{\mu}) = \frac{|\boldsymbol{\Sigma}_F|^{1/2}}{|\boldsymbol{\Sigma}_A|^{1/2}} \exp\left\{\frac{1}{2}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_F)\boldsymbol{\Sigma}_F^{-1}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_F)^T - \frac{1}{2}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_A)\boldsymbol{\Sigma}_A^{-1}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_A)^T\right\} \quad (1)$$

siendo, la estadística de detección

$$Z = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_F)\boldsymbol{\Sigma}_F^{-1}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_F)^T - \frac{1}{2}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_A)\boldsymbol{\Sigma}_A^{-1}(\boldsymbol{\mu}-\bar{\boldsymbol{\mu}}_A)^T \quad (2)$$

donde, la matriz de covarianza del vector de momentos para la clase *c*, ya sea esta fondo (F) o anomalía (A), su determinante y la matriz inversa son, respectivamente

$$\sum_c,\ |\sum_c|,\ \sum_c^{-1} \quad (3)$$

Cuando los momentos se asumen no correlacionados [7], [11], caso particular de (1) y (2) que será el considerado en este artículo, las expresiones matemáticas son las siguientes

$$\Lambda(m_1,\ldots,m_N) = \left(\prod_{i=1}^{N}\frac{\sigma_i^F}{\sigma_i^A}\right) exp \sum_{i=1}^{N} y_i(m_i) \quad (4)$$

donde

$$y_i = a_i m_i^2 + b_i m_i + c_i \quad (5)$$

$$a_i = \frac{1}{2\left(\sigma_i^F\right)^2}\left(1-\frac{1}{\varsigma_i^2}\right) \quad (6)$$

$$b_i = \eta_i\left[\frac{\gamma_i}{\varsigma_i}-1\right] \quad (7)$$

$$c = \frac{1}{2}\eta_i\left[1-\frac{\gamma_i^2}{\varsigma_i}\right] \quad (8)$$

$m_i^{F,P}, m_i^{A,P}$ -------- Valores medios poblacionales de los momentos de orden *i*

$V_{Fi} = \left(\sigma_i^{FP}\right)^2,\ V_{Ai} = \left(\sigma_i^{AP}\right)^2$ -------- Varianzas poblacionales de los momentos de orden *i*

$(A/F)_{m_i} = \gamma_i = \frac{m_i^{A,P}}{m_i^{F,P}}$ ---------- Relación anomalía a fondo de las medias poblacionales de los momentos de orden *i*, *i* =1, 2

$(A/F)_{\sigma_i^2} = \varsigma_i = \frac{V_{Ai}}{V_{Fi}}$ ---------- Relación anomalía a fondo de las varianzas poblacionales de los momentos de orden *i*, *i* =1, 2

$\eta_i = \frac{\left(m_i^{FP}\right)^2}{\left(\sigma_i^{FP}\right)^2}$ ---------- Relación entre el cuadrado del momento poblacional de orden *i* del fondo y la varianza correspondiente.

La estadística suficiente de detección será

$$z = \sum_{i=1}^{N} y_i \tag{9}$$

ya que, $z$ es monótona creciente de $\Lambda(m_1,\ldots,m_N)$, como puede verse de (1).
De (2), (3), (4) y (5) se tiene, para (9) la expresión

$$z = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{2V_{Fi}} \left\{ \left(1 - \frac{1}{\zeta_i}\right) m_i^2 + \left(m_i^{FP}\right)^2 \left[ 2\left(\frac{\gamma_i}{\zeta_i} - 1\right) m_i + \left(1 - \frac{\gamma_i}{\zeta_i}\right)^2 \right] \right\} \tag{10}$$

Para un fondo dado, así como para los momentos seleccionados del parámetro considerado de la señal y el criterio de optimización seguido, se determina, para el valor exigido de la probabilidad de falsa alarma $P_{F,}$ el umbral de detección, con el cual se compara la estadística de decisión suficiente Z, lográndose la característica que permite obtener la probabilidad de detección $P_D$ para las relaciones anomalía - fondo $\gamma_i$ y $\zeta_i$, siendo esta característica, en general, una hipersuperficie de 2$N$ dimensiones.

## 3. MOMENTOS SELECCIONADOS DE LA SUPERFICIE EFECTIVA DE DISPERSIÓN DEL BLANCO Y LAS CORRESPONDIENTES RELACIONES ANOMALÍA - FONDO

Al hacer referencia al término anomalía se considerarán dos tipos: a) El caso general: anomalía del Tipo I, correspondiente a la contribución integral de los factores presentes en el espacio de la superficie del mar ocupado por la célula resolutiva que se investiga, que contribuyen a la dispersión de las ondas de radio; b) Anomalía del Tipo II : anomalía correspondiente a la dispersión de las ondas de radio provocada por la acción conjunta del fondo y de un blanco puntual presente en la célula investigada.
La detección se realizará en el espacio formado por dos momentos de la SED, ambos asociados a dos propiedades del blanco de radar de gran interés práctico en su caracterización, el momento de primer orden, asociado a su valor medio y el momento de auto correlación ( momento de segundo orden), asociado a su nivel de fluctuación y a la dispersión de sus valores.

**Anomalía del tipo I**

Este tipo de anomalía representa las perturbaciones que pueden ocurrir en una célula resolutiva de la superficie del mar o en un conjunto de ellas dentro de una región determinada, debidas, generalmente, a fenómenos hidrometeorológicos, existiendo publicaciones que abordan el problema, por ejemplo, [18], La potencia $P_{Ae}$ de una anomalía a la entrada de la antena, en función de las potencias $P_a$ y $P_n$, correspondientes, respectivamente, a la potencia a la entrada de la antena debido a la emisión secundaria en retro dispersión de la célula resolutiva iluminada por el radar y al ruido interno del receptor, está dada por

$$\begin{aligned} P_{Ae} &= P_a + P_n \\ &= K_1 \sigma_{0a} + K_1 \left(\frac{P_n}{K_1}\right) \\ &= K_1 \left(\sigma_{0a} + \sigma_{0n}\right) \\ &= K_1 \sigma_{0A} \\ \left\langle P_{Ae} \right\rangle &= K_1 \left\langle \sigma_{0A} \right\rangle \end{aligned} \tag{11}$$

De manera análoga, para una potencia $P_{Fe}$ , a la entrada de la antena, correspondiente a la célula resolutiva si estuviese ocupada solamente por el fondo, se tendrá

$$\begin{aligned} P_{Fe} &= P_c + P_n \\ &= K_1\,\sigma_{0c} + K_1\left(\frac{P_n}{K_1}\right) \\ &= K_1\left(\sigma_{0c} + \sigma_{0n}\right) \\ &= K_1\,\sigma_{0F} \\ \left\langle P_{Fe}\right\rangle &= K_1\left\langle \sigma_{0F}\right\rangle \end{aligned} \tag{12}$$

donde

$\sigma_{0a}$ : SED del blanco constituido por el medio que ocupa la célula resolutiva iluminada donde tiene lugar una anomalía.

$\sigma_{0c}$ : SED del blanco constituido por el medio que ocupa la célula resolutiva iluminada, cuando este es el fondo.

$\sigma_{0n} = \dfrac{P_n}{K_1}$: SED equivalente de ruido.

$\sigma_{0A} = \sigma_{0a} + \sigma_{0n}$ : SED de la anomalía.

$\sigma_{0F}$ : SED del fondo.

$K_1$ : Constante para un radar y una distancia al blanco dadas [1], expresada por

$$K_1 = \frac{P_t\,G^2\,\lambda^2}{(4\pi)^3\,R^4\,L} \tag{13}$$

Al ser la SED el parámetro considerado, las correspondientes relaciones anomalía a fondo, para los dos momentos seleccionados serán: $\gamma_1, \gamma_{11} = \gamma_2, \varsigma_1, \varsigma_{11} = \varsigma_2$.

Sentado esto se tendrá, para $(A/F)_{m_1}$

$$\gamma_1 = \frac{\left\langle \sigma_{0A}\right\rangle}{\left\langle \sigma_{0F}\right\rangle} = \frac{\left\langle \sigma_{0a}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle}{\left\langle \sigma_{0c}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle} \tag{14}$$

para $(A/F)_{m_{11}}$

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \frac{m_{11}^{A,P}}{m_{11}^{F,P}} \\ &= \frac{\rho_A\,V_{A11}^{*} + \left\langle P_A\right\rangle^2}{\rho_F\,V_{F11}^{*} + \left\langle P_F\right\rangle^2} \\ &= \frac{\rho_A\,K_1^2\,V_{A11} + K_1^2\left(\left\langle \sigma_{0A}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle\right)^2}{\rho_F\,K_1^2\,V_{F11} + K_1^2\left(\left\langle \sigma_{0c}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle\right)^2} \\ &= \frac{\rho_A\,V_{A11} + \left(\left\langle \sigma_{0A}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle\right)^2}{\rho_F\,V_{F11} + \left(\left\langle \sigma_{0c}\right\rangle + \left\langle \sigma_{0n}\right\rangle\right)^2} \end{aligned} \tag{15}$$

donde, $\rho_A$, $\rho_F$, son los coeficientes de correlación correspondientes a los momentos de correlación considerados para la anomalía y el fondo, respectivamente, y las varianzas con el asterisco en el superíndice son las correspondientes a las potencias de la anomalía y el fondo.

**Anomalía del tipo II**

Este es el tipo de anomalía considerado en este artículo, en el que se enfoca la atención en el problema de la detección de blancos puntuales ajenos a los fenómenos presentes en la superficie del mar, objetos de diversas naturalezas, flotando o a baja altura sobre la superficie marina. Estos blancos son de especial interés cuando sus SED son muy pequeñas, resultando enmascarados por el medio que los rodea. El interés de muchos autores se ha concentrado en este problema y en encontrar soluciones para la detección de los mismos, ejemplos de ello se muestran en los artículos [4], [5], [6], [19] y en los trabajos desarrollados por el Grupo de Radar de la UTH, [20 ], [21], [22], [23].

Para la $(A/F)_{m_1}$

$$\gamma_1 = \frac{\langle\sigma_{0b}\rangle + \langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle}{\langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle} = \frac{\langle\sigma_{0b}\rangle}{\langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle} + 1 \tag{16}$$

donde

$\sigma_{0b}$ : SED del blanco puntual considerado

Para la $(A/F)_{m_{11}}$

$$\begin{aligned}\gamma_{11} &= \frac{\rho_A V_{A11} + \left(\langle\sigma_{0b}\rangle + \langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2}{\rho_F V_{F11} + \left(\langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2} \\ &= \frac{\rho_A \dfrac{V^*_{A11}}{K_1^2} + \left(\langle\sigma_{0b}\rangle + \langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2}{\rho_F \dfrac{V^*_{F11}}{K_1^2} + \left(\langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2}\end{aligned} \tag{17}$$

De (17) se tiene que, dados un fondo, un poder resolutivo de la señal y un blanco puntual, la relación anomalía - fondo $\gamma_{11}$ queda determinada por el producto $\rho_A V_{A11}$ correspondiente a la anomalía, que representa los niveles de fluctuación de su SED y de dispersión de sus valores.

En el caso de un blanco puntual no fluctuante, $\rho_A V_{A11} = 0$ , rediciéndose la ecuación (17) a

$$\gamma_{11} = \frac{\dfrac{\left(\langle\sigma_{0b}\rangle + \langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2}{\rho_F V_{F11}}}{1 + \dfrac{\left(\langle\sigma_{0c}\rangle + \langle\sigma_{0n}\rangle\right)^2}{\rho_F V_{F11}}} \tag{18}$$

## 4. APLICACIÓN DEL MÉTODO DEMPS AL CASO DE BLANCOS PUNTUALES EN CLUTTER MARINO.

**Simulación de las características de detección para un fondo tomado como referencia**

Se considerará como fondo a la superficie del mar y como expresión de ella al clutter marino y a su estado referido a la escala Douglas. Con el fin de simplificar los cálculos, sin perder la generalidad de la demostración, se supondrá una anomalía del Tipo II para una relación anomalía – fondo de las variancias poblacionales $\zeta_i = 1, i = 1,2$ , lo que permite representar la característica de detección, $P_D$ vs $\gamma_i, \zeta_i$ , por una superficie en un espacio de tres dimensiones. Aplicando el procedimiento dado en [ 7 ], [11] se

simuló un fondo, considerando como parámetro a la SED $\sigma_{0F}$ y como estadística de detección, para $\zeta_i = 1$ , la siguiente

$$z = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{2V_{Fi}} \left\{ \left( m_i^{FP} \right)^2 \left[ 2\left( \gamma_i - 1 \right) m_i + \left( 1 - \gamma_i \right)^2 \right] \right\} \tag{19}$$

Empleando la distribución de z dada en (19), como se muestra en [7], [11], para una probabilidad de falsa alarma $P_F = 10^{-6}$, se obtienen las superficies de detección $P_D$ *vs* $\gamma_1$ , $\gamma_{11}$, figuras 1 y 2, para dos tamaños de la muestra, $M$ = 500, $M$ = 1000, el estado del mar, EM = 4 y el fondo correspondiente a la célula resolutiva observada, como se explica mas adelante.

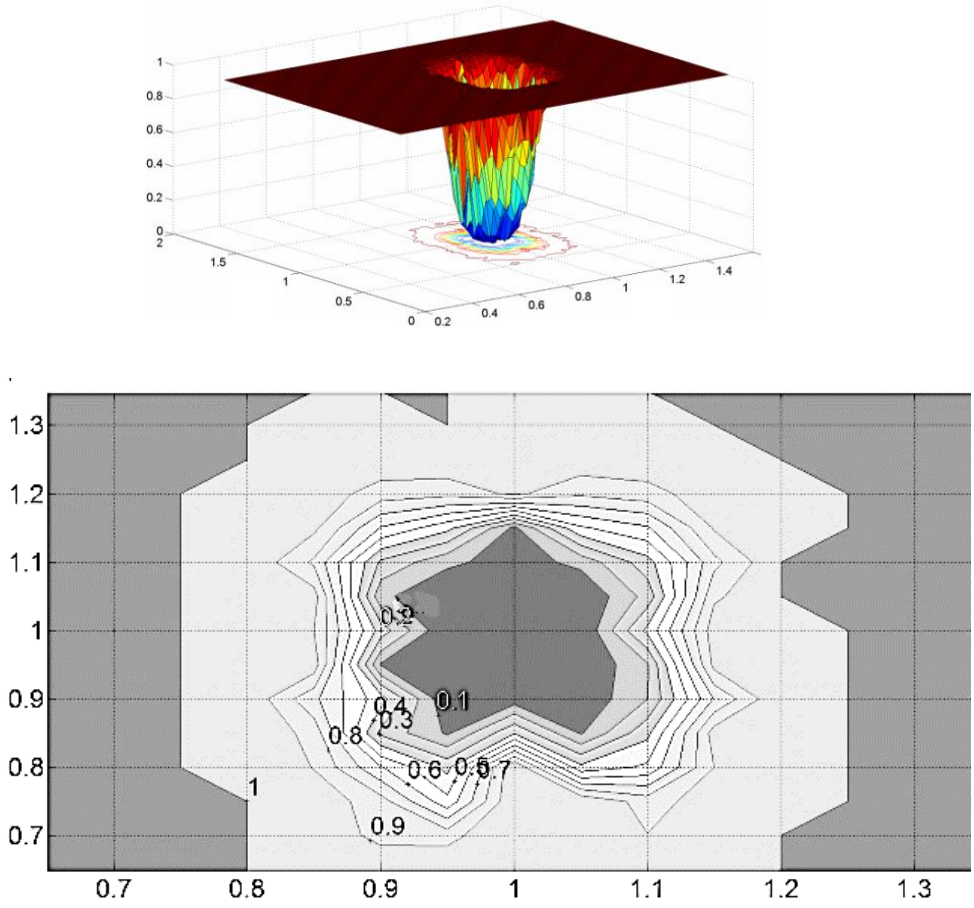



Fig. 1 Superficie y contornos de probabilidad de detección, para:Tamaño de la muestra $M$ = 300, $P_F = 10^{-6}$, $\varsigma_1 = \varsigma_{11} = 1$

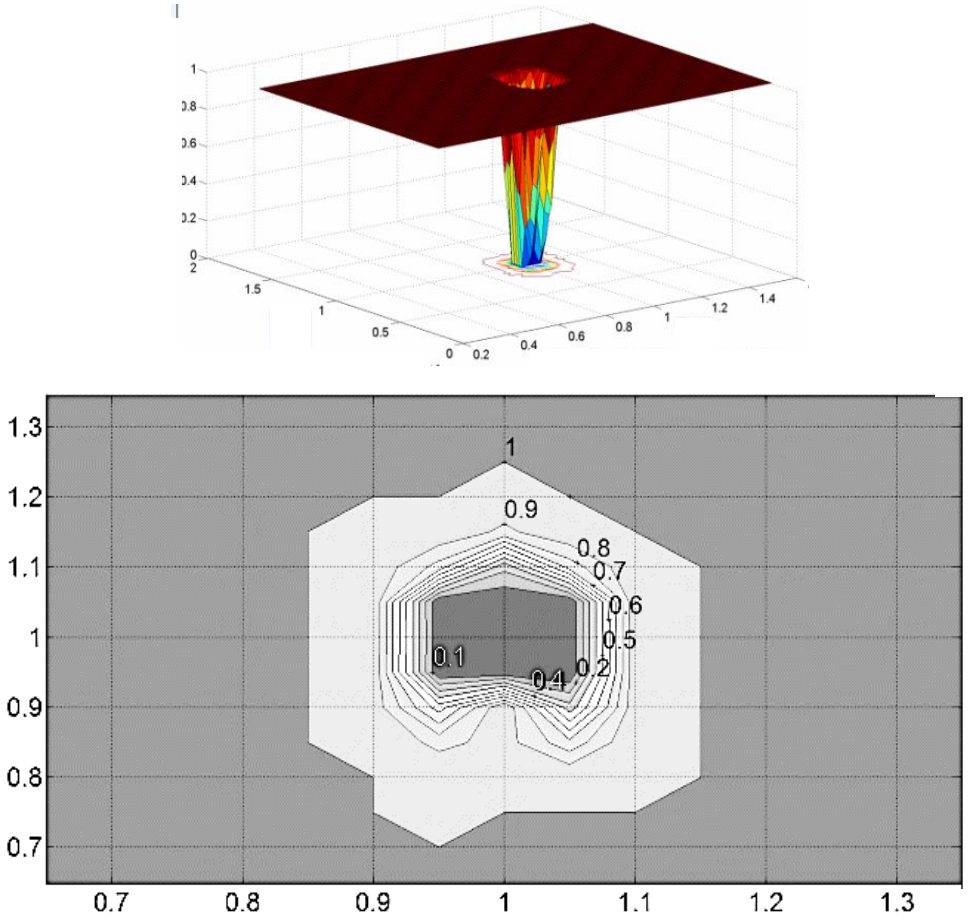



Fig. 2 Superficie y contornos de probabilidad de detección, para:Tamaño de la muestra $M$ = 1000, $P_F$ = $10^{-6}$, $\varsigma_1 = \varsigma_{11} = 1$

**Radar tomado como base y modelo para el cálculo de la SED normalizada de la superficie del mar**

Se tomará como base un radar de pulsos de la banda X con las siguientes características:

- Potencia del pulso de RF, $P_p = 25\,KW$
- Duraciones del pulso de RF y correspondiente poder resolutivo por distancia, $\tau = 0{,}8\,\mu s$, $\delta R_2 = 120$ m
- Altura de la antena con relación al nivel del mar $h_a = 100$ m
- El radio horizonte estará, para condiciones de propagación estándar a 22 mn de la ubicación del radar.

El valor medio de la SED de la superficie ocupada por una célula resolutiva será

$$\left\langle \sigma_{0c} \right\rangle = R\delta\beta\,\delta R \left\langle \sigma_{0c}^{0} \right\rangle C_{\tau,\theta} \qquad (20)$$

donde, $\left\langle \sigma_{0c}^{0} \right\rangle$ es la SED normalizada o específica de la superficie del mar observada y $C_{\tau,\theta} = 0{,}82$ el coeficiente correspondiente a un pulso de radio frecuencia rectangular y un patrón de radiación de la

antena gaussiano. En la literatura especializada, asociada al tema del clutter marino, para el cálculo de $\left\langle \sigma_{0c}^{0} \right\rangle$ generalmente se utilizan los modelos del Naval Research Laboratory [24] , del Georgia Institute of Technology [25] y del Royal Radar Establishment [2, Cap. 8]. En el presente trabajo se empleará el modelo propuesto por el Grupo de Radar de la UTH, por ser más sencillo y dar resultados semejantes para la banda X, polarización horizontal y $0{,}1^0 \leq \varepsilon_r \leq 1^0$, el que se expone en (21) y Tabla 1.

$$\left\langle \sigma_{0c}^{0} \right\rangle = -a\left(1 + b\,\varepsilon_r\right) exp\left(-c\,\varepsilon_r\right) dB\,,\ \ \varepsilon_r \text{ en grados} \tag{21}$$

Tabla 1: Valores de las constantes correspondientes al modelo dado en (21)

| | ESTADO DEL MAR | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *a* | 73 | 62,2 | 55 | 48,5 | 42,5 |
| *b* | 0 | 0 | 0 | O,65 | 0,76 |
| *c* | 1/3 | 1/3,4 | 1/3 | 0,8 | 0,8 |

**Calidad de la detección aplicando el método DEMPS para blancos de baja observación**

Se supondrán blancos puntuales de SED media en el intervalo, $0{,}01\,\mathrm{m}^2 \leq \left\langle \sigma_{0b} \right\rangle \leq 0{,}05\ \mathrm{m}^2$, para el estado del mar, EM = 4. El intervalo de los valores del ángulo rasante considerado será $0{,}19^0 \leq \varepsilon_r \leq 0{,}25^0$, correspondiente a un intervalo de distancias igual a, 12,4 mn ≤ *R* ≤ 16,2 mn, intervalo en el cual es válido el fondo simulado y por tanto las características de detección dadas en las figuras 1 y 2. Para el fondo simulado, el blanco puntual y poderes resolutivos dados, la relación anomalía – fondo $\gamma_{11}$ , está determinada, como se muestra en (17), asumiéndose el siguiente intervalo de valores $1.1 \leq \gamma_{11} \leq 1.19$.

Suponiendo tierra plana, la distancia $R$ a la célula resolutiva ocupada por el blanco será

$$R = h_a / sen\ \varepsilon_r \tag{22}$$

De las ecuaciones (16), (17), (20), (21) y (22) se obtienen las relaciones anomalía- fondo $\gamma_1$ ,$\gamma_{11}$ y de ellas, en los contornos de probabilidad de detección de las figuras 1 y 2, se obtienen las correspondientes probabilidades de detección $P_D$, mostradas en la Tabla 2, donde, para el ángulo rasante que se considera ( $\varepsilon_r = 0{,}2^0$), correspondiente a un punto sobre la superficie del mar situado a una distancia de 15,4 millas náuticas, donde es aceptable el empleo de las características de detección dadas, las relaciones señal a clutter + ruido, están en el entorno entre – 20 dB y – 11,5 dB. Como puede observarse en las figuras 1 y 2, la probabilidad de detección aumenta con el tamaño de la muestra. Este ejemplo permite afirmar que el método DEMPS compite en algunos casos, y puede ser superior en otros, en lo relativo al poder de detección de blancos marítimos de baja observación. Es evidente , como se muestra en los fundamentos de este método, que un incremento en el tamaño de las muestras empleadas incrementa también el tiempo de procesamiento, pero este cambio de tiempo de procesamiento por poder de detección es aceptable cuando se trata de detectar blancos de muy bajo nivel de observación.

Tabla 2: Probabilidades de detección $P_D$, para probabilidad de falsa alarma $P_F = 10^{-6}$, $\langle \sigma_{0b} \rangle = 0{,}01\,\mathrm{m}^2; 0{,}05\,\mathrm{m}^2$, $M$ = 300, 1000 , $\varepsilon_r = 0{,}2^0$, $\tau = 0{,}8\ \mu s$ y fondo considerado .

| | | | $\langle \sigma_0 \rangle\ \mathrm{m}^2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0,01 | | | 0,05 | | |
| $\varepsilon_r^0$ / R mn / $\tau$ $\mu$s | $M$ | EM | $\gamma_1$ | $\gamma_{11}$ | $P_D$ | $\gamma_1$ | $\gamma_{11}$ | $P_D$ |
| 0,2 / 15,4 / 0,8 | 300 | 4 | 1,01 | 1,1 | 0 | 1,07 | 1,1 | 0,1 ↔ 0,2 |
| | | | | 1,13 | 0 | | 1,13 | 0,3 ↔ 0,4 |
| | | | | 1,16 | 0,1 ↔ 0,2 | | 1,16 | 0,5 ↔ 0,6 |
| | | | | 1,19 | 0,5 ↔ 0,6 | | 1,19 | 0,7 ↔ 0,8 |
| | 1000 | 4 | 1,01 | 1,1 | 0,2 ↔ 0,3 | 1,07 | 1,1 | 0,7 ↔ 0,8 |
| | | | | 1,13 | 0,6 ↔ 0,7 | | 1,13 | 0,8 ↔ 0,9 |
| | | | | 1,16 | 0,9 ↔ 1 | | 1,16 | 0,9 ↔ 1 |
| | | | | 1,19 | 0,9 ↔ 1 | | 1,19 | ≈1 |

## 5. CONCLUSIONES

El contenido de este artículo muestra que el empleo del método DEMPS, en el caso de radares navales y de observación de costa de diseño estándar, permitiría detectar blancos de baja observación con probabilidades de detección elevadas. El método propuesto, como ha sido expuesto en otros trabajos referidos en este artículo, puede ser implementado en un radar para ser empleado a voluntad, sin que interfiera con su método de detección principal, garantizando, en los casos donde se requiera una elevada probabilidad de detección, en particular para estados del mar de valores elevados y blancos puntuales de muy pequeño valor de la SED. Este método requiere una adaptación continua al medio observado para caracterizar el fondo y obtener la estadística de detección, lo que puede ser realizado por el propio radar durante la observación de la superficie marina. Aunque el tiempo de procesamiento fuese mayor que el de otros métodos de detección posibles de emplear, la posibilidad de obtener probabilidades de detección elevadas en el caso de blancos de baja observación permite que el intercambio de tiempo de procesamiento por probabilidad de detección sea aceptable. Lo expuesto en este trabajo ha sido referido al caso de la detección del blanco para radares monoestáticos, pero el método tiene una aplicación promisoria en el caso de radares multiestáticos, permitiendo el empleo de un número mayor de momentos del parámetro seleccionado de la señal y con ello no solo el incremento de las probabilidades de detección y la disminución del tiempo de procesamiento, fundamentalmente en la adquisición de las muestras del parámetro considerado, sino también una mayor resolución en la clasificación del blanco, al tener el espacio de los momentos mayor número de dimensiones, lo que se encuentra en investigación por el Grupo de Radar de la UTH, siendo ejemplo de esto los trabajos [25], [26], [28], [29].

**RECONOCIMIENTOS**

Los autores desean agradecer la colaboración de los integrantes del Grupo de Investigación de Radar del Departamento de Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, en la obtención de los resultados mostrados en este artículo.

**REFERENCIAS**

1. NATHANSON, Fred; REILLY, Patrick; COHEN, Marvin. *Radar design principles* . EEUU., New Jersey: Scitech Publishing, Inc., 1999. 715 pp. ISBN 1-891121-09-X
2. WARD, Keith; TOUGH, Robert; WATTS, Simon. *Sea clutter: scattering, the K distribution and radar performances.* Reino Unido, Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2006, 452 pp. ISBN 978-086341-503-6.
3. BRIGGS, John. *Target detection by marine radar.* Reino Unido, Londres: The Institution of Electrical Engineers, 2004. 705 pp. ISBN 0 86341 3595.
4. XIALONG, Chen; JIAN, Guan; YONG, Huang; YONGHUA, Xue; NINGBA, Liu. "Radar signal processing for low- observable marine target". *Marine Target Detection Research Group, Naval Aviation University*. PR China, Yantai, Shandong IEEE, 2019.
5. WU, Peng; WANG, Jun; WANG, Wenguang. "A novel method of signal target detection in sea clutter". *International Schobang Research Network, ISRN Signal Processing*, 2011, vol. 2011.
6. ZHAN, Di; XING, Hongyan; WANG, Haifeng; HOU, Huaiz; LIANG, Xinyi; LI, Haoqi. "Sea – surface small target detection based on four features extracted by fast algorithm". *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023, vol. 11, pp. 339.
7. CHÁVEZ, Nelson. "Detección y alcance de radar: la alerta temprana de blancos en fondos enmascaradores y una solución al problema". Tesis de doctor en ciencias, Instituto Técnico Militar José Martí, Ciudad de la Habana, 2002.
8. ROJAS, José. "Método de obtención de muestras aleatorias de gran tamaño de los ecos de radar con el empleo de un sistema multiestático centralizado. Director: Nelson Chávez Ferry. Tesis de doctorado en ciencias técnicas, Instituto Técnico Militar José Martí, Ciudad de la Habana, 2010
9. BACALLAO, Jesús. "Un modelo teórico de la técnica DRACEC. Metodología del proceso de adaptación al fondo. Director: Nelson Chávez Ferry. Tesis de doctorado en ciencias técnicas, Instituto Técnico Militar José Martí, Ciudad de la Habana, 2003.
10. MACIA, Sergio. "Contribución a la técnica DRACEC, mediante el empleo de la matriz de polarización de los ecos". Director: Nelson Chávez Ferry. Tesis de doctorado en ciencias técnicas, Instituto Técnico Militar José Martí, Ciudad de la Habana, 2011.
11. CHÁVEZ, Nelson; GUILLÉN, Camilo. "Radar detection in the moments space of the scattered signal parameters", *Journal of Digital Signal Processing*, 2018, vol. 83, pp 359 – 366.
12. CHÁVEZ, Nelson; GONZÁLEZ, Ángel. "Radar recognition through statistical classification of cellular emission in the moment space". Lectures Notes in Computer, 13th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, Springer, 2008, pp 325 – 331.
13. GUILLÉN, Camilo. "Formación de la muestra aleatoria y cálculo de los momentos estadísticos para un detector DRACEC". Director: Nelson Chávez Ferry. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2018.
14. GUILLÉN, Camilo. "Detección por radar en el espacio de los momentos con grado de correlación arbitrario y razón de falsa alarma constante". Director: Nelson Chávez Ferry. Tesis de doctorado en ciencias técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2021.
15. GUILLÉN, Camilo; CHÁVEZ, Nelson; BACALLAO, Jesús. "Radar detection in the moments space with constant false alarm rate". *Journal of Digital Signal Processing*, 2021, vol. 114, art. 103080.
16. GUILLÉN, Camilo; RODRÍGUEZ, Giorgia; CHÁVEZ, Nelson. "Selection of sampling interval and size of random sample for radar detection in the moment space". *Periodica Polytechnica Ingenieria Elecrica e Informatica*, 2021, vol. 65, No 4, pp 302 - 309.
17. GUILLÉN, Camilo; CHÁVEZ, Nelson. "Determination of the decision boundary for a radar detection method in the moment space". *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2019, vol. 11.
18. SMITH, Mark; REECE, Steven; ROBERTS, Stephen; PSORAKIS, Ionnis; REZEK, Iead. " Maritime abnormally detection using gaussian processes". *Knowl Inf. Syst., Springer –Verlag, London,* 2013, 38:717 – 741.
19. JIE, Song; FU-QING, Cai; CAI-SHENG, Zhang; YOU, He. "Experimental results of maritime moving target detection based on passive bistatic radar using non-cooperative radar illuminators". *The Journal of Engineering*, 2019, vol. 2019, pp 6763 – 6766.

20. CHÁVEZ, Nelson; RODRÍGUEZ, Giorgia; LA O, Lena; SANTANA, Dayron. "Maximun radar coverage of naval and low flying targets for the sea state as a parameter, radar prediction of the sea state". *Revista Telemática*, 2022, vol. 21, $N_0$ 1.
21. SANDIANES, José; CHÁVEZ, Nelson; VILLEGAS, Madaine."Campo dispersado por pequeños blancos de radar situados sobre la superficie del mar". *Revista RIELAC*, 2020, vol.41, $N_0$1.
22. CONDE LORENTE, Camila. "Cobertura para radar monoestático en presencia de clutter marino. Detección en el espacio de la amplitud de la señal para el modelo K del clutter y en el espacio de los momentos aplicando DRACEC".Directores: Nelson Chavez , Jesús Bacallao. Tesis de diploma, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2023.
24. GREGERS – HANSEN, V.; MITAL, R. "An empirical sea clutter modelfor low grazing angle". *Radar Divission, Naval Research Laboratory, Washington DC.*, 2009, 978-1- 4244-2871-7/09, IEEE, 2009.
25. CHÁVEZ, Nelson; RODRÍGUEZ, José; BRAVO, Berta. "Formación de muestras aleatorias de gran tamaño con los ecos de radar empleando un sistema multiestático". XIII Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana, 2006.
26. CHÁVEZ, Nelson; RODRÍGUEZ. "Formación de muestras aleatorias de gran tamaño con los ecos de radar empleando un sistema multiestático II". XIV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana, 2008.
27. MARTINEZ, Liz ."Propuesta de un algoritmo efectivo para la clasificación automática de blancos en presencia de clutter marino empleando un radar naval". Director: Nelson Chávez. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana, 2018.
28. ÁLVAREZ, Y; GUILLÉN, Camilo; MARTÍNEZ, L; CHÁVEZ, N."Supervised classification of radar targets using the moment space". *Revista Telemática*, 2020, vol. 20, $N_0$ 4.

**SOBRE LOS AUTORES**

**Nelson Chávez Ferry:** Profesor del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Profesor Titular, Profesor Consultante. Ingeniero en Telecomunicaciones, Doctor en Ciencias Técnicas y Doctor en Ciencias. Miembro del Consejo Científico y del Grupo de Investigación de Radar de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica.

**Camilo Guillén Soriano:** Profesor del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Profesor Auxiliar, Ingeniero en Telecomunicaciones, Master en Ciencias y Doctor en Ciencias Técnicas, Jefe del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, miembro de su Consejo Científico y de su Grupo de Investigación de Radar.

**Jesús Bacallao Vidal:** Profesor del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE; Profesor Titular, Ingeniero en Telecomunicaciones, Doctor en Ciencias Técnicas. Miembro del Consejo Científico y del Grupo de Investigación de Radar de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica.

**Hugo R. Rodríguez Rodríguez:** Profesor del Instituto Técnico Militar "José Martí", Ingeniero Radiotécnico, Profesor Auxiliar, Colaborador del Grupo de Investigación de Radar de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. Cursa el doctorado en ciencias técnicas

**Susana García García:** Graduada de Ingeniería en Telecomunicaciones en la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. Colaboradora del Grupo de Investigación de Radar de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, es maestrante de esta Facultad. Se desempeña como especialista de telecomunicaciones del MININT.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# DESIGN OF A POSITIONING SYSTEM USING THE INERTIAL SENSORS OF A SMARTPHONE

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EMPLEANDO SENSORES INERCIALES DE UN TELEFONO INTELIGENTE

**Víctor Fabián Miramá Pérez[1], Diego Andrés Martínez Galindo[2], Sergio Alejandro Leyton Penagos[3]**

[1]Universidad del Cauca, Calle 5 4-70, vmirama@unicauca.edu.co [2]Universidad del Cauca, Calle 5 4-70, diegomart@unicauca.edu.co,
[3] Universidad del Cauca, Calle 5 4-70, seleype02@unicauca.edu.co

**RESUMEN**

En este artículo se presenta el proceso de desarrollo, implementación y análisis del desempeño de un sistema prototipo que hace uso de sensores inerciales para estimar la posición relativa de un usuario que porta un teléfono inteligente. El sistema propuesto se basa en la detección de pasos por medio de umbrales estimando la longitud de estos a partir del método de Weinberg y determinando el rumbo de cada paso a partir de los datos entregados por el sensor de orientación del teléfono inteligente. Con la longitud y orientación de cada paso se conforman vectores que se acumulan para estimar la trayectoria seguida por los usuarios. Se presenta el diseño modular del sistema, su implementación y los resultados obtenidos comparándolos frente al desempeño del Cálculo de la Posición del Peatón convencional. Se demuestra que los sistemas de posicionamiento libres de infraestructura empleando teléfonos inteligentes son una alternativa con gran potencial para aplicaciones en situaciones reales por su escalabilidad y bajos costos en la implementación.

**PALABRAS CLAVES:** Posicionamiento en interiores, libre de infraestructura, posición del peatón, sensores inerciales, teléfono inteligente.

**ABSTRACT**

This paper presents the development process, implementation and performance analysis of a prototype system that uses inertial sensors to estimate the relative position of a user carrying a smartphone. The proposed system is based on step detection through thresholds; the system estimates the length of the steps using the Weinberg method and determines the direction of each step from the data provided by the sensors of a smartphone. The system forms vectors with the length and orientation of each step, such vectors are accumulated to estimate the trajectory followed by the users. The modular design and implementation of the prototype system are presented, and the performance results are compared with those of conventional pedestrian positioning systems. It is demonstrated that infrastructure-free positioning systems using smartphones represent a promising alternative for real-world applications due to their scalability and low implementation costs.

**KEY WORDS:** Indoor positioning, infrastructure-free, pedestrian position, inertial sensors, smart phone.

## 1. INTRODUCCIÓN

Determinar la ubicación de personas u objetos en entornos interiores se ha convertido en un asunto de alto interés en los últimos años. El avance de tecnologías emergentes en el campo de Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) y el desarrollo de tecnologías para soluciones en el ámbito *smart* han dado paso al concepto de los servicios basados en localización, ya que conocer el lugar y momento exacto en que una persona u objeto se encuentran en un determinado sitio, permite brindar servicios que se adecuen a las necesidades que pueden surgir según la interacción del ser humano con el entorno que lo rodea y pueden encontrarse en diferentes campos, como vigilancia a adultos mayores en servicios de atención sanitaria, orientación para equipos de socorro en estructuras con escasa visibilidad, seguimiento de equipos médicos

dentro de hospitales, asistencia guiada y control de acceso dentro de centros comerciales, aeropuertos, campus académicos, entre otros [1] [2][3].

Los Sistemas de Posicionamiento en Interiores (IPS, *Indoor Positioning Systems*) reúnen todo el conjunto de tecnologías basadas en técnicas enfocadas en la determinación de la ubicación de personas u objetos en entornos interiores. Estos sistemas se clasifican en dos grandes grupos: enfoques basados en infraestructura y enfoques libres de infraestructura [4]. En los primeros, se emplean redes de dispositivos desplegados estratégicamente en el entorno interior y cuya posición es conocida de antemano, con el fin de establecer múltiples puntos de referencia que permitan determinar la ubicación de personas u objetos, por medio de técnicas basadas en los parámetros físicos (tiempo, intensidad y ángulo) de las señales de radiofrecuencia que intercambian los elementos desplegados con el objeto o dispositivo móvil que porta la persona que se está localizando. Ejemplos de este tipo de sistemas son: redes basadas en puntos de acceso WiFi, Bluetooth, Bluetooth de Baja Energía (BLE, *Bluetooth Low Energy*), Redes de Sensores Inalámbricos (WSN, *Wireless Sensors Networks*), Banda Ultra Ancha (UWB, *Ultra Wide Band*), infrarrojos, entre otros [5]. Este enfoque tiene como desventaja que el costo asociado al despliegue es proporcional al área a cubrir, lo cual dificulta su escalabilidad, además, al requerir de una red previamente dispuesta en el entorno interior se afecta su difusión y aplicación, impidiendo el crecimiento del IPS.

En el enfoque libre de infraestructura no se requiere de una red de dispositivos inalámbricos desplegados previamente por el entorno interior para determinar la ubicación de un objeto o persona, en cambio, se emplean algoritmos de posicionamiento que se basan en datos medidos por sensores inerciales dispuestos en el cuerpo del peatón o del objeto que se busca localizar. Los IPS basados en este enfoque no presentan limitaciones sobre el tipo de entorno interior, dado que pueden funcionar en gran variedad de espacios, ya que no se requiere disponer de ningún elemento de infraestructura previa, lo que reduce costos y brinda mayores posibilidades para escalar los sistemas, logrando que sean de mayor difusión; sin embargo, los sensores inerciales tienen errores acumulativos que ocasionan un porcentaje de error significativo para el posicionamiento, por lo tanto, el algoritmo empleado debe tener la robustez necesaria para lograr que dicho error no sea determinante [6] [7]. Técnicas como el Cálculo de la Posición del Peatón (PDR, *Pedestrian Dead Reckoning*) o los Sistemas de Navegación Inercial (INS, *Inertial Navigation Systems*) se emplean en sistemas de posicionamiento libres de infraestructura [8] [9].

El uso de teléfonos inteligentes es ampliamente difundido en esta técnica, la mayoría de los dispositivos móviles actuales cuentan con sensores inerciales incorporados, como acelerómetro, giroscopio y magnetómetro; los cuales están basados en Sistemas Microelectromecánicos (MEMS, *Microelectromechanical Systems*) [10] [11] y, además, ofrecen la capacidad computacional necesaria para soportar el procesamiento de información requerido para la ejecución de un algoritmo de posicionamiento empleado por un IPS para realizar la localización.

En este artículo se presenta la evaluación del desempeño, basado en la exactitud, de un prototipo de posicionamiento en interiores libre de infraestructura, haciendo uso de sensores inerciales de un teléfono inteligente. El artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se presenta el diseño y la implementación del sistema prototipo. En la Sección 3 se muestran los resultados de las pruebas realizadas sobre el sistema prototipo. En la Sección 4 se realiza la discusión de los resultados obtenidos, y por último, en la Sección 5 se resumen las conclusiones principales.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo del sistema prototipo se empleó el modelo de desarrollo evolutivo [12], el cual sugiere la construcción sucesiva de prototipos según un análisis previo de requerimientos, posteriormente se realiza un diseño del prototipo que permita cumplir con los requerimientos planteados.

### Requerimientos del Sistema Prototipo

Los requisitos funcionales definidos para el sistema prototipo de posicionamiento en interiores empleando un teléfono inteligente se describen a continuación:

- Determinar la posición relativa del usuario[1] en un entorno interior.
- Desplegar visualmente al usuario su recorrido en un entorno interior.
- Prescindir de infraestructura adicional para la implementación del sistema prototipo.

Entre los requisitos no Funcionales se tienen

- Entregar la información de la posición relativa del usuario cada segundo.
- Emplear los sensores inerciales (acelerómetro, giroscopio y magnetómetro) incorporados en un teléfono inteligente para el desarrollo del sistema prototipo.
- Brindar compatibilidad con diferentes dispositivos Android.
- Ofrecer una interfaz intuitiva para el usuario.

En función de los requisitos se define el diseño presentado en la Fig. 1, donde se muestra la interacción entre los distintos módulos que componen el sistema prototipo.

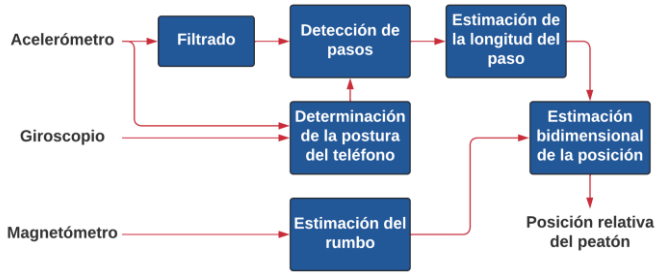



Figura 1: Diagrama de bloques del sistema prototipo.

El diseño modular del sistema prototipo permite desarrollar de forma individual las funciones de cada bloque y posteriormente integrarlas. Los bloques acelerómetro, giroscopio y magnetómetro entregan los datos medidos por los sensores. En la etapa de detección de pasos se procesan los datos filtrados de aceleración para determinar la cantidad de pasos y posteriormente se realiza la estimación de la longitud de cada paso, con el fin de determinar la distancia recorrida por el usuario. Por otra parte, la determinación de la postura del teléfono indica el modo en que el usuario sostiene el dispositivo móvil según la actividad que esté desarrollando. Por último, se estima la posición bidimensional del usuario, a partir de la estimación del rumbo respecto al norte magnético y la distancia recorrida.

En la Fig. 2 se presenta el diagrama de flujo que describe la relación y secuencia lógica entre los procesos que se ejecutan en el sistema prototipo de posicionamiento en interiores. El sistema prototipo requiere leer y almacenar los datos que miden los sensores inerciales (acelerómetro, giroscopio y magnetómetro) del teléfono inteligente para posteriormente filtrar la señal de aceleración y extraer los picos, valles y cruces por cero en función de unos valores umbrales preestablecidos. A partir de la señal del giroscopio y el acelerómetro se detecta la actividad que está realizando el usuario o el modo en que está portando el teléfono inteligente, distinguiendo entre texteo y balanceo. En función de esto se detectan los pasos y se calculan las distancias y los rumbos de cada uno, generando fasores que contienen la longitud de cada paso y su rumbo, los cuales permiten estimar la posición relativa del usuario.

[1] Se entiende por usuario a la persona que porta el teléfono inteligente mientras se ejecuta el sistema prototipo.

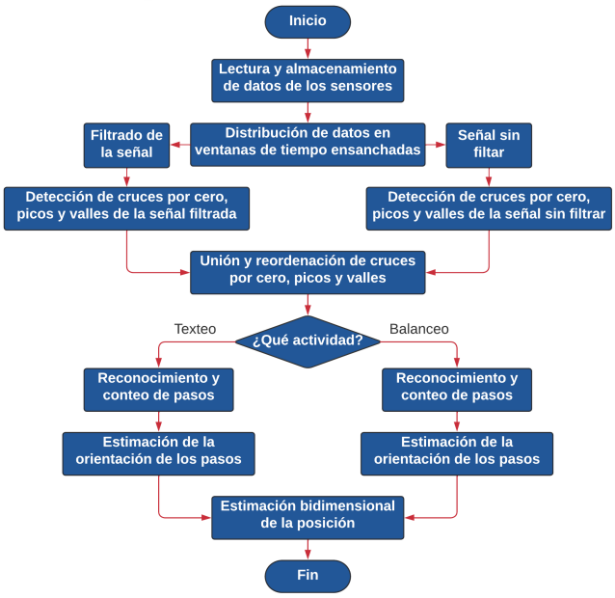



Figura 2: Diagrama de flujo del sistema prototipo.

**Detección de Pasos Basada en Umbrales**

Los métodos basados en umbrales determinan la existencia de un paso si las lecturas entregadas por el acelerómetro satisfacen una determinada condición de umbral. Entre los más comunes para aplicaciones PDR se tienen los métodos de umbral simple y de actualización de la velocidad cero (ZUPT, Zero Velocity Update). En el caso del umbral simple, se detecta un paso si la amplitud de la aceleración cumple con un criterio de umbral preestablecido. En el segundo se aprovecha que, al caminar, cada pie permanece estático durante un breve instante de tiempo, lo cual permite actualizar las lecturas del acelerómetro a partir de dicho instante y eliminar el error acumulativo de las lecturas del sensor [13] [14].

La manera de portar el teléfono, por parte del usuario, es una variante crítica para detectar y contar los pasos, dado que los sensores del teléfono poseen un marco de referencia fijo que se altera de acuerdo al modo en que una persona lo lleve consigo durante una caminata, esto afecta las lecturas de aceleración en cada eje, pues se presentan variaciones específicas sobre un eje determinado, como la aceleración por la gravedad, que luego se traslada a otro en función del modo de uso del teléfono, por ello se calcula una magnitud combinada [8]. Por lo tanto, la magnitud de aceleración combinada se calcula empleando (1).

$$A_{xyz} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g \qquad (1)$$

En la ecuación (1), $a_x$, $a_y$, $a_z$ corresponden con la aceleración ($m/s^2$) medida en cada eje de referencia, y $A_{xyz}$ es la magnitud combinada de los tres ejes del acelerómetro, excluyendo la contribución de la fuerza gravitacional ($g$), igual a 9,8 $m/s^2$.

**Detección de Picos**

De acuerdo con el criterio empleado en [13], en la señal de aceleración se define un pico como el valor máximo encontrado en un instante de tiempo, entre la muestra de la señal en el instante anterior y el instante siguiente, esto se representa en (2). Por lo tanto, se seleccionan solo los datos que correspondan con un valor pico de la señal de aceleración, para posteriormente aplicar un umbral de valor pico predefinido, que permita discriminar entre picos que correspondan con la secuencia de un paso y picos falsos.

$$Pico = \left(A_{xyz}(t) | A_{xyz}(t) > A_{xyz}(t-1) \wedge A_{xyz}(t) > A_{xyz}(t+1)\right) \qquad (2)$$

**Detección de Valles**

Similar al criterio de detección de picos, se emplea (3) para identificar los valores de aceleración más bajos, o valles, de la señal. Para discriminar entre valles que correspondan con la realización de un paso, se establecen valores de umbrales.

$$Valle = \begin{pmatrix} A_{xyz}(t) | A_{xyz}(t) \\ < A_{xyz}(t-1) \wedge A_{xyz}(t) < A_{xyz}(t+1) \end{pmatrix} \quad (3)$$

**Detección de Cruces por Cero**

La detección de cruces por cero consiste en evaluar la señal de aceleración y detectar en ella los cambios de valores positivos a negativos y viceversa. En (4) se define este concepto al tomar una muestra de la señal en el instante presente $(t)$ y multiplicarla por el valor de una muestra del instante inmediatamente anterior $(t-1)$. Por lo tanto, se espera que, al tener dos muestras consecutivas de signo opuesto, el producto entre ambas resulte en un valor menor que cero, lo cual indica que ha ocurrido un cambio de signo en la señal que corresponde a un cruce por cero.

$$Cruce = \left(A_{xyz}(t) | A_{xyz}(t) \times A_{xyz}(t-1) < 0\right) \quad (4)$$

A partir de la detección de picos, valles y cruces por cero en la señal de aceleración producida al caminar, se puede estimar la realización de un paso como la aparición secuencial de estos tres eventos dentro de un intervalo de tiempo.

**Reconocimiento de la Actividad del Usuario**

El sistema prototipo está diseñado para operar bajo dos de los modos más comunes en los que las personas portan su teléfono inteligente mientras caminan, como se demuestra en [15], denominados aquí texteo y balanceo. En el primer modo el teléfono se encuentra sujeto con una sola mano frente al cuerpo de la persona al caminar y, en el segundo, el dispositivo se lleva en una de las manos cuando se camina libremente, como lo ilustra la Fig. 3.

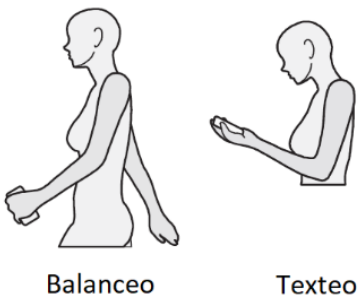



Figura 3: Modos de portar el teléfono inteligente para el sistema prototipo.

Para el conteo de pasos, en el modo texteo se define la secuencia de realización de un paso, mostrada en la Fig. 4a, y en la Fig. 4b se muestran las secuencias de paso para el modo balanceo.

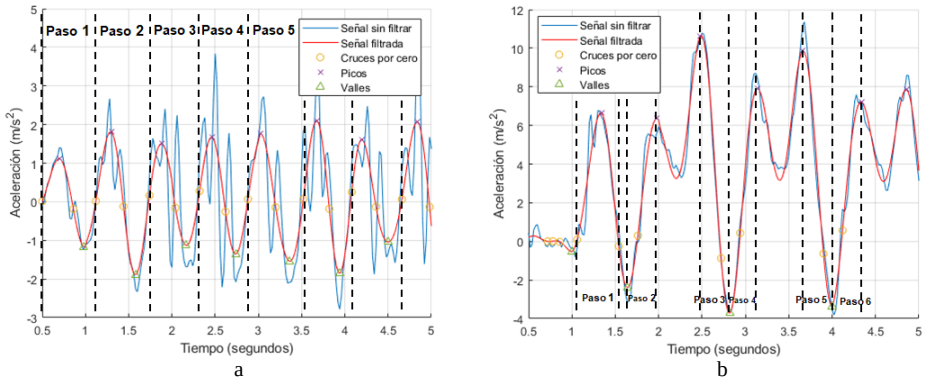



Figura 4: Modos de portar el teléfono inteligente para el sistema prototipo.

**Estimación de la Longitud del Paso**

La longitud del paso es un parámetro estrechamente relacionado con la contextura física y el modo de caminar de una persona, y es distinto de un individuo a otro. Entre los modelos para la estimación de la longitud del paso más comunes se encuentra el método de Weinberg, el cual establece una relación entre la longitud del paso y su aceleración [16] [17]. Este modelo demuestra empíricamente que la distancia de paso $(DP)$, puede ser estimada con una precisión aceptable como se muestra en (5).

$$DP = K \times \sqrt[4]{A_{xyzmax} - A_{xyzmin}} \quad (5)$$

Donde $DP$ está medido en metros, $A_{xyzmax}$ y $A_{xyzmin}$ corresponden a los valores de aceleración $(m/s^2)$ máxima y mínima, respectivamente, medidos en el intervalo de tiempo en el que se realiza un paso, y $K$ es una constante adimensional, que se estima en la etapa de calibración.

**Estimación de la Orientación del Paso**

Gracias a la detección de los pasos y la estimación de su longitud, es posible calcular la distancia recorrida por una persona en una caminata, pero estas etapas no tienen en cuenta la estimación del rumbo del recorrido. Para detectar los cambios de orientación, en los sistemas de paso y rumbo (SHS, *Step Heading System*) se busca obtener la dirección en la que se realiza un paso detectado a partir de la información proporcionada por los sensores giroscopio y/o magnetómetro [18]. El magnetómetro en un teléfono inteligente puede emplearse como una brújula que indica el valor de azimut, lo cual ofrece información de orientación respecto al norte magnético. En los sistemas SHS este valor se asocia a la realización de un paso de tal forma que, al tener la longitud de un paso y su dirección, cada zancada se interpreta como un fasor [longitud de paso, rumbo] y la posición del peatón a lo largo de un recorrido será la acumulación de dichos vectores.

**Estimación de Bidimensional de la Posición**

Para realizar la estimación bidimensional de la posición, se debe tener en cuenta un punto de referencia conocido previamente, posteriormente, se convierte el fasor de cada paso a su forma cartesiana, haciendo uso de (6) y (7), a medida que se registra un paso nuevo, se acumulan progresivamente a partir de las coordenadas del punto de referencia, los resultados en los ejes $x$ y $y$, respectivamente.

$$x = d \times \cos\theta \quad (6)$$
$$y = d \times \sin\theta \quad (7)$$

Donde $d$ corresponde a la longitud de cada paso medida en metros, y $\theta$ corresponde al ángulo del rumbo del paso.

**Hardware y Software**

Para la implementación del sistema prototipo se emplearon dos teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, el primero es un teléfono Xiaomi Poco F3 con una CPU Qualcomm Snapdragon 870 y Android 11, y el segundo es un teléfono Samsung Galaxy j6+ con una CPU Qualcomm Snapdragon 425 y Android 10. Para el desarrollo del software se eligió el entorno *Android Studio*, por ser una herramienta de desarrollo compatible entre dispositivos móviles, de licencia libre que facilita la creación de la interfaz gráfica y la parte lógica por medio del lenguaje de programación Java. La interfaz gráfica de la aplicación del sistema prototipo en un dispositivo Android se muestra en la Fig. 5.




Figura 5: Interfaz gráfica del sistema prototipo.

**Pruebas del Sistema Prototipo**

Considerando que el sistema prototipo se basa en un método de detección de pasos a partir de umbrales, es necesario calibrar el sistema, analizando las señales de aceleración medidas en un teléfono inteligente mientras el usuario camina en alguno de los dos modos que son objeto de estudio, con el fin de establecer los valores más adecuados para dichos umbrales, de tal modo que permitan detectar los picos y valles asociados a la realización de un paso. Así mismo, es necesario establecer el valor de la constante $K$, empleada en (5), para la estimación de la distancia de paso, analizando tres rangos de velocidad de marcha definidos cualitativamente como lento, medio y rápido.

El desempeño del sistema prototipo de posicionamiento, se evalúa teniendo en cuenta la exactitud, entendida como la diferencia, en términos de distancia, entre la posición estimada y la posición real. Para evaluar el desempeño del sistema, se configuraron 2 escenarios en entornos interiores (E1 y E2) de acuerdo con la Fig.6, el escenario 1 (E1) corresponde a una casa con unas dimensiones de 7,72 m de ancho por 16,04 m de largo, en la que se traza un recorrido de 28,87 m de longitud, se emplea el teléfono inteligente de referencia Xiaomi Poco F3 (Android 11).

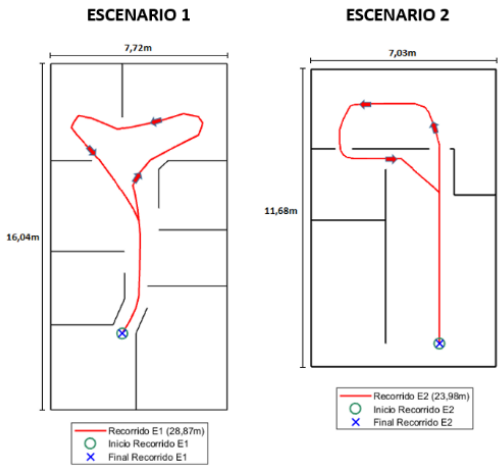



Figura 6: Escenarios de pruebas.

El escenario 2 (E2), corresponde a una casa cuyas dimensiones son de 7,03 m de ancho por 11,68 m de largo, en la que se traza un recorrido de 23,98 m de longitud, se emplea el teléfono inteligente de referencia Samsung Galaxy J6+ (Android 10).

## 3. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas de desempeño corresponden al error paso a paso calculado mediante la distancia euclidiana entre el trayecto real y el trayecto estimado, y se representan a través de una función de probabilidad acumulativa siguiendo la distribución de Weibull.

De la Fig. 7a se puede apreciar que la probabilidad de error en la posición para el modo texteo en el escenario E1 es menor o igual a 1 m en el 56,789 % de los casos, a su vez, un error inferior a 1,51 m tiene una probabilidad del 80,813 % y considerando un error menor o igual a 2 m, la probabilidad es de 93,065 %. Por lo tanto, el error máximo para este modo es inferior a 3 m. Para el modo balanceo, en la Fig. 7b, se observa que la probabilidad de obtener un error menor o igual a 1 m en la posición es de 50,916 %, para un error menor o igual a 1,51 m la probabilidad es del 75,365 %, mientras que para un error inferior a 2 m es de 89,424 %. El error máximo encontrado en este modo es mayor a 3,5 m.

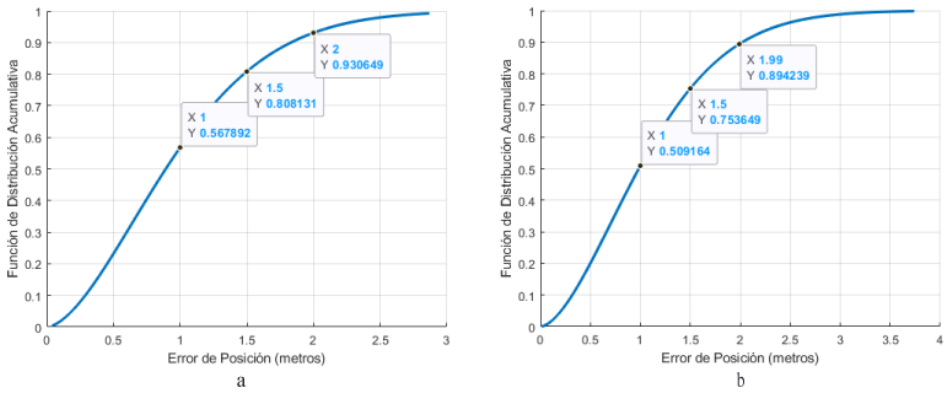



Figura 7: Pruebas de desempeño en Escenario 1.

Para el escenario E2, de acuerdo con la Fig. 8a la CDF muestra que para el modo texteo en E2, la probabilidad de error en la posición es menor o igual a 1 m en el 78,672 % de los casos, a su vez, un error inferior a 1,51 m tiene una probabilidad del 93,601 % y para un error menor a 2 m, su probabilidad es de 98,356 %. Además, el máximo error de posición calculado en estas pruebas es inferior a 2,5 m. Para el modo balanceo presentado en la Fig. 8b, la probabilidad de obtener un error menor o igual a 1 m en la posición es de 64,535 %, para un error menor o igual a 1,5 m la probabilidad es del 82,656 % y para un error inferior a 2 m es de 92 %. Asimismo, el máximo error de posición encontrado en estas pruebas es inferior a 3,5 m.

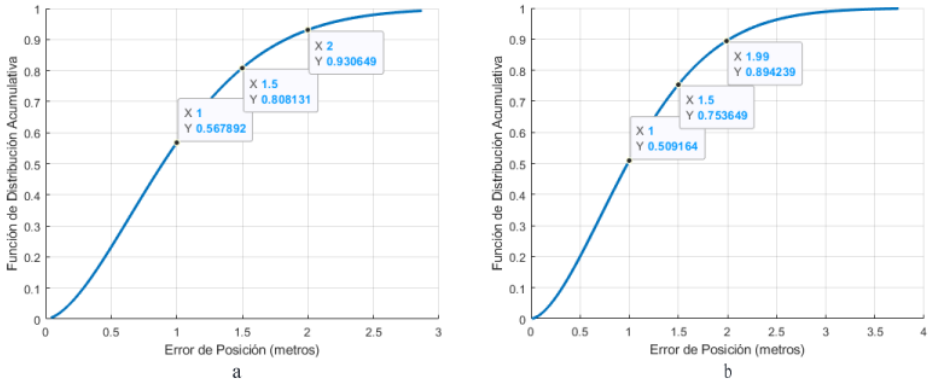



Figura 8: Resultados de desempeño Escenario 2**.**

De acuerdo con los resultados consignados en la Tabla 1, el modo texteo tiene una menor media del error en la posición frente a los resultados obtenidos en balanceo, lo mismo se evidencia en la desviación estándar. Sin embargo, en el cálculo del error medio del recorrido, que corresponde al promedio de la diferencia entre la distancia del trayecto real y la distancia estimada por el sistema, el modo balanceo muestra un error menor comparado con el modo texteo en los dos escenarios.

Tabla 1: Resultados estadísticos.

| Escenario | Modo | Error medio de la posición (m) | Desviación estándar (m) | Error medio del recorrido (m) | Número de pruebas realizadas |
|---|---|---|---|---|---|
| E1 | Texteo | 0,9912 | 0,6133 | 2,6238 | 30 |
| E1 | Balanceo | 1,0978 | 0,6643 | 1,2989 | 30 |
| E2 | Texteo | 0,6692 | 0,4744 | 1,2597 | 30 |
| E2 | Balanceo | 0.8980 | 0,7014 | 0.7922 | 30 |

## 4. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de las pruebas de desempeño, el modo texteo tiene mayor probabilidad de obtener un menor error de exactitud. Por lo tanto, estadísticamente a través de la CDF, la media del error y su desviación estándar se evidencia que el modo texteo tiene un mejor desempeño en la estimación de la posición relativa del usuario sobre el modo balanceo. Sin embargo, en cuanto al cálculo de la distancia recorrida, el modo balanceo presentó un mejor rendimiento al calcular la distancia total recorrida por los usuarios, obteniendo un menor error medio frente al modo texteo.

Para validar el desempeño del sistema prototipo de posicionamiento en interiores, se comparan los resultados obtenidos frente al desempeño del PDR convencional [19] [20] [21] y se demuestra que el sistema propuesto lo supera en exactitud al presentar un menor porcentaje de error en la estimación de la posición. Sin embargo, cabe recordar que el desempeño del sistema depende de parámetros variables como

la estatura de cada usuario, el patrón de caminata y la forma en que se porta el teléfono al caminar. Por otro lado, el valor determinado para la constante $K$, empleado para la estimación de la longitud del paso en todas las pruebas realizadas, obedece a un valor promedio que no caracteriza adecuadamente a cada usuario, por lo cual la longitud del paso estimada puede no ser lo suficientemente precisa en algunos casos.

En el caso de la estimación de la orientación, empleando el magnetómetro incorporado en el teléfono inteligente, debe considerarse que este sensor es sensible al ruido electromagnético producido por electrodomésticos u otro tipo de fuentes, lo cual causa un error de lectura en los ángulos de orientación del dispositivo, además es importante mencionar que la intensidad del campo electromagnético de la tierra es baja en comparación a las fuentes ruidosas. También hay que tener en cuenta que el ángulo de azimut entregado por el magnetómetro no corresponde con la referencia del norte geográfico de la tierra, esto se conoce como declinación magnética y debe compensarse para obtener una estimación real de la ubicación de los usuarios. Aunque el desempeño del sistema prototipo supera el del PDR convencional, tiene errores de posicionamiento considerables, debido a los factores mencionados, los cuales son susceptibles de mejora con el fin de lograr una mayor exactitud.

## 5. CONCLUSIONES

El desempeño del sistema prototipo desarrollado mostró una mejora en la exactitud respecto a la técnica convencional del PDR, logrando errores de posición por debajo de otros sistemas de referencia que emplean este método. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que existe un margen de mejora para reducir los errores máximos encontrados, con el objetivo de acercar el prototipo a aplicaciones en situaciones de entornos más realistas en las que lo esperable es alcanzar errores máximos del orden de los centímetros.

Las pruebas desarrolladas para evaluar el desempeño del sistema prototipo, vislumbran un potencial para aplicaciones futuras en servicios como la navegación en entornos interiores que requieran ofrecer asistencia guiada a sus visitantes o el seguimiento de personas, en la medida en que se logren realizar mejoras sobre los factores mencionados para posteriormente, implementar el sistema en un entorno productivo, con condiciones más realistas asociadas a un TRL más avanzado.

## REFERENCIAS

1. SHIT, Rathin. et al. "Ubiquitous Localization (UbiLoc): A Survey and Taxonomy on Device Free Localization for Smart World". *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2019, vol. 21, núm. 4, pp. 3532 - 3564.
2. FARAHSARI, Pooyan Shams. et al. "A Survey on Indoor Positioning Systems for IoT-Based Applications". *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, vol. 9, núm. 10, pp. 7680 - 7699.
3. MACHAJ, Juraj; BRIDA, Peter.; MATUSKA, Slavomir. "Proposal for a Localization System for an IoT Ecosystem". *Electronics*, 2021, vol. 10, núm. 36, pp. 3016 - 3025.
4. MEHRABIAN, Hamidreza; RAVANMEHR, Reza. "Sensor fusion for indoor positioning system through improved RSSI and PDR methods". *Future Generation Computer Systems*, 2023, vol. 138, pp. 254 - 269.
5. WU, Bang. et al. "An Adaptive Human Activity-Aided Hand-Held Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning Positioning System". *Remote Sens*, 2021, vol. 13, núm. 11, pp. 2137 - 2167.
6. FERNANDES, Letícia. et al."An Infrastructure-Free Magnetic-Based Indoor Positioning System with Deep Learning". *Sensors*, 2020, vol 20, núm. 22: pp 6664 - 6683.
7. LIU, Chao. et al. "Infrastructure-Free Indoor Pedestrian Tracking with Smartphone Acoustic-Based Enhancement". *Sensors*, 2019, vol 19, núm. 11, pp 2458 - 2474.
8. WANG, Wei. Et al. "An Improved PDR Localization Algorithm Based on Particle Filter ". *Computing and Informatics*, 2020, vol. 39, núm. 1-2, pp. 340 - 360.
9. YAN, Dayu. et al. "FlexPDR: Fully Flexible Pedestrian Dead Reckoning Using Online Multimode Recognition and Time-Series Decomposition". *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, vol. 9, núm. 16, pp. 15240-15254.
10. BOSCH GLOBAL. All about MEMS sensors. 2022.
11. YU, Yues. et al. "Autonomous 3D Indoor Localization Based on Crowdsourced Wi-Fi Fingerprinting and MEMS Sensors". *IEEE Sensors Journal*, 2022, vol. 22, núm. 6, pp. 5248 - 5259.

12. PRESSMAN, Roger. *Ingeniería del Software*. Connecticut: MCGrawHill Education, 2010.
13. GU, Fuqiang. et al. "Robust and Accurate Smartphone-Based Step Counting for Indoor Localization". *IEEE Sensors Journal*, 2017, vol. 17, núm. 11, pp. 3453 - 3460.
14. KUNHOTH, Jayakanth. et al. "Indoor positioning and wayfinding systems: a survey." *Human-centric Computing and Information Sciences*, 2020, vol 10, núm. 18.
15. KAMISAKA, Daisuke. et al. "Design and Implementation of Pedestrian Dead Reckoning System on a Mobile Phone". *Transactions on Information and Systems*, 2011, vol. 94, núm 6, pp. 1137 - 1146.
16. LU, Wenxia. et al. "A Step Length Estimation Model of Coefficient Self-Determined Based on Peak-Valley Detection". *Journal of Sensors*, 2020, vol. 2020, núm. 1.
17. WEINBERG, Harvey. "Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications". *Analog Devices*, 2002.
18. YANG, Zheng. et al. "Increases Localizability: A Survey on Wireless Indoor Localization using Inertial Sensors", *ACM Computing Surveys*, 2015, vol. 47, núm. 3, pp. 1 - 34.
19. CHEN, Zhenghua. et al. "Smartphone Inertial Sensor-Based Indoor Localization and Tracking With iBeacon Corrections". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2016, vol. 12, núm 4, pp. 1540 - 1549.
20. KANG, Wonho; HAN, Youngnam. "SmartPDR: Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning for Indoor Localization". *IEEE Sensors Journal*, 2015, vol. 15, núm 5, pp. 2906 - 2916.
21. HUANG, Lu. et al. "Combination of Smartphone MEMS Sensors and Environmental Prior Information for Pedestrian Indoor Positioning". *Sensors*, 2020, vol. 20, núm. 8, pp. 2263 - 2288.

Víctor F. Miramá, PhD. en Ciencias de la Electrónica, Magister en Electrónica y Telecomunicaciones, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Colombia. Es profesor de tiempo completo del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, investigador asociado en la clasificación de Minciencias, sus áreas de investigación comprenden los sistemas de posicionamiento, los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricas y el uso de aprendizaje automático en Telecomunicaciones.

Diego A. Martínez, es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, sus áreas de investigación comprenden los sistemas de posicionamiento en interiores y sus servicios.

Sergio A. Leyton, es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, sus áreas de investigación comprenden los sistemas de posicionamiento en interiores y sus servicios.

# PROGRAMA GENERAL

# XI Conferencia Internacional del Centro Europeo Latinoamericano de Logística. Proyectos

# (CELALE)

**PROGRAMA GENERAL**
**CENTRO EUROPEO LANINOAMERICANO DE LOGISTICA Y PROYECTOS ECOLOGICOS CELALE XI**
**Del 25 al 29 de noviembre de 2024**

| | Día / Day | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Horario/Hours** | **25.11** | **26.11** | **27.11** | **28.11** | **29.11** |
| **09:00-16:00** | Acreditación | | | | |
| **09:00-10:00** | | Conferencias Magistrales Centrales, Sala 3, 09:00-10:00 horas | | | |
| **10:00-10:20** | | | Inauguración CELALE XI 2024<br>Palabras inaugurales sala X<br>Conferencia inaugural: Retos actuales para el desarrollo de la Logística | | |
| **10:40-13:00** | Acto inaugural<br>XXI CCIA<br>Sala 1<br>11:00 horas | | Presentación de ponencias sobre los temas CELALE | | |
| **13:00-15:00** | Brindis bienvenida<br>XXI CCIA<br>Rest. El Bucán<br>13:00 horas | Almuerzos. Restaurante El Bucán y Cafetería Flamboyán | | | Almuerzo de despedida<br>XXI CCIA. Rest.<br>El Bucán<br>13:00- 17:00 horas |
| **14:00-17:00** | | Encuentro líderes científicos.<br>Sala X, 14:00 horas | Ceremonia Condecoraciones.<br>Sala 5, 14:00 horas | | |
| **18:00** | | Gala XXI CCIA | | | |

# Programa Técnico
## CENTRO EUROPEO LANINOAMERICANO DE LOGISTICA Y PROYECTOS ECOLOGICOS CELALE XI
## DEL 25 AL 29 DE NOVIEMBRE DE 2024

**Día:** 27.11.2024 **Sesión:** Mañana

**Presidente Sesión:** Dr. Cs. José A. Acevedo Suárez **Sala:** X

| DIA 27 NOVIEMBRE 2024 | | | |
|---|---|---|---|
| **Horario** | **Código** | **Actividad** | **Ponente** |
| 10:20-10:40 | CELALE-1 | Procedimiento para evaluar la gestión de creación de valor e identificación de reservas en la cadena productiva de artículos de piel natural en cuba | Dr. Fernando Vecino Guerra |
| 10:40-11.00 | CELALE-2 | Social and economic determinants of the evolution of agri-food environmental footprints. the case of Castilla-La Mancha (spain) | Profesor Juan Sebastián Castillo-Valero |
| | CELALE-3 | Estado y evolución de la capacitación y formación en logística y cadena de suministro en Colombia | Dra. Ana Julia Acevedo Urquiaga |
| 10:00-10:20 | CELALE-4 | Estudio de los programas curriculares de la educación profesional superior en Cuba en Sistemas de Producción, Logística y Cadenas de Suministro | Ing. Jorge Esteban Castañeda Rodríguez |
| 10:20: 11:40 | CELALE-5 | Modelación Matemática de Sistemas de Producción. Caso de estudio los Consumidores influencia del submodelo en el resto del Sistema de Producción | M Sc Pedro A. Monteagudo Azcuy |
| 11:40 12:00 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |
| 12:00-12.20 | CELALE-6 | Propuesta de un Sistema de Capacitación para elevar la efectividad de los Sistemas de Producción, la Logística y las Cadenas de Suministro en Cuba | M Sc Luis Ángel Ruíz González |
| 12.20-12.40 | CELALE-7 | Modelo de gestión integrada de las cadenas de suministro como base de la digitalización | Dra. C. Martha Gómez Acosta |
| 12:40-13:00 | CELALE-8 | Modelo de aseguramiento de los procesos en la división de logística y servicio de ETECSA | Ing. Zuleyka Chacón Núñez |
| 13:00-13:40 | CELALE-9 | Conceptualización de la gestión de inventario y el índice de calidad percibida por nuestros clientes, | Ing. Alexis Benítez Soriano |
| 13:40 14:.00 | | Preguntas y respuestas sobre las presentaciones realizadas | |

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# TRAZABILIDAD DEL VALOR EN LA CADENA PRODUCTIVA CON LA FICHA DE COSTO ESTANDAR

Fernando José Vecino Guerra.. guerravecino@ind.cujae.edu.cu, Universidad Tecnológica de la Habana.
José Antonio Acevedo Suarez. acevedo@tesla.cujae.edu, Universidad Tecnológica de la Habana.
Antonio B. Zaldivar Castro. tony@icb.cujae.edu.cu, Universidad Tecnológica de la Habana.

## Resumen

Este articulo presenta un procedimiento que va a contribuir a la dirección, coordinación y colaboración en el conjunto de empresas, que pertenezcan a una cadena productiva al evaluar desde el primero hasta el eslabón final, la generación de valores agregado y la captación de valor en toda la cadena para maximizar el valor añadido de los productos, para lo cual la máxima dirección de nuestro país Castro (2012) [1] ha reconocido los encadenamientos productivos.
En el comportamiento de la cadena de producción de artículos de piel natural en Cuba se definió un **problema de investigación** que se expresa como: Bajo reconocimiento de valor de los productos de la industria de artículos de piel natural por el cliente final, siendo **objetivo general** de la investigación precedente obtener un procedimiento con un sistema de herramientas, como indicadores para evaluar la gestión de creación de valor en los productos y su captura e identificar reservas en esta cadena de producción que determino:

- El valor agregado como el valor de los recursos necesarios al comenzar el proceso de su creación, en cada eslabón, lo que es decisión de diseñadores y desarrolladores
- La evaluación de los indicadores de valor a partir de la ficha de costo predeterminada y el plan de negocios y una relación entre ellos como expresión de eficiencia
- Una ficha de valor por cada producto con los indicadores utilizados, que permitió observar la trazabilidad y acumulación de valor hasta el cliente
- Reservas de valor existentes con la posibilidad de aumentar el reconocimiento de valor.

**PALABRAS CLAVES:** cadena de valor, valor añadido, valor agregado, encadenamiento productivo, eslabones.

## ABSTRACT

This article presents a procedure that will contribute to the direction and coordination, in the group of companies that belong to a productive chain by evaluating from the first to the final stage, the generation of gathered value and the capture of value in the end of chain to maximize the added value of the products, for which the highest management of our country Castro (2012) [1], has recognized the need for productive Chains.
In the behavior of the production chain of natural leather articles in Cuba a research problem was defined which is expressed as: low value recognition of the products of the natural leather articles industry by the end customer, being a general objective of the preceding investigation obtained a procedure with a tool system, as indicators ro evaluate the management of value creation in the products and their capture and identify reserves in the production chain that determined:

- The gathered value as the value of the resources necessary at the beginning of the creation process, in each link, which is the decision of designers and developers.
- The evaluations of value indicators from the predetermined cost sheet and the business plan and a relationship between them as an expression of efficiency.
- A value sheet for each product with the indicators used, which made it possible to observe the traceability and accumulation of value to the customer.
- Existing value reserves with the possibility of increasing value recognition.

**key words:**

Value Chain, added value, gathered value, productive chaining, chaining stage.

## Introducción

Atendiendo a la formación de valor y sus fuentes, reflejadas en el producto mercantil, se puede dirigir de forma más precisa la creación del mismo, a partir de la investigación y desarrollo en función de la mejora y excelencia de los productos así lograr la necesaria diferenciación actuando en el tiempo presente cada uno de los operadores de la cadena, de forma coordinada aumentando el valor creado por otros actores de forma pretérita que es seleccionado por los diseñadores e ingenieros para ser componente o insumo para otorgarle atributos y prestaciones al nuevo producto.
Utilizando el plan de negocio de las empresas y las fichas de costos de los productos, se agrupan los gastos, costos, impuestos, aportes y contribuciones como refleja la Ley No.113 (Consejo de Ministros, 2012) [2] y las utilidades, clasificándose los saldos anteriores en valores agregados de procesos precedentes y valor añadido en el proceso presente lo cual conformará una ficha de valor donde se revela y diferencia el significado monetario del valor creado en el proceso presente del creado en procesos pretéritos en la. Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de la ficha de valor de un producto.

| **Valor Agregado** | **Valor Añadido** | |
|---|---|---|
| Pretérito | **Presente** | |
| Suma de costos: | Suma salarios en: | |
| De insumos, materias primas y materiales en: | • Costos directos e Indirectos de producción. | • Aporte a la seguridad social del 3 al 5 % d salario. |
| • Costos directos e Indirectos producción | • Gastos Generales y de Administración | • Aporte a la OSDE. |
| • Gastos Generales y Administración | • Gastos de Distribución y Venta más: | • Contribución territorial del 1% de los ingresos. |
| • Gastos de Distribución y Venta más | Más: impuestos y contribuciones aporte | • Impuesto del 35% de Utilidad. Rendimiento estatal |
| De Depreciación y amortización de: | • Impuesto del 5% de fuerza trabajo | Más: Gastos financieros. |
| • Activos fijos tangibles e intangibles | • Contribución a la Seguridad soc 12.5 % | Más: Utilidad Neta |

Los clientes al comprar, reconocen un precio y lo valorizan, que equivale al valor alcanzado por salario total más contribuciones, impuestos, aportes más utilidad, a lo que se le suma el valor agregado definido aquí, así el valor añadido se maximiza con un alto rendimiento de la fuerza laboral a través de la innovación y mejoría constante de los productos en cada eslabón, así, al dividir él VA sobre el valor agregado, nos da una medida de la eficiencia a partir del valor reunido de partida con el esfuerzo del capital humano de cada empresa.
Estos conceptos antes mencionados pueden ser expresados a través de las siguientes fórmulas:

$$VGC = P \times CPV, \quad \text{.....(1)}$$

$$VAF = PxCPV - VAG, \quad \text{..... (2)}$$

$$VAT = VAF + \sum_{K=1}^{n} VAE_K \quad \text{..... (3)}$$

Donde:

VGC: Valor generado en la cadena.

P: precio del producto final.

CPV: Cantidad de productos finales vendidos.

VAF: Valor añadido al finalizar la cadena.

VAG: Valor agregado precedente

VAT: Valor añadido total en la cadena.

VAEn: Valor añadido en cada eslabón, el cual es capturado y retenido dentro de la cadena.

n: cantidad de eslabones en la cadena.

Siendo:

$$VGC = VAT + VAG \quad \text{.....(4)}$$

$$P = \frac{VGC}{CPV} \quad \text{.....(5)}$$

En la cadena el análisis se debe hacer por cada eslabón.

**Análisis de la creación de valor en la cadena a partir del costo estándar**

La definición de Polimeni, Fabozzi, Adelberg, and Kole (1997)[3] sobre el costo estándar y su agrupación en una ficha de costo predeterminada desde el punto de vista del costeo revela cual es el costo de una unidad de producto y su composición, donde se reflejan los gastos de: materias primas y materiales, salarios directos, depreciación y gastos indirectos de la producción todos estos gastos formaran el nuevo valor, señalando al mismo tiempo las acciones a desarrollar lo que se proyectara en la mejoría del valor creado.

Los desarrolladores, ingenieros o diseñadores se encargan de diseñar los productos con un valor de uso determinado, siendo su tarea con este fin:

- Determinar componentes materiales, piezas y partes, la naturaleza física, química o biológica de los productos, además, estudian y miden sus características cualitativas, las normas de consumo, definiendo así el valor de los materiales y el costo material.
- Decidir la tecnología y los activos productivos a utilizar en el proceso productivo, la organización de los puestos de trabajo con sus medios de producción y herramientas así se puede calcular el valor transferido por los medios de trabajo a los productos (costo de depreciación).
- Hacer los estudios de tiempo y de normación definir la cantidad de trabajadores que se necesitan en este proceso, su tarifa de escala y el tiempo de duración de la producción, para determinar el gasto de salario directo.
- En adición el departamento económico a partir de los gastos indirectos presupuestados y el salario directo, distribuye estos en el costo de los productos a través del cálculo de un coeficiente de distribución.

Todo lo anterior es válido para presentar una ficha de costo predeterminada, que fueron utilizadas en la investigación precedente para determinar el valor económico creado en cada producto de la cadena (por eslabón) y el valor creado por toda la cadena.

También Acevedo, Gómez, Urquiaga et al. (2017, p. 305) [4] señala que uno de los parámetros que caracterizan la cadena de suministro es el costo (CO) agregado en cada proceso de la cadena, En una cadena de 4 eslabones, donde el precio entre eslabones se determina como la suma del costo que se recibe, su propio costo y un margen de utilidad (U), de esta forma el cliente final recibirá el producto con un precio (Pf) como la sumatoria de los costos y utilidad de cada eslabón.

Las transacciones que ocurren en una cadena permiten el crecimiento del valor (Agencia de marketing digital, 2022) [5], y refiere que las transacciones ayudan a crear y capturar valor. Al maximizar su valor, una empresa puede aumentar su participación en el mercado con un mayor reconocimiento de valor.

**Estudio de las fichas de costo predeterminadas y el plan de negocios en cada eslabón y preparación de la información. Obtención de la ficha de valor**

Para la determinación del costo del producto por eslabones y en la cadena, fue necesario revisar las fichas de costo predeterminadas de cada operador a lo largo de la Cadena de producción, para observar la trazabilidad de agregación de valor, así se coincide con Vivar, Erazo, and Narváez (2020) [6], quien opinan que la ventaja competitiva a largo plazo, será en forma de diferenciación o en costos.

En el sistema empresarial cubano estos costos indirectos asociados a la producción se refieren a los que ocurren en las áreas de fabricación, siendo comunes al proceso productivo asignándose a la unidad de producto a través de un prorrateo.
En la investigación precedente se estudiaron las fichas de costo de los productos, el estado de resultado planificado y el plan de negocios para el año de cada operador de la cadena y se verifica la utilización de la Res.20/14 del Ministerio de Finanzas y Precios (2014b) [7] y la Res.148/23 del Ministerio de Finanzas y Precios (2023) [8].
El comercializador mayorista entrega al comercializador minorista al importe resultante de adicionar al precio de empresa del productor, el margen comercial que le corresponda y los tributos que proceda.
Las tasas de margen comercial se determinan por el MFP y se estructuran de acuerdo con los niveles de circulación nacional, territorial, provincial y minorista.
En la Res.20/14 del Ministerio de Finanzas y Precios (2014b) [7], se establece que:
El precio mínimo se determina por el método de gastos y representa el monto mínimo con el que se recuperan los costos y gastos y se cumplen las obligaciones fiscales.
Así la Resolución 148/23, del Ministerio de Finanzas y Precios (2023) [8], modifica respecto a la Resolución 20/14 del Ministerio de Finanzas y Precios (2014b) [7], las tasas máximas de utilidad por para actividades de la formación de precios por métodos de gastos de las entidades estatales y sociedades mercantiles de capital ciento por ciento cubano.

## Materiales y Métodos.

**Se desarrollan varias actividades para formulación de valor en los distintos eslabones.**

Actividad No.1 Se formula el cálculo del valor generado, añadido y agregado en el eslabón primario.

Como ha definido Springer (2017a, p. 93) [9], "El valor total generado es el valor más importante en el análisis económico de la cadena de valor" y lo formula como: "Valor Total generado = Precio final del producto por unidad multiplicado por el número de unidades vendidas representando el valor de venta de toda la cadena de valor, Así Springer (2017a, p. 93) [9], expresa que el valor generado por la cadena de valor se estructura en:

1. Salarios, intereses, rentas, depreciación, impuestos y utilidad (para pagar al capital, a los trabajadores, los alquileres y los impuestos).
2. Productos intermedios como materia prima, semiproductos, transferidos a operadores de la cadena.
3. Otros insumos y servicios como energía, agua, operacionales, de suministradores externos.

Mientras que (Herr & Muzira, 2011, p. 107) [10] , hacen las siguientes afirmaciones: "el valor agregado se genera a través de las transacciones en la cadena de valor. El valor de las ventas o los ingresos (precio x volumen) obtenido por la cadena de valor está constituido por el valor agregado creado por los operadores que integran la cadena de valor, y los bienes intermedios, insumos y servicios de explotación proporcionados por los proveedores que no forman parte de la secuencia central de la cadena de valor" y continúan señalando, "el principio de cálculo del valor agregado se puede aplicar a cada fase de la cadena".
En la investigación precedente se consideró clasificar el valor aportado por los operadores como valor capturado en la cadena (VK), así como el valor aportado por algunas empresas que son actores internos de la cadena ya que su objeto social es producir para esta, mientras el valor que aportan los actores externos de la cadena sustrae valor de la misma y retiran de esta una parte del valor suministrado (VS).
De esta forma se distribuye el valor agregado entre los distintos eslabones de la cadena, entre los operadores de la cadena y proveedores internos, por un lado, y los proveedores externos, por el otro.
La fórmulas que van a expresar el valor que está creando la cadena distingue el valor que se crea en el ciclo productivo en tiempo presente (producto del trabajo vivo) en la empresa que ha sido diseñado y decidido por desarrolladores, ingenieros y diseñadores junto a las fuerzas productivas con que cuenta, las innovaciones y proyectos de desarrollo es capaz de elevar el valor respecto al aquel reunido al comienzo del proceso como materias primas, materiales e insumos más los activos fijos (producto del trabajo pretérito) que participan en el proceso.
Una empresa creará valor cuando se aumenta el margen entre el valor generado y el valor agregado o la diferencia entre precio y costo de todos los semiproductos, materias primas, componentes, partes, piezas, otros insumos y servicios más el gasto de depreciación de los activos fijos. El precio de cada empresa (Pe) y precio final de los productos de la cadena (Pfc) y lo que se definió como el Valor Agregado en cada empresa (VAGen) y en la cadena (VAGfc) permiten elaborar una ficha de valor para cada producto de cada operador determinándose el valor generado, el valor añadido y el valor agregado en cada eslabón de la cadena.

El valor inicial se definió desde el eslabón No.1, su origen generalmente puede ser de un proceso agropecuario, minero, de importar el insumo principal o de un proceso químico o biológico. Una vez definido el primer eslabón, se estudió su ficha de costo predeterminada, para el resto de los eslabones se procedió de la misma forma.

También el precio se establece por correlación donde se tiene como referencia los precios a que se cotizan los bienes o productos en el mercado, en la práctica internacional hay muchas técnicas para determinar el costo, al respecto Kotler, Camara , and Grande (1995, p. 562) [11], comenta: "ciertas empresas industriales sofisticadas utilizan una herramienta denominada 'valor económico del cliente' para facilitar a los clientes la percepción del valor, que se determina mediante la comparación de los costos del producto que el cliente está utilizando actualmente (producto de referencia) y sus beneficios" y asi también Araujo (2011) [12], le asigna una importancia secundaria al mercadeo para formar el valor, sin embargo reconoce que, la elaboración de la materia prima sería un valor primario y el marketing secundario.

En este caso al salir del eslabón No.1 el valor generado en el producto $VGe_1$ = Valor generado en la empresa (en el eslabón No.1 o primario) será:

$$VGe1 = Pe1 \times CPVe1, \text{también} \quad \text{.....(6)}$$

$$VGe1 = VAe1 + VAGe1 \quad \text{.....(7) Dónde:}$$

$Pe_1$ = precio empresa del producto en el eslabón primario.

$CPVe_1$ = Cantidad de productos vendidos por la empresa en el eslabón primario.

$VAe_1$ : Valor añadido por la empresa.(valor añadido en el eslabón primario por la empresa, para entregar un producto que sea percibido por su valor a las empresas del segundo eslabón).

$$VAe_1 = \sum_{k=1}^{n} (S_u + CL_u + U_u) \cdot (CPV_{e1})_k = VG_{e1} - VAG_{e1} \quad \text{..... (8)}$$

Donde:

Su: Total de salario incluye los directos y los indirectos de todas las áreas,

CLu: Contribuciones e impuestos,

U: utilidad, todos estos expresados por unidad según Ficha

$VAGe_1$: Valor agregado reunido para iniciar el proceso productivo.

También el $VAGe_1$: sumatoria del costo de todos los recursos de 1 a m (insumos, materiales, componentes, partes, piezas, consumos y servicios según norma de consumo de la unidad de producto por el precio de cada recurso de 1 a m más los gastos de Materiales auxiliares y otros de servicios en los gastos indirectos (MAS) más gastos de depreciación de los activos fijos cargado a la unidad de producción GDu) por la cantidad de productos n vendidos por la empresa.

$$VAG_{e1} = \sum_{k=1}^{n} ((\sum_{j=1}^{m} Pe1_j \cdot Re1_j + (MAS + GDu)_k \cdot CP_k V) \quad \text{.....(9)}$$

Donde:

$Pe_1m$: precio del recurso m en el eslabón primario.

$Re_1m$: norma de consumo del recurso m en la unidad de producto n en el eslabón primario.

GDun: gasto de depreciación que carga cada unidad de producto n en el eslabón primario.

n: numeración del producto corresponde con la cantidad de códigos de productos.

$MAS_n$ = gasto de materiales auxiliares y servicios presupuestados por unidad de productos.

Actividad No.2 Se formula el cálculo del valor generado, añadido y agregado en cada eslabón.

Al respecto señala Springer (2017a, p. 94) [ 9], "La distribución de valor generado en la cadena es transferida a suministradores internos y externos de la misma. Se reparte entre el valor añadido, valor de los semiproductos o productos intermedios suministrados por operadores de los eslabones previos y el valor de las entradas de productos y servicios de otras empresas".

Los autores plantean que debe caracterizarse el tipo de actividad de las empresas existentes donde están los eslabones de transformación y los comerciales, siendo de transformación, cuando a partir de los recursos adquiridos crean un nuevo producto y comerciales cuando no crean productos nuevos y se ocupan de las actividades de circulación, almacenamiento, transportación y distribución del producto, aumentando su valor de uso al distribuirlo al próximo eslabón(con los valores logísticos que aportan).

Los eslabones de transformación determinaran el valor de forma similar al primer eslabón, si son eslabones intermedios, que venden su producto a un operador de otro eslabón de la cadena que puede ser de transformación o comercial.

**$VGe_{xy}$ :** Valor generado en la empresa x (en el eslabón y, donde ella opera),

$VGe_{xy} = Pe_{xy} \cdot PVe_{xy} = VAe_{xy} + VAGe_{xy}$ .....(10)

$VAe_{xy} = VGe_{xy} - VAGe_{xy}$ ..... (11)

$$VAe_{xy} = \sum_{k=1}^{n} (S_u + CL_u + U_u) \cdot (CPV_{e1})_k = VGe_{xy} - VAGe_{xy} \quad \text{....(12)}$$

Donde:

$Pe_{xy}$: precio de la empresa X en el eslabón Y para el siguiente operador del próximo eslabón.

$CPVe_{xy}$: Cantidad de productos vendidos por la empresa X en el eslabón Y al siguiente operador.

**$VAe_{xy}$**: Valor añadido por la Empresa X. ( en el Eslabón Y ), X: número de empresa n.

$VAGe_{xy}$ : Valor agregado reunido para iniciar el proceso productivo en la empresa x en el eslabón y

También $VAGe_{xy}$ es la sumatoria de 0 a n productos del costo de todos los suministros o materias primas (imp). de 1 a m, según norma de consumo de la unidad de producto por el precio de cada recurso m, en la empresa x del eslabón y, más el gasto de depreciación unitario de los activos que intervienen en el proceso del producto n.

$VAGe_{Xy} = \sum_{k=1}^{n} ( (\sum_{j=1}^{m} (Pej \,.\, Rej) + GDuk + MASuk) \,.\, CPkV)$ en la empresa x del eslabón y. .....(13) Donde:

Pem : precio del recurso m en la empresa X del eslabón Y.

Rem : norma de consumo del recurso m en la unidad de producto en la empresa x del eslabón y

GDun : gasto de depreciación cargado a cada producto n de los activos fijos que se utilizan en su proceso productivo en la empresa x del eslabón y.

MASn : gasto de materiales auxiliares y servicios presupuestados por unidad de productos n.

Actividad No.3 Se formula el cálculo del valor generado, añadido y agregado en los eslabones comerciales.

Los eslabones comerciales no crean un nuevo producto, pero aumentan su valor al aumentar prestaciones relacionadas con la transportación, la conservación, el almacenamiento y otras garantías dadas a los consumidores. Los costos de comercialización del producto son: de transportación, almacenamiento, distribución, entre otros, que serán añadidos al precio de compra del anterior operador y como es una empresa debe obtener una utilidad (U) expresado en la siguiente fórmula:

**VGcn :** Valor generado en la empresa comercializadora mayorista x (del eslabón y.)

$VGcn = Pe_{xy} \cdot CPV_{xy} = VAG_{cxy} + VA_{cxy} = Pe_{xy} \cdot CPV_{xy} + Dcn$ ..... .(14) Dónde:

Pn: precio de la empresa comercializadora mayorista x para el siguiente operador o al cliente final.

CPVn : Cantidad de productos vendidos por la empresa comercial al siguiente operador o al cliente.

$Pe_{xy}$ : precio de la empresa x transformadora anterior del eslabón y.

$CPV_{xy}$ : cantidad de productos vendidos a la comercializadora por la empresa anterior x del eslabón y.

Dcn : Depreciación de los activos fijos de la empresa comercializadora n correspondiente a la venta.

VAcn : Valor añadido por la Empresa comercializadora n, incluye las dos tazas mayoristas 1N y 2N.

El valor añadido por la mayorista es la TMC del 1er nivel (1N) + TMC del 2do nivel (2N)

$VAcxy = TMC1xy + TMC2xy$ .....(15) Donde:

TM1xy : 1era Tasa mercantil comercial mayorista según resolución del MINCIN.

TM2xy: 2da Tasa mercantil comercial mayorista según resolución del MINCIN.

La creación de valor en la comercialización minorista x en el eslabón y

VGcm : Valor generado en la empresa comercializadora minorista m, (del eslabón y)

$VGcmxy = Pcmxy \cdot CPVcmxy = VAGcmxy + VAcmxy$ .....(16)

Donde:

Pcm: precio de la empresa comercializadora minorista m, para el cliente final.

CPVcm : Cantidad de productos a vender por la empresa comercial minorista al cliente final.

Valor agregado en la empresa comercializadora minorista

$VAGcm = Pcnxy \cdot CPVcnxy + Dcm$ .....(17)

Donde:

Pcnxy : precio de la empresa n mayorista.

CPVcn : cantidad de productos que vende la empresa n, mayorista a la empresa minorista.

Dcm : depreciación de activos fijos de la empresa comercializadora m que se distribuye en la venta.

VAcm : Valor añadido por la Empresa comercializadora minorista m. (en el eslabón No.6)
El valor añadido por la minorista equivale a una TMC del 3er nivel (3N) + impuesto minorista
VAcm = TMC3cxy + IMcxy ……(18)
Donde:
TMC3cxy: 3era Tasa mercantil comercial minorista según resolución del MINCIN*.
Im : impuesto minorista, según resolución del MINCIN (Ministerio del Comercio Interior, 2021) [13]

Actividad No.4 determinación del valor generado, agregado y añadido en la cadena.

La creación de valor en una cadena es una consecuencia del valor creado en las empresas que agrupa, habrá un valor agregado precedente, relacionados con los componentes o insumos y sus normas de consumo, la cotización de estos por unidad productiva o de servicio y la integración de componentes o insumos que satisfaga el diseño, así como la decisión de los activos productivos a utilizar, que generan para el producto un valor equivalente a su depreciación.
Mientras el valor añadido es dependiente del precio que se oferte al mercado a su vez este se va a fijar en función de los atributos y prestaciones adquiridas al comprar los componentes e insumos y de los atributos y prestaciones que se alcancen cuando en el proceso de producción se integran o fusionan para dar un resultado de atributos de nuevos productos, que entregan al consumidor, con prestaciones que satisfagan o superen su expectativa y de esta manera lo perciba el cliente como precio justo.
El desarrollo de nuevos productos en la empresa o la cadena puede verse por dos vías:

- Desarrollar NMP a partir de la capacidad de innovación y desarrollo propio siguiendo un procedimiento que ha sido elaborado para guiar metodológicamente el proceso de diseño y desarrollo.
- A través del desarrollo de proyectos de investigación pudiendo ser sectoriales, ramales o nacionales dentro de un programa nacional de ciencia y técnica o que no respondan a un programa y sean independientes realizado por la propia empresa o subcontratado.

**Formular para determinar el Valor capturado (VK) y valor sustraído (VSAN) para las empresas productoras, comercializadoras y la cadena.**

Según expone Springer (2017a, p. 94) [9]"Para determinar el valor capturado por los operadores de la cadena, el costo de compras de materiales, componentes y servicio tiene que ser deducidos del valor generado".

Actividad No1 Formulación para calcular Valor capturado(VK) y Valor sustraído(VSAN) en los eslabones de transformación.

VGe = VAe + VAGe , si VAGe = VSO + VSAC + VSAN, ……..(19) entonces:
VGe = VAe + VSO + VSAC + VSAN, ……..(20) donde:
VSO = valor suministrado por los operadores del eslabón anterior.
VSAC = valor suministrado por actores internos de la cadena.
VSAN = valor suministrado por actores externos de la cadena.
La cantidad de valor capturado en la cadena es: Valor capturado= Valor generado – (valor de productos intermedios + valor de otros insumos o servicios, ambos de actores que no pertenecen a la cadena).
Los operadores se adueñan del objeto de trabajo al comprarlo y realizan transformaciones en él, aumentando su valor y adicionando costos para acercarlo a sus cualidades finales y continuaran recibiendo transformaciones y añadiendo valor para lo cual venden al siguiente operador y así sucesivamente hasta llegar al eslabón final donde un operador minorista, vende a clientes en determinado mercado. Cada uno de estos operadores establecen relaciones de compra con actores que le proporcionan suministros o servicios estos actores pueden ser específicos suministradores de este operador en un eslabón, o pueden ser suministrador común para varios operadores. Determinados actores producen materias primas solo para una cadena y pertenecen a esta (internos) y su valor añadido permanece en ella.
Los actores externos a la cadena, venden a los operadores de esta y contribuyen al incremento del valor generado por eslabón y en la cadena, pero sustraen de esta, la misma cuantía del valor de sus provisiones y lo retiran de la cadena y con alta frecuencia del país.

Así el Valor sustraído por actores externos a la cadena constituye una reserva de creación de valor para esta y debe analizarse si se puede asumir de forma eficiente este suministro dentro de ella.

En la empresa el suministro principal es proporcionado por el operador anterior (generalmente un semiproducto) a esta, el cual tiene un valor acumulado, definido como: valor suministrado por el operador al siguiente eslabón.

VSO = Ps x CSO, ……( 21)

donde:

Ps : precio del producto del operador que suministra (pesos/u).

CSO: cantidad suministrada por el operador (unidades).

El valor agregado en cada eslabón contiene al VSO y el valor suministrado por el resto de los actores este a su vez será valor suministrado por actores internos a la cadena (VSAC) y/o valor suministrado por actores que externos a la cadena (VSAN) estos últimos sustraen valor de la cadena.

Para determinar el valor que se captura en la cadena por sus operadores y otros actores internos de la misma y el valor que se sustrae por los actores externos a ella, se tuvo en cuenta:

VGe = VAe + VAGe , si VAGe = VSO + VSAC + VSAN ……(22)

entonces:

VGe =VAe +VSO +VSAC + VSAN, ……..(23)

siendo:

El Valor Capturado en el operador (VKe) = VGe – VSAN …… (24) y

El Valor sustraído, será equivalente al valor suministrado por actores externos a esta cadena = VSAN.

Actividad No2 Formulación para calcular Valor capturado(VK) y Valor sustraído(VSAN) en la comercialización.

En el caso del eslabón comercializador No.5 las tasas TMC1 y TMC2 que incluyen gastos, impuestos y utilidad del operador comercial ambas tasas constituyen valor añadido y el valor del producto a precio de empresa industrial que la comercializadora le compra, viene a ser el VAG, de la siguiente manera:

$VGc_n = VAc_n + VAGc_n$ ……..(25) Si no existen aquí actores externos,

$VKc_n = VGc_n$ y $VSAN_n = 0$..……...(26) donde:

$VGc_n$ : Valor generado en la empresa comercializadora n mayorista.

$VKc_n$ : Valor capturado en la empresa comercializadora n.

$VSANc_n$ : Valor sustraído en la empresa comercializadora n.

En el caso del eslabón comercializador No.6 la tasa TMC3 y el impuesto que incluyen gastos, impuestos y utilidad del operador comercial constituyen valor añadido y el valor del producto que recibe al comprarle a la empresa mayorista del eslabón No.5, viene a ser el $VAGc_m$ del producto a vender por la minorista, así:

$VGc_m : VAc_m + VAGc_m$ ……(27) Si no existen aquí actores externos:

$VKc_m = VGc_m$ y $VSAN_m = 0$; donde:

$VGc_m$ : Valor generado en la empresa comercializadora en el eslabón No.6.

$VKc_m$ : Valor capturado en la empresa comercializadora en el eslabón No.6.

$VSANc_m$ : Valor sustraído en la empresa comercializadora en el eslabón No.6.

Las reservas que pueden ser aprovechadas en los eslabones comerciales están en el costo de la creación de valor, la diversificación del producto y el aporte de valor de las empresas comerciales.

Actividad No3 Formulación para calcular Valor capturado(VK) y Valor sustraído(VSAN) en la cadena

El Valor capturado en la Cadena = VKc considera todo el valor que cada eslabón ha capturado al vender al siguiente eslabón, no es la suma de los valores capturados por cada eslabón ya que cada uno de ellos toma el valor generado anterior como el que aporta el operador anterior que contiene aporte de valor de actores que no pertenecen a la cadena.

El valor capturado en la cadena al final VKcf se obtiene mediante:

VKcf = VGcf – VSANc , ……(28) donde :

VGcf = VAcf + VAGcf ……(29) siendo:

VGcf : valor generado en la cadena al final.

VSANc :valor suministrado por actores externos a la cadena = valor sustraído a la cadena.

VAcf : valor añadido en la cadena al final.

VAGcf : valor agregado por la cadena al final.

Aquí otra reserva en la cadena está en el valor suministrado por actores que no pertenecen a la cadena en cada eslabón.

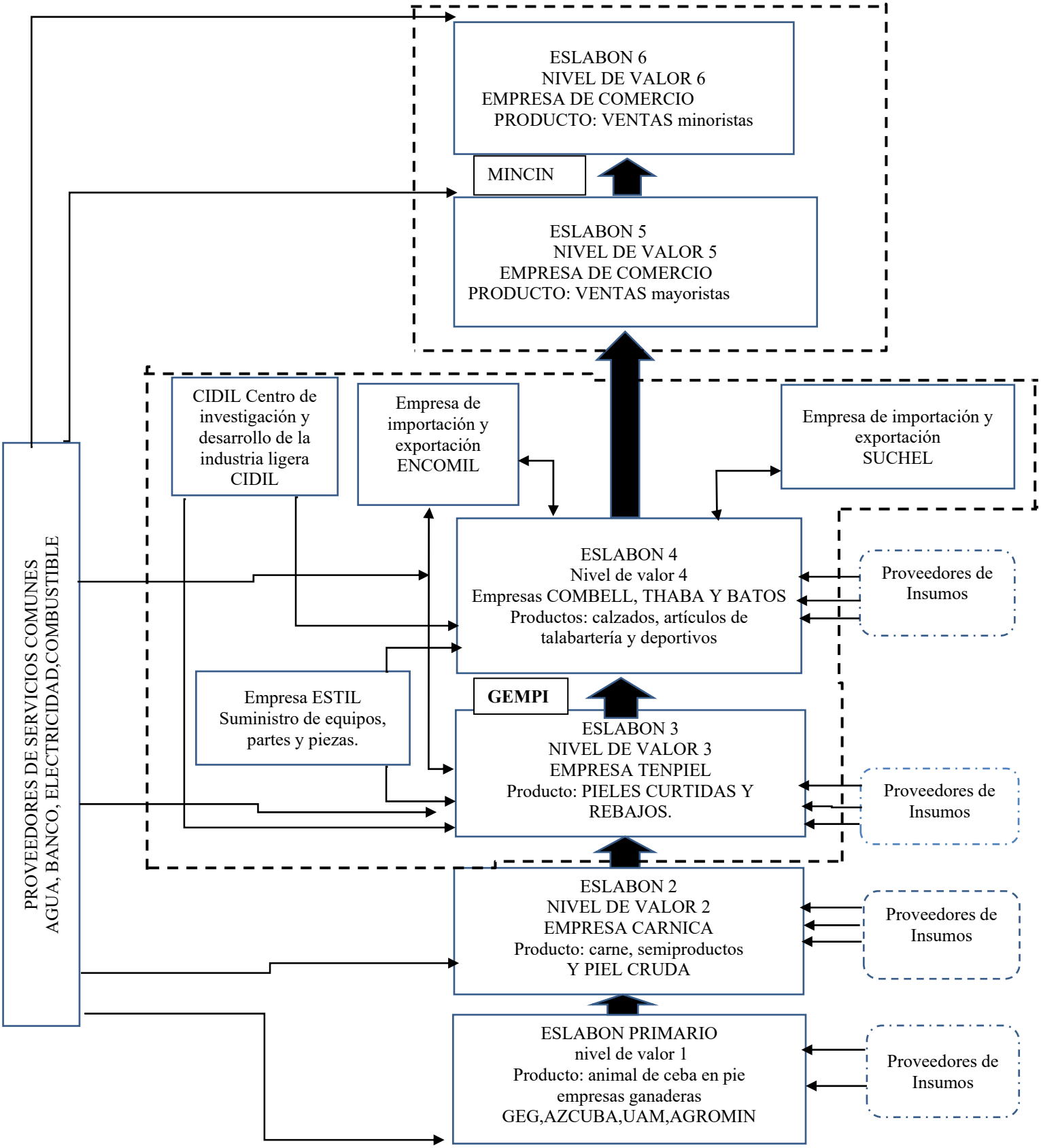
El autor es del criterio de que en el escenario actual a partir del ordenamiento monetario y cambiario en Cuba, la formación de precios, está soportada por legislaciones que permiten su fijación, a través del método de gastos o de correlación.

Se tomó como ilustración de la cadena el esbozo del mapa de la cadena de artículos de la piel, donde se reflejan los actores principales y los operadores así, como los eslabones y las transacciones reflejadas de origen a destino entre ellos. Vea figura 1 que se muestra más adelante. Este mapa representa 4 eslabones de transformación con las actividades de:

- El primario donde están presentes las unidades de cría de ganado de ceba que transfiere No. 2. Representadas por las empresas ganaderas.
- El No.2 el sacrificio obteniéndose la piel cruda con su costeo y valor. Representadas por las empresas cárnicas.
- El No.3 el curtido de pieles en las tenerías, obteniéndose piel curtida con su costeo y valor. Representadas por las empresas Teneras
- El No.4 transforman la piel curtida en variados productos como calzados, medios de protección, artículos deportivos, entre otros con su costeo y valor. Representadas por las empresas Combell, Thaba y Batos.
- El No.5 para el comercio mayorista y territorial con su costeo e incrementando valor. Representadas por empresas del grupo comercial de productos industriales
- El No.6 para la comercialización minorista con su costeo e incrementando valor. Representadas por el grupo de comercialización territorial.

Un mapa de la cadena de artículos de piel señala los componentes de esta y los 6 niveles de valor por donde transita la piel natural desde la ganadería hasta las manos del Cliente.

Fig. 1: Mapa de la cadena de valor de artículos de piel curtida.



**Estudio de las fichas de costo predeterminadas y el plan de negocios en cada eslabón.**

Todas las empresas operadoras de la cadena han elaborado las fichas de costo predeterminado de sus productos. Se estudiaron las fichas de costo de los productos que se representan por cada eslabón como se observa en la tabla 2.

Tabla 2 fichas de costo estudiadas por eslabones en la cadena.

| Eslabón | OSDE | Fichas estudiadas | cantidad |
|---|---|---|---|
| Primario. Empresa Ganadera. | GEG. Agricultura | Animal de Ceba 420 kg | 3 |
| No.2.Empresa Cárnica | GEIA. Alimenticia | Piel cruda | 1 |
| No.3.Empresa TENPIEL | GEMPIL | Piel y rebajos curtidos | 20 |
| No.4 Artículos de piel | | | 26 |
| Empresa COMBELL | GEMPIL | calzados | 8 |
| Empresa THABA | GEMPIL | Artículos de Talabartería | 13 |
| Empresa Batos | GEMPIL | Artículos deportivos. | 5 |

Fueron verificados las normas de consumo y los costos unitarios de cada suministro. Puede verse las fichas de costo en:

Empresa Agropecuaria Habana II. (2021)[13] ficha estandar de animal de Ceba , Empresa Cárnica. (2021 ) )[14]. Fichas piel cruda, Empresa de Calzados Combell. (2021) )[15] fihcas de calzado Combell, Empresa de Tenerías y Pieles (2021) )[16]. Fichas de piel curtida, Empresa Deportiva Batos. (2021) )[17] fichas de articulos deportivos de piel de Batos, Empresa Ganadera del Oeste. (2021) )[18] ficha estandar de animal de Ceba de la UAM, Empresa Talabartería Habana. (2021) )[19]. Fichas de productos de Talabarteria.

**Se Calcula el valor generado (VG), añadido (VA) y agregado en cada eslabón y en la cadena (VAG) y el valor capturado (VK) y valor sustraído (VSAN) en cada eslabón y en la cadena en MMpesos ver ver** Vecino, G. Fernando. (2024) [20]**, según tabla 3**

Eficiencia en la creación de valor. Aumento del valor = VA / VAG …….(30)
Parte de Valor generado que se retiene en la cadena = VK / VG ……...(31)

## RESULTADOS

- Se estableció un procedimiento para evaluar la gestión de creación de valor e identificación de reservas.
- Se hizo un mapa de la cadena para artículos de piel que permite identificar los actores y sus funciones.
- Se definieron y calcularon los indicadores de valor que permiten evaluar la gestión de creación de valor y su apropiación.
- Se identificaron las reservas de valor en la cadena y en el recurso principal para crear mayor valor dado en 109. 32 MMpesos fundamentalmente importaciones de insumos y materias primas equivalentes en el 2021 a usd. Cuando los inventarios se costeaban a 1pesos equivalente a un usd.

## CONCLUSIONES

1. Se conceptualiza la cadena de valor desde su perspectiva económica y desde el valor percibido por el cliente final y se reconoce la importancia de la ficha de costo predeterminada y la innovación y desarrollo en la cadena productiva en su evolución de la cadena de valor de artículos de piel en Cuba.
2. Se determinó cómo se genera el valor en las diferentes empresas para la confección de artículos con piel, concluyendo que no se logra el encadenamiento necesario y menos la concepción de CV y aprovechamiento de reservas, fundamentando el estudio de este problema.
3. Se elabora un procedimiento que permite medir indicadores como herramientas para evaluar los valores de partida y el nuevo valor creado, así como el valor que se retiene en la cadena para su reproducción.
4. Con la aplicación del procedimiento se identificaron reservas de valor en la cadena, para su aprovechamiento y aumentar su captación, así como una estrategia común de creación de valor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. CASTRO, R. R. (2012). Discurso pronunciado por el General de Ejército Raúl Castro Ruz, Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros. Sesión de clausura. La Habana: X Periodo de Sesiones de la Séptima Legislatura de la Asamblea Nacional.
2. CONSEJO DE MINISTROS. (2012). Ley No. 113. Establece todos los tributos, principios normas y procedimientos sobre el sistema tributario (Vol. 53). La Habana: Gaceta Oficial.
3. POLIMENI, R. J., FABOZZI, F. H., ADELBERG, A. A., & KOLE, M. (1997). *Costo estándar. Contabilidad de Costos* (3 ed.). Estados Unidos: McGraw-Hill.
4. ACEVEDO, J. A., GÓMEZ, M. I., URQUIAGA, A. J., GONZÁLEZ, R., GUTIÉRREZ, A. M., HERNÁNDEZ, M., & ACOSTA, L. (2017). *La Logística Moderna en la Empresa*. La Habana: Editorial Félix Varela.
5. AGENCIA DE MARKETING DIGITAL. (2022). Value chain: qué es una cadena de valor (2023). 2023, from https://www.comunicare.es/value-chain-que-es-una-cadena-de-valor-2022/
6. VIVAR, A. Y. A., ERAZO, J. C. Á., & NARVÁEZ, C. I. Z. (2020). La cadena de valor como herramienta generadora de ventajas competitivas para la Industria Acuícola. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 5*(10), 4-33. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7439104
7. MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS. (2014b). Resolución No. 20. Tratamiento contable y registro de costos, elaboración de ficha de costo (Vol. 12 Extraordinaria): Gaceta Oficial.
8. MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS. (2023). Resolución 148/2023, “Metodología para la elaboración de la ficha de costos y gastos de productos y servicios para la evalua¬ción de precios y tarifas (Vol. 64). La Habana: Gaceta Oficial.
9. SPRINGER, A. H. (2017a). ValueLinks 2.0 Manual on Sustainable Value Chain Development (C. C. Division 4D, Rural Development, Infrastructure, Trans.) (Vol. 1, pp. 1-52): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
10. HERR, H., & MUZIRA, J. T. (2011). Monitoreo y evaluación del desarrollo de cadenas de valor. Desarrollo de cadenas de valor para el trabajo decente (DECAV). Una guía para profesionales del desarrollo, funcionarios gubernamentales e iniciativas del sector privado (1 ed., pp. 187-219). Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
11. KOTLER, P., CAMARA , D., & GRANDE, I. (1995). *Dirección de Marketing* (8 ed.). Madrid: Prentice Hall.
12. ARAUJO, J. J. (2011). La cadena de valor en la gestión por procesos. 2023, from https://probuenosaires.org/la-cadena-de-valor/
13. MINISTERIO DEL COMERCIO INTERIOR. (2021). Resolución No.145 Tasas máximas de margen comercial (Vol. 74). La Habana: Gaceta Oficial.
14. EMPRESA AGROPECUARIA HABANA II. (2021). Fichas Agromin. Ficha de costo de animal de ceba en pie 1 ton. La Habana: Grupo Agropecuario del Minint AGROMIN.
15. EMPRESA CÁRNICA. (2021 ). Fichas piel cruda. Ffichas de costo piel curtida. Villa Clara: Ministerio de Industria. Grupo Empresarial de la Industria Ligera.
16. EMPRESA DE CALZADOS COMBELL. (2021). Fichas Combell . Fichas de costo predeterminada de calzado de piel natural. La Habana: Ministerio de Industria. Grupo Empresarial de la Industria Ligera.
17. EMPRESA de Tenerías y Pieles. (2021). Fichas Tenpiel. Fichas de costo predeterminada de pieles y rebajos curtidos. La Habana: Ministerio de Industria. Grupo Empresarial de la Industria Ligera.
18. EMPRESA DEPORTIVA BATOS. (2021). Fichas Batos. Fichas de costo predeterminada de artículos deportivos con piel natural. La Habana: Ministerio de Industria. Grupo Empresarial de la Industria Ligera.
19. EMPRESA GANADERA DEL OESTE. (2021). Fichas UAM. Ficha de costo de Res en pie 1 ton. La Habana: Unión Agropecuaria Militar. Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias.

20. EMPRESA TALABARTERÍA HABANA. (2021). Fichas Thaba. Fichas de costo predeterminada de artículos de talabartería con piel natural. La Habana: Ministerio de Industria. Grupo Empresarial de la Industria Ligera.
21. VECINO, G. FERNANDO. (2024). Procedimiento para evaluar la gestión de creación de valor e identificación de reservas en la cadena productiva de artículos de piel natural en Cuba (Ciencias Técnicas Tesis de Doctorado), Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana.

Fernando Jose Vecino Guerra, nacio en 1963 en Ciudad de la Habana,, Cuba, Ingeniero industrial (1986), en la Universidad Tecnologica de la Habana, Master en ciencias en direccion empresarial (2001), doctor en ciencias tecnicas (2024), profesor auxiliar de la universidad tecnologica de la habana, Jose antonio echeverria, director general de empresas industriales y director de inversiones en Ministerio de industrias y en centro nacional de investigaciones cientificas (CNIC). profesor auxiliar de la CUJAE, de la universidad de la Habana y de la universidad de Matanzas, ha impartido clases en la Universidad Ho Chi Ming en HCcity Vietnam. email, guerravecino@Cujae.edu.cu y guerravecino@gmail.com

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# SOCIAL AND ECONOMIC DETERMINANTS OF THE EVOLUTION OF AGRI-FOOD ENVIRONMENTAL FOOTPRINTS. THE CASE OF CASTILLA-LA MANCHA (SPAIN)

**Juan Sebastián Castillo-Valero[1], María Carmen García-Cortijo[2], Germán Andrés Cevallo Meneses[3] and Carmelo Díaz Poblete[4]**

[1]Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de los estudiantes s/n, sebastian.castillo@uclm.es
[2]Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de los estudiantes s/n, mariacarmen.gcortijo@uclm.es
[3]Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de los estudiantes s/n, german.cevallos@uclm.es
[4]Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de los estudiantes s/n, carmelo.diaz@uclm.es

## ABSTRACT

Interest in sustainability in the wine sector is increasing in parallel with awareness of the environmental impacts of climate change. In this context it is necessary to apply methodologies that quantify and assess the environmental emissions of farming activities. This study calculates the carbon footprint and explains it based on socio-economic variables, with an econometric model including Newey-West error correction, for vineyards in Castille-La Mancha, one of the world's leading vine-growing regions. The aim is to determine the main factors contributing to the evolution of the carbon footprint of vineyards in Castilla-La Mancha during the period from 2000 to 2022. The results show that it is the economic situation at the time that determines changes in the carbon footprint, as well as unforeseen shocks; also that the vineyard sector is more intensely affected than the rest of the farming sector, and that the measures adopted to date by agricultural policies have been insufficient. These results may be useful as a reference point for the wine sector and policy-makers enabling them to adopt decisions that will lead to a better environmental outcome.

**KEY WORDS:** Carbon footprint, wine sector, Castilla-La Mancha.

## *RESUMEN*

*El interés por la sostenibilidad en el sector vitivinícola crece al mismo tiempo que la concienciación sobre los impactos ambientales del cambio climático. En este contexto es necesario aplicar metodologías que cuantifiquen y valoren las emisiones ambientales de las actividades agrarias. En este estudio se ha optado por el cálculo de la Huella de Carbono y su explicación a partir de variables socioeconómicas, con un modelo econométrico de Correction de Errores Newey –West, para el viñedo de Castilla-La Mancha, región referente del sector a nivel mundial. Así, el objetivo es determinar cuáles son los principales factores que contribuyen a la evolución de la huella de carbono del viñedo de Castilla-La Mancha, en el periodo 2000 a 2022. Los resultados muestran que es la situación económica del momento la que determina el progreso de la huella de carbono, así como, también, los shocks inesperados, mostrándose el sector del viñedo con unos efectos más intensos que el resto del sector agrario; en cambio, las medidas de las políticas agrarias se muestran aun insuficientes. Estos resultados se muestran como referencia para que el sector vitivinícola y los responsables políticos adopten decisiones que conduzcan a un mejor resultado ambiental.*

## 1. INTRODUCTION

The consequences of climate change have instigated a search for ways to identify and reduce Greenhouse Gas (GHG) emissions. Interest in sustainability in the wine sector is growing in parallel with awareness of the environmental impacts of climate change. In this context, it is necessary to apply environmental methodologies to set in motion strategies to reduce and neutralise the gases generated by products and/or processes. Such methodologies include the carbon footprint, a quantitative indicator of GHG emissions that allows for the management and assessment of mitigation measures throughout a product's life cycle [1], [2].

The wine sector, like much of the agrifood industry, is facing the challenge, and the need, to achieve sustainability [3], [4]. As stated in the literature [1], [5], today there is enormous pressure on the environment and sustainability in wine production has become a relevant topic because of increasing consumer interest in wine's environmental profile [4], [6]. However, the wine sector has certain features that bring it especially close to the concept of sustainability. These have been covered in various studies. As with all agricultural activities, it aims to utilise the natural environment for the production of foods or raw materials and the yield of the grape crop is greatly influenced by the climate [7], [8]. Vine cultivation often takes place on land where other types of crop are not possible [9], [10]; it can help maintain population in rural areas; it follows a long tradition involving a significant transmission of values [9], [11], [12], and it is closely related to culture and family and to cultural and family values [10], [13], [14].

In view of all this, most studies on the carbon footprint in the wine sector only cover it from an agricultural perspective, focusing on a type of wine from a single winery [15], [16], [17] or on a larger number of wineries but within a specific region or stage of production, such as vineyards in Galicia [18] and wineries in La Rioja [19]. There have also been studies on many types of wine and different regions [20]. Other publications focus on the methodology for calculating the carbon footprint in the wine sector [21].

Such studies, however, do not consider the influence of a dynamic and increasingly complex environment. This research goes a step further in the calculation of the footprint by attempting to analyse how it evolves during the vineyard stage. For this purpose, we selected as a case study one of the world's most important wine-producing regions, Castilla-La Mancha (Spain). After calculating the footprint following the methodology laid down in article 9.4.a) 2º of Royal Decree 163/2014 of 14 March, it explains how it evolved from 2000 to 2022 in line with socio-economic factors. It specifies an econometric model including Newey-West error correction to identify the variables that can best explain how the footprint evolved and thus reduce uncertainty in the sector.

## 2. LITERATURE REVIEW AND CASE STUDY

### Literature review

The carbon footprint is a global, standard indicator for GHG emissions during the stages of the life cycle of any good, service or activity in line with the Kyoto Protocol and the principles underlying the Life Cycle approach. The carbon footprint has become very relevant as a useful and manageable tool for identifying areas for reducing emissions and for promoting the changes needed to improve the ecological profile of products as well as socio-environmental awareness and responsibility among people and organisations [2], [22], [23], [24].

The scientific literature available analyses wine production from different points of view, covering the whole life cycle of the product and specific stages in the production process. In particular, they quantify the value of the footprint from cradle to grave and from cradle to door and, in some cases, they also model the stage of transport and distribution without taking the end of life into account.

Several studies have been published on the carbon footprint by product [20] or corporate footprint [25], and specific calculators of carbon for the wine sector have also been developed [26]. [27] assesses the

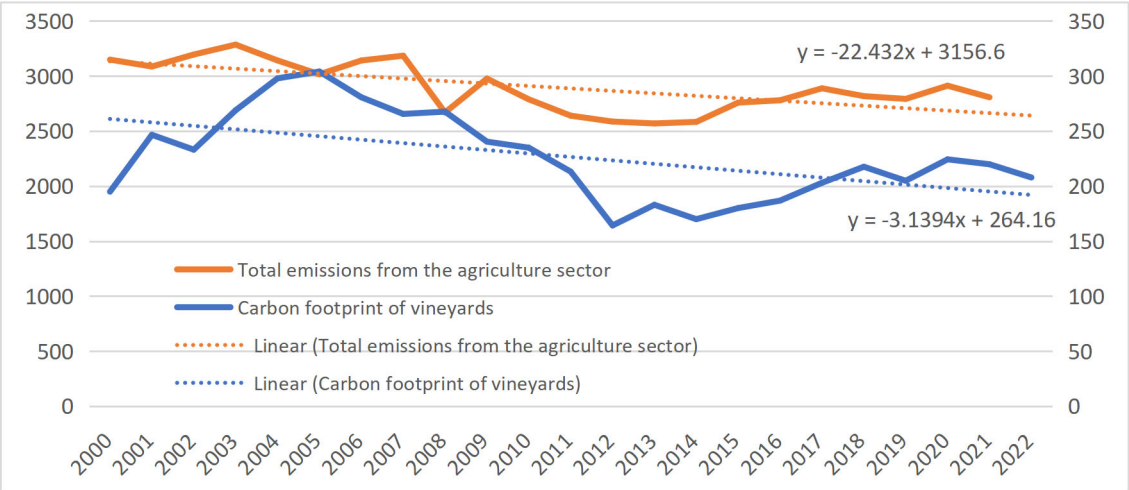
carbon footprint of wines in the Finger Lakes region of the state of New York, [1] considers the carbon footprint in the Italian wine sector, and [25] covers a vineyard in Italy.

**Case study**

Castilla-La Mancha is home to half of Spanish vineyards in terms of surface area with 450,000 hectares cultivated by 80,000 vine-growers, of which 73% are dry-farmed, 27% are irrigated, and 15% are organic. It produces about 25 million hectolitres of wine and must every year, which amounts to almost 60% of the wine produced in Spain, 15% of that produced in the European Union and 9% of global production. It represents 5% of GDP and generates over 2 billion euros per year. Among the Spanish Autonomous Communities, Castilla-La Mancha is the one with the largest number of quality certifications, with a total of 24, of which 23 are covered by Protected Designations of Origin and one is a Protected Geographic Indication [28]. It is in fourth position in Spain for number of wineries with 415 [29], and its turnover is 21.5% of the Spanish total and 12.5% of the value added at factor cost [30].

Total GHG emissions in Castilla-La Mancha for 2021 were estimated at 16,455.72 kilotonnes of CO2 equivalent (CO2-eq). The sector with the highest level of emissions was transport (38.60%), followed by agriculture (17.05% non-energy emissions) and residential, commercial and institutional (10.40%), with industrial processes and products in fourth position (10.19%) (JCCM, *Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*, 2024). The carbon footprint of the wine sector, according to the results obtained using the calculator developed by the MITECO (*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*), represented almost 8% of the agriculture emissions in 2021. As stated by Navarro et al. (2017), vine cultivation accounts for a large share of agricultural activities in the regions where wine production is concentrated and, like other agricultural activities, it has a significant impact on the environment because of its use of fertilisers, pesticides, water and energy, as well as soil erosion and land usage, and the production of substantial amounts of organic waste. During the vineyard stage, the contribution comes mainly from production and the combustion of diesel oil for field work (11.3%) and the use of plant health products (6.0%).

In the following graph, we compare the evolution of total emissions of the farming sector as a whole with those of vine production. This shows that the vineyard trend was the same as for the rest of the farming sector although, at times of crisis, its decrease was greater and, during economic recoveries, its recovery was greater. This indicates the importance of the vine-growing sector for the region and its more intense response to economic shocks.




Source: Drawn up by the authors based on data from the JCCM and MITECO

Figure 1. Comparison of total emissions from agriculture and cattle farming in Castilla La Mancha from 2000 to 2022 and from vine-growing (kilotonnes of $CO_2$ eq)

## 3. METHODS AND DATA.

**Econometric model**

To explain the socio-economic factors that affect the evolution of the carbon footprint ($Y_{it}$), during the vineyard stage, the following model was specified:

$$Y_{it} = \sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{kt} + u_t = \beta_0 + \beta_1 RA_t + \beta_2 EA_t + \beta_3 POV_t + \beta_4 UA_t + \beta_5 PFE_t + \beta_6 PFI_t + \beta_7 PE_t + \beta_8 PI_t + \beta_9 XG_t + \beta_{10} XE_t + \beta_{12} Conditionality_t + \beta_{11} Crisis_t + \beta_{13} COVID_t + u_t \quad (1)$$

with t= 2000, 2005,…, 2022, $u_t \sim N(0, \sigma_t^2)$ and the estimated $\widehat{\beta}$ parameters were obtained as $\widehat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$, $\widehat{Var}(\widehat{\beta}) = (X'X)^{-1}X'\widehat{\Omega}X(X'X)^{-1}$.

In the equation, the carbon footprint ( $Y_{it}$ ) is the endogenous variable; the exogenous variables are Agricultural Income (AI), Agricultural Employment (AE), Municipalities with Vineyards (MV), Water Use (WU), CPI Fertilisers (PF), CPI Plant Health Treatments (PHT), CPI Energy (PE), CPI Investments (PI), Bulk Exports (BX), Packaged Exports (PX), Conditionality, Economic Crisis 2008, Covid Period.

In order to guarantee a valid statistical inference with serial correlation of errors, $Cov\ (u_j,u_l) \neq 0\ , \forall j \neq l$. Newey–West (1987) proposes that $X'\widehat{\Omega}X$ for *lag(m), m > 0*, expressed as

$$X'\widehat{\Omega}X = X'\widehat{\Omega}_0 X + \frac{n}{n-k}\sum_{l=1}^{m}\left(1 - \frac{l}{m+1}\right)\sum_{t=l+1}^{n}\hat{e}_t\,\hat{e}_{t-l}(x_t'x_{t-l} + x_{t-l}'x_t) \quad (2)$$

where $x_t$ is the row of matrix $X$ observed at time $t$.

**Sample and variables**

The data base used comprises time series covering the period 2000 to 2022 for the regional variables of Castilla-La Mancha. Below are the variables used in the study.

Table 1:Description of the dependent variable.

| Dependent Variable | Description |
|---|---|
| Carbon Footprint | Drawn up by the authors using the MITECO calculator. The Excel algorithm can be found at https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html<br>The units in which it is expressed are *t CO2 e*<br>The data required for each year were the following:<br>- Agricultural consumption of fertilisers for vineyards (*CFV*). This was calculated as the sum of the three types of fertiliser – nitrogen, phosphate, potassium - and was calculated based on the following algorithm. |

| Dependent Variable | Description |
|---|---|
| | $.CFV = \frac{TACF*SV}{TS}$ where TACF is total agricultural consumption of fertilisers in Tn, SV is the surface area under vines in ha, and TS is the total agricultural surface area in ha.<br><br>TACF, Units: Tonnes, Source: *Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*<br>SV, TS, Units: hectares, Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br><br>- Consumption of agricultural diesel oil for vineyards (CDV). The following algorithm was applied: $CDV = \frac{CDT*SV}{TS}$, where CDT is the total consumption of agricultural diesel oil, SV is the surface area under vines in ha, and TS is the total agricultural aurface area in ha.<br><br>CDV, Units: litres. Source: *Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha*<br>SV, TS, Units: hectares, Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br><br>- Surface area under vines in Castilla-La Mancha. Units: hectares. Source: *Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.*<br><br>- Wine production. Units: Tkg. Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* |

The economic and social variables used to explain the carbon footprint are shown in the following table.

Table 2: Description of independent variables.

| Independent Variables | Description |
|---|---|
| Agricultural income (AI) | Agricultural income obtained by farmers.<br>Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br>Units: Millions of euros at constant prices for 2015 |
| Agricultural Employment (AE) | People working in the agricultural sector aged between 16 and 66.<br>Source: Eurostat<br>Units: thousands of people |
| Wine Population (MV) | Corresponds to the sum of the 652 municipalities that have vineyards.<br>Source: *Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha*<br>Units. Thousands of people |
| Water use (WU) | Water use on vineyards<br>Source: *Instituto Nacional de Estadística*<br>Units: thousands of cubic metres |
| CPI Fertilisers (PF) | Prices of fertilisers<br>Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br>Units: Index based on 2015 |
| CPI Plant Health Treatments (PHT) | Prices of plant health treatments<br>Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br>Units: Index based on 2015 |
| CPI Energy (PE) | Prices of energy<br>Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br>Units: Index based on 2015 |
| CPI Investments (PI) | Prices of investments (machinery)<br>Source: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*<br>Unit:. Index based on 2015 |

| | |
|---|---|
| Bulk Exports (BX) | Bulk exports of wine<br>Units: millions of litres.<br>Source: *Observatorio Español del Mercado del Vino* |
| Packaged Wine Exports (PX) | Packaged wine exports<br>Units: millions of litres.<br>Source: *Observatorio Español del Mercado del Vino* |
| Conditionality | The conditionality system is a set of measures that allow for more environmentally-friendly activity.<br>It takes the value of 1 for the years from 2015 to 2022, and 0 for other years.<br>Source: https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-13259 |
| Economic Crisis 2008 | Duration of the economic crisis from 2008 to 2014. It takes the value of 1 for the years from 2008 to 2014, and 0 for other years. |
| Covid period | This period is characterised by all the anomalies of that time – health crisis, rising prices, war in Ukraine. |

The descriptive statistics for the variables are as follows:

Table 3: Descriptive statistics for the variables.

| **Variables** | Mean | Standard deviation | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Carbon Footprint | 226488.6 | 39983.05 | 164232.3 | 304103.6 |
| Agricultural Income (AI) | 6.185069 | 1.266013 | 4.723717 | 9.793242 |
| Agricultural Employment (AE) | 56.27391 | 6.571856 | 48.7 | 68.6 |
| Wine Population (MV) | 1833563 | 100181.4 | 1625725 | 1949401 |
| Water Use (WU) | 254328.4 | 220996.5 | 55400 | 657461 |
| CPI Fertilisers (PF) | 89.00399 | 32.2595 | 51.47487 | 202.75 |
| CPI Plant Health Treatments (PHT) | 95.68124 | 10.68505 | 79.92205 | 128.14 |
| CPI Energy (PE) | 85.82827 | 30.20533 | 47.94722 | 182.49 |
| CPI Investments (PI) | 92.12459 | 14.01396 | 66.61351 | 121.01 |
| Bulk Exports (XG) | 630.287 | 284.3914 | 141.4 | 1035.2 |
| Packaged Exports (XE) | 102.287 | 33.57569 | 31.9 | 150.7 |
| Conditionality | 0.2173913 | 0.4217412 | 0 | 1 |
| Economic Crisis 2008 | 0.3478261 | 0.4869848 | 0 | 1 |
| Covid period | 0.1304348 | 0.3443502 | 0 | 1 |

Finally, the variables were used in their logarithms because of their capacity for eliminating the effect on the coefficients of the units of measurement used in each of the variables [31], [32].

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

Ordinary Least Square (OLS) estimators are the best unbiased linear estimators, providing the $u_t$ are independent of each other and are distributed identically with constant variance $\sigma_u^2$. Unfortunately, these conditions are not met in this sample. This is shown by the Breusch-Godfrey test, which indicates that *chi2= 9.352* and has an associated p-value of 0.0022, ruling out the Null Hypothesis of lack of serial autocorrelation. For this reason, we use the Newey-West correction method which corrects the estimation of standard errors to make them consistent with autocorrelation.

The following table shows the Newey-West estimations:

Table 4: Estimation of the Newey-West correction model.

| Carbon Footprint | Coeff. | Newey-West Std. Err. | t | P>\|t\| | [95% Conf. Interval] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Agricultural Income (AI) | -0,26171 | 0,021863 | -11,97 | 0 | -0,3152 | -0,20821 |
| Agricultural Employment (AE) | 1,715215 | 0,07715 | 22,23 | 0 | 1,526436 | 1,903994 |
| Wine Population (MV) | 8,508198 | 0,499708 | 17,03 | 0 | 7,285458 | 9,730939 |
| Water Use (WU) | 0,150493 | 0,006261 | 24,04 | 0 | 0,135174 | 0,165812 |
| CPI Fertilisers (PF) | -0,80106 | 0,076144 | -10,52 | 0 | -0,98738 | -0,61475 |
| CPI Plant Health Treatments (PHT) | 1,224539 | 0,20406 | 6 | 0,001 | 0,725222 | 1,723856 |
| CPI Energy (PE) | -0,14557 | 0,097713 | -2,49 | 0,107 | -0,38466 | 0,093529 |
| CPI Investments (PI) | 0,936933 | 0,356366 | 2,63 | 0,039 | 0,064937 | 1,808928 |
| Bulk Exports (BX) | -0,09166 | 0,022819 | -4,02 | 0,007 | -0,1475 | -0,03582 |
| Packaged Exports (PX) | -0,76441 | 0,044621 | -17,13 | 0 | -0,8736 | -0,65523 |
| Conditionality | 0,06899 | 0,025895 | 2,66 | 0,037 | 0,005627 | 0,132353 |
| Economic Crisis | -0,19101 | 0,021422 | -8,92 | 0 | -0,24342 | -0,13859 |
| Covid Period | 0,102935 | 0,022854 | 4,5 | 0,004 | 0,047013 | 0,158857 |
| _cons | -118,939 | 7,28288 | -16,33 | 0 | -136,759 | -101,118 |

The overall model is significant according to the F statistic ( 13, 9) = 155.93 and an associated p-value, Prob > F = 0.0000; individually, the independent variables are significant with a p-value associated with the t-Student statistic below 0.1 (Table 4). The model specification is correct because the *hatsq* coefficient (Table 5) has no explanatory power.

Table 5: Correct specification test.

| LHCTotal | Coef. | Newey-West Std. Err. | t | P >\|t\| | [95% Conf. Inter] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| hat | 12.165 | 7.121 | 1.71 | 0.103 | -2.688 | 27.018 |
| hatsq | -.452 | .288 | -1.57 | 0.132 | -1.053 | 0.148 |
| cons | -68.884 | 44.001 | -1.57 | 0.133 | -160.682 | 92.12 |

So the estimated equation is as follows:

$$\widehat{Y}_t = -118{,}939 - 0{,}26171_t + 1{,}715215EA_t + 8{,}508198POV_t + 0{,}150493UA_t - 0{,}80106PFE_t + 1{,}224539PFI_t - 0{,}14557PE_t - 0{,}09166XG_t - 0{,}76441XE_t + 0{,}06899Conditionality_t - 0{,}19101Crisis_t + 0{,}102935COVID_t$$

The following are the results obtained.

The link between agricultural income (*AI*) and carbon footprint ( $\widehat{Y}_t$ ) is negative, that is, a higher agricultural income reduces the footprint. Higher income allows for the modernisation of farms to make them more environmentally-friendly. In addition, as stated in [33], the economic dimension aims to guarantee viability and profitability while also promoting sustainability.

Moreover, as is to be expected, areas with higher population (*MV*) and greater agricultural activity (*EA*) show a positive and significant relationship with the footprint. As stated by [34], the carbon footprint is stimulated by economic development and agricultural production (arable land, agricultural machinery, use

of fertilisers). The agricultural sector shares a large proportion of total GHG emissions. As demand for food increases because of growing population, the proportion of GHG emissions from the agricultural sector also increases [35], [36]. The results obtained were similar to those described in [37], concluding that there is an 80% correlation between the two variables, and in [38] which indicates that growth in the population and in its consumer behaviour damages the environment. However, authors such as [39] suggest that a territory with a larger proportion of rural population (and, therefore, a smaller urban population) might indicate a smaller carbon footprint in comparison with a more urban territory. Similarly, irrigated areas produce a larger carbon footprint [40].

Regarding rising prices for agriculture-related products, differences can be seen depending on the type of product. Rising prices of fertilisers (PF) lead to a decrease in the footprint, both because farmers decide to spend less and also because, as stated by several authors [41], [42], [43], [44], decreased fertiliser use reduces agricultural GHG emissions and, consequently, the carbon footprint. The opposite happens with rising prices for plant health products (PHT), which farmers continue to buy. This is because such products protect their crops, minimising or preventing damage from pests and, therefore, affecting both the yield and the quality of food production. Even if prices rise, farmers have to protect their crops [45]. Rising energy prices (PE) are negatively related to the carbon footprint because, the higher they rise, the less energy is used, and the footprint decreases. Intensification of production raises the demand for energy and increases GHG emissions into the atmosphere. Finally, we find a positive and significant relation between the price of investments (PI) and the carbon footprint. This is because rising prices of machinery make it costly to replace old equipment, which is less efficient in the fight against climate change. In the search for more sustainable agricultural practices, precision agriculture has been seen to be key to reducing the carbon footprint in the agricultural sector [46].

We considered bulk (BX) and packaged (PX) exports and found that the latter reduce the footprint. For bulk exports, the footprint is not significant and there is no room for improvement even though the footprint is lower. Packaged exports of wine, however, are of higher quality and, because of the global importance of sustainability, producers are obliged to invest more in reducing the footprint of packaging and transport [47]. In Switzerland, for example, consumers prefer sustainable products if this is properly explained on the label, even to the extent of ignoring lower prices; wines labelled “sustainable” or “organic” are preferred by 76% of customers to those that bear no such specification on sustainability or environment-friendliness and, if there is no information, they prefer products at a lower price [48], The same results are found by [49] for Italian quality wines.

Another of the variables included in the model is conditionality, a measure adopted as part of the Common Agricultural Policy in the fight to protect the environment. The results show that this measure did not have the expected effect of reducing the carbon footprint so conditionality was reinforced as from 2023 and eco-schemes were established [50], [51].

The economic crisis of 2008 led to a large reduction in economic activity and a consequent reduction in the economic footprint; the opposite occurred during the Covid-19 health crisis, when the need for reactivating economic activity increased the footprint. As stated in [52], GHG emissions are positively correlated with the added value of agriculture and economic growth, to the extent that during the crisis period from 2008 to 2014, emissions decreased but then recovered during the subsequent period of growth. Some authors, however, indicate that economic growth has gradually become separate from the carbon footprint [53].

## 5. CONCLUSIONS

Climate change affects vineyards and may have economic, social and territorial effects. Growers are aware of this and make constant adaptations. The carbon footprint is a tool that makes it possible to determine the efficiency of their actions while also promoting policies for the reduction of emissions. However, in order to limit climate change by means of mitigation and/or adaptation, it is necessary to know which factors affect the footprint. The results of our study point to a direct correlation between the economy and the footprint of the wine sector in Castilla-La Mancha, both at farmer level and in the global economy. The wine sector is seen to suffer more intensely from economic shocks than the rest of the

agricultural sector. Agricultural policy measures are not yet sufficient for helping to reduce the carbon footprint.

**REFERENCES**

1. D ´AMMARO, Daniele et al. "Benchmarking of carbon footprint data from the Italian wine sector: A comprehensive and extended analysis". Science of The Total Environment, 2021, vol. 779. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146416
2. RUGANI, Benedetto et al. "A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector". *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 54, pp. 61-77. [Fecha de consulta: 9 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.036.
3. DE STEUR, Hans et al. "Drivers, adoption, and evaluation of sustainability practices in Italian wine SMEs". Bus. Strateg. Environ., 2019, vol. 29, núm. 2, pp. 744-762. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1002/bse.2436
4. POMARICI, Eugenio; VECCHIO, Riccardo. "Will sustainability shape the future wine market?" *Wine Economics and Policy*, 2019, vol. 8, núm. 1, pp. 1-4. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.wep.2019.05.001
5. SCRUCCA, Flavio; BONAMENTE, Emanuele; RINALDI, Sara. "Chapter 7 - Carbon Footprint in the Wine Industry". *Environmental Carbon Fo*otprints, 2018, pp. 161-196. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812849-7.00007-6.
6. PLANK, Andreas; TEICHMANN, Karin. "A facts panel on corporate social and environmental behavior: Decreasing information asymmetries between producers and consumers through product labeling". *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 177, pp. 868-877. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.195.
7. MARX, W; HAUNSCHILD, R y BORNMANN, L. "Climate change and viticulture-a quantitative analysis of a highly dynamic research field". *Journal of Grapevine Research*, 2017, vol. 56, núm.1, pp. 35–43. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.5073/vitis.2017.56.35-43
8. SCHULTZ, H. "Global climate change, sustainability, and some challenges for grape and wine production". *Journal of Wine Economics*, 2016. Vol. 11, núm. 1, pp. 181-200. [Fecha de consulta: 8 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1017/jwe.2015.31
9. BARBOSA, Fabrício. et al." Sustainability in the winemaking industry: An analysis of Southern Brazilian companies based on a literature review". *J. Clean. Prod*., 2018, vol. 192 pp. 80-87. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.253
10. FERRER, Juan et al. "The business model and sustainability in the Spanish wine sector". *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 330, 129810 ISSN 0959-6526. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129810.
11. SZOLNOKI, Gergely et.al. "A cross-cultural analysis of the motivation factors and profitability of online wine tastings during Covid-19 pandemic". *British Food Journal*, 2021, Vol. 123 Núm. 13, pp. 599-617. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2021-0438
12. OIV. "La relevancia económica del sector vitivinícola en Castilla- La Mancha". *Interprofesional de Vinos de España*, 2021. [Fecha de consulta: 10 Julio 2024]. Disponible en web: https://interprofesionaldelvino.es/wp-content/uploads/2024/02/Informe-Relevancia-economica-y-social-del-sector-vitivinicola-en-CASTILLA-LA-MANCHA-2021.pdf
13. SABBADO, Shana. ". What is sustainability in the wine world? A cross-country analysis of wine Sustainability frameworks". J. Clean. Prod., 2018, vol. 172, pp. 2301-2312. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.181
14. BROCCARDO, Laura; ZICARI, Adrian. "Sustainability as a driver for value creation: A business model analysis of small and medium entreprises in the Italian wine sector". *J. Clean Prod*.,2020, vol. 259, núm. 120852. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120852

15. NETO, B; DIAS, A; MACHADO, M. "Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution". *International Journal of Life Cycle Assess*, 2013, vol. 18, pp. 590-602. [Fecha de consulta: 6 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11367-012-0518-4
16. FUSI, Alessandra; GUIDETTI, Riccardo y BENEDETTO, Graziella. "Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: from partial to total life cycle assessment". *Sci. Total Environ*., 2014, vol. 472, pp. 989-1000. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.148
17. BENEDETTO, Graziella; RUGANI, Benedetto y VÁZQUEZ-ROWE, Iván. "Rebound effects due to economic choices when assessing the environmental sustainability of wine". *Food Policy*, 2014, vol. 49, núm. 1, pp. 167-173. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.07.007
18. VÁZQUEZ-ROWE, Ian et al. "Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain)". *Journal of Cleaner Production*, 2012, vol. 27, pp. 92-102. [Fecha de consulta: 6 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.039
19. GAZULLA, Cristina; RAUGEI, Marco y FULLANA-I-PALMER, Pere. "Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: where are the bottlenecks?". *Int. J. Life Cycle Assess*., 2010, vol. 15, pp. 330-337. [Fecha de consulta: 7 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11367-010-0173-6
20. VÁZQUEZ-ROWE, Ian; RUGANI, Benedetto y BENETTO, Enrique. "Tapping carbon footprint variations in the European wine sector". *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 43, pp. 146-155. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.036
21. LITSKAS, Vassilis; TZORTZAKIS, Nikolaos; STARVRINIDES, Menelaos. "Determining the Carbon Footprint and Emission Hotspots for the Wine Produced in Cyprus". *Atmosphere*, 2020, vol. 11, núm. 5. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]
Disponible en: https://doi.org/10.3390/atmos11050463
22. SCRUCCA, Flavio; BONAMENTE, Emanuele; RINALDI, Sara. "Chapter 7 - Carbon Footprint in the Wine Industry". *Environmental Carbon Footprints*, 2018, pp. 161-196. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812849-7.00007-6
23. ARCHIMI, Georgios; KRYONA, Zoi-Panagiota y TSIRLIGANIS, Nestor. "Selecting south European wine based on carbon footprint". *Resources, Environment and Sustainability,* 2022, Vol. 9. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100066
24. NAVARRO, Alejandra et.al. "Eco-innovation and benchmarking of carbon footprint data for vineyards and wineries in Spain and France". *Journal of Cleaner Production,* 2017, vol 142, pp. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.124.
25. MARRAS, Serena. et al. "Carbon footprint assessment on a mature vineyard". *Agric. For. Meteorol*.,2015, vol. 214-215, pp. 350-356. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.270
26. COLMAN, Tyler; PASTER, Pablo."Red, white, and "green": the cost of greenhouse gas emissions in the global wine trade*". J. Wine Res., 2009*, vol. 20, pp. 15-26. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1080/09571260902978493
27. TROMBLY, Amanda; FORTIER, Marie-Odile. "Carbon Footprint of Wines from the Finger Lakes Region in New York State". *Sustainability*, 2019, vol. 11, núm.10. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su11102945
28. JCCM. Conserjería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 2024 [Fecha de 5 Julio 2024]. Disponible en: https://www.castillalamancha.es/actualidad/notasdeprensa/los-vinos-de-calidad-de-castilla-la-mancha-se-presentan-nivel-nacional-en-tres-salones-celebrados-enG
29. OEMV. Número de bodegas en España. Observatorio Español del Mercado del Vino, 2022. [Fecha de consulta: 6 Julio 2024]. Disponible en: https://www.oemv.es/dr/3513
30. MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Producción Ecológica 2022. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024.]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/
31. HANSEN, Bruce. Econometrics. Princeton University Press, 2022. 1080 pp. ISBN 978-069-123-589-9

32. RODÓ, Paula. *Logaritmos en econometría*. [Fecha de consulta: 3 Julio 2024]Disponible en: https://economipedia.com/definiciones/logaritmos-en-econometria.html
33. GUERRA, Mariana et al. "Drivers of Environmental Sustainability in the Wine Industry: A Life Cycle Assessment Approach". *Sustainability*, 2024, vol. 16, núm. 13:5613. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su16135613
34. BALOGH, Jeremias. "Agriculture-specific determinants of carbon footprint". *Studies in Agricultural Economics*, 2019, vol. 121, núm. 3, pp. 166-170. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.7896/j.1918
35. JAISWAL, Bhavna; AGRAWAL, Madhoolika. "Carbon Footprints of Agriculture Sector". *Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, Springer, Singapur*, 2019, vol. 1, pp. 81-99, Online ISBN 978-981-13-7916-1. [Fecha de consulta: 5 Julio 2024] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7916-1_4
36. AGUILERA, Eduardo. et al. "Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España". Real Academia de Ingeniería. España, 2020. [Fecha de consulta: 3 Julio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Sanz-Cobena/publication/344774813_Emisiones_de_gases_de_efecto_invernadero_en_el_sistema_agroalimentario_y_huella_de_carbono_de_la_alimentacion_en_Espana/links/5f93f1d592851c14bce1ad50/Emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-sistema-agroalimentario-y-huella-de-carbono-de-la-alimentacion-en-Espana.pdf
37. RICAPA FAJARDO, Brenda. "Relación entre el crecimiento poblacional y la huella de carbono en San Juan de Lurigancho 2008-2018".Trabajdo de fin de gado, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú, 2019. [Fecha de consulta: 6 Julio 2024]. Disponible en: https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/ab6af5aa-db3a-4704-84c5-35166b18a6bb
38. PEINADO, Manuel. "Población, cambio climático y huella ambiental". *Ecozona*, 2018, vol. 9, núm. 1. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://ecozona.eu/article/view/2172
39. SETHI, M. "A Spatial Perspective of Carbon Footprint and Beyond". Climate Change and Urban Settlements. London: Editorial Routledge, 2017. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.4324/9781315398501
40. MARTIN-GORRIZ, Bernardo et. al. "Influence of the Water Source on the Carbon Footprint of Irrigated Agriculture: A Regional Study in South-Eastern Spain". Agronomy, 2021, vol 11, núm. 2. [Fecha de consulta: 5 julio de 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/agronomy11020351
41. LIU, T et al. "Advantages of nitrogen fertilizer deep placement in greenhouse gas emissions and net ecosystem economic benefits from no-tillage paddy fields". *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 263, núm. 121322. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121322.
42. RAO, N et al. "Spatial analysis of energy use and GHG emissions from cereal production in India". *Science of The Total Environment,* 2019, vol. 654, pp. 841-849. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.07
43. YUE, Quian et.al "Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption". *Journal of Cleaner Production,* 2017, vol. 149, pp. 1011-1019. [Fecha de consulta: 1 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.172
44. TRIPATHI, Sachchidanand et al. "Chapter 2 - Influence of synthetic fertilizers and pesticides on soil health and soil microbiology". *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation. Elsevier*, 2019, pp. 25-54. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi: 10.1016/B978-0-08-103017-2.00002-7
45. MOLTO, Enrique et al. "Situación actual de la aplicación de productos fitosanitarios en el cultivo de cítricos". Revista. Levante agrícola, 2005, vol. 375, pp.144-153. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7893/2005_Moltó_Situación.pdf?sequence=1&isAllowed=y
46. WANG, Chao et al. "Potential of technological innovation to reduce the carbon footprint of urban facility agriculture: A food–energy–water–waste nexus perspective". *Journal of Environmental*

*Management*, 2023, vol. 339. [Fecha de consulta: 8 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117806

47. HARRIS,Irina et al. "The impact of alternative routeing and packaging scenarios on carbon and sulphate emissions in international wine distribution". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, vol. 58, pp. 261-279. [Fecha de consulta: 2 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.036.

48. MEISE, Jan et al. "Feed them facts: Value perceptions and consumer use of sustainability-related product information". *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2014, vol 21, núm.4, pp. 510–519. [Fecha de consulta: 3 Julio 2024]
Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.03.013

49. BARISÁN, Luigino et al. "How Does Carbon Footprint Create Shared Values in the Wine Industry? Empirical Evidence from Prosecco Superiore PDO's Wine District". *Sustainability,* 2019, vol. 11, núm. 11: 3037. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su11113037

50. Sadeleer, 2024

51. MASSOT, Albert. "The post 2020 CAP reform in times of pandemic crisis-critical notes on the European Commission's proposals". Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 2021, núm. 257, pp. 131-222. [Fecha de consulta: 4 Julio 2024]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_REEAP%2Fpdf_REEAP_r257_131_222.pdf

52. CZY´ZEWSKI, Andrzej; MICHALOWSKA, Mariola. "The Impact of Agriculture on Greenhouse Gas Emissions in the Visegrad Group Countries after the World Economic Crisis of 2008. *Comparative Study of the Researched Countries. Energies,* 2022, vol.15, núm. 6:2268. [Fecha de consulta: 3 Julio 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/en15062268

53. HALLER, Aliana. "Influence of Agricultural Chains on the Carbon Footprint in the Context of European Green Pact and Crises". *Agriculture*, 2022, vol. 12, núm. 6:751. [Fecha de consulta: 6 Julio 2024] Disponible en: https://doi.org/10.3390/agriculture12060751

**About the authors**

Juan Sebastián Castillo Valero, Professor at the University of Castilla-La Mancha, Director of the Agrifood Economy Section of the Institute for Regional Development (Albacete, Spain).

María Carmen García -Cortijo, PhD in Information Systems. Researcher, Institute for Regional Development at the University of Castilla la Mancha (Albacete, Spain).

Germán Andrés Cevallos Meneses, Master's Degree in Modelling and Econmic Data Analysis. Researcher, Institute for Regional Development at the University of Castilla la Mancha (Albacete, Spain).

Carmelo Díaz Poblete, PhD in Agricultural and Environmental Science. Researcher, Institute for Regional Development at the University of Castilla la Mancha (Albacete, Spain).

**This study received financial support from Project SBPLY/21/180501/000083, Global and endogenous responses to the demographic challenge of ITI (Integrated Territorial Investment) zones.**

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTADO Y EVOLUCIÓN DE LA CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO EN COLOMBIA

**Ana Julia Acevedo Urquiaga[1], José Antonio Acevedo Suarez[2] y Alejandro Martínez Báez[3]**

[1]Fundación Universitaria San Mateo, Transversal 17 Nº 25 - 25 Bogotá, Centro de Investigaciones y Asistencia Técnica Internacional John F. Kennedy (CIATI), Calle 125 # 19-89, Bogotá, [2]Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Calle 114 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Centro de Investigaciones y Asistencia Técnica Internacional John F. Kennedy (CIATI), Calle 125 # 19-89, Bogotá, [3] Marcumex S.A.S., Carrera 7B # 127A-67 ofc. 203, Centro de Investigaciones y Asistencia Técnica Internacional John F. Kennedy (CIATI), Calle 125 # 19-89, Bogotá
[1]anajacevedo@sanmateo.edu.co, [2]acevedo@tesla.cujae.edu.cu, [3]alejandro@marcumexcolombia.com

**RESUMEN**

El presente trabajo sobre formación y educación en logística y cadena de suministro en Colombia destaca la importancia de contar con profesionales calificados en logística y cadena de suministro para enfrentar los desafíos de la conciencia presente y futura de la logística y la cadena de suministro. A medida que mejoró la logística de Colombia, aumentó la necesidad de profesionales bien capacitados en el campo. En Colombia, hay una serie de programas de pregrado y posgrado, y algunas de las mejores universidades ofrecen cursos especializados en logística y gestión de la cadena de suministro. El objetivo de estos programas es proporcionar a los estudiantes una formación completa y actualizada sobre las últimas tecnologías y tendencias del mercado.
Además de los programas formales registrados en el Departamento de Educación, existen opciones de educación no formal como carreras de grado y cursos en logística y gestión de la cadena de suministro. Estos programas no requieren aprobación o registro del Ministerio de Educación y no son reconocidos internacionalmente, pero brindan capacitación útil para el empleo.
En general, el informe enfatiza la importancia de cultivar profesionales bien capacitados en logística y gestión de la cadena de suministro para garantizar la optimización exitosa de los procesos logísticos y la gestión de la cadena de suministro en un entorno empresarial cada vez más competitivo y globalizado.

**PALABRAS CLAVES:** Formación, Educación, Logística, Cadena de suministro.

**ABSTRACT**

This paper on training and education in logistics and supply chain in Colombia highlights the importance of having qualified professionals in logistics and supply chain to face the challenges of present and future awareness of logistics and the supply chain. As Colombia's logistics improved, the need for well-trained professionals in the field increased. In Colombia, there are a number of undergraduate and postgraduate programs, and some of the best universities offer specialized courses in logistics and supply chain management. The objective of these programs is to provide students with complete and updated training on the latest technologies and market trends.
In addition to formal programs registered with the Department of Education, there are non-formal education options such as undergraduate degrees and courses in logistics and supply chain management. These programs do not require approval or registration from the Ministry of Education and are not internationally recognized, but they provide useful training for employment.
Overall, the report emphasizes the importance of cultivating well-trained logistics and supply chain management professionals to ensure successful optimization of logistics processes and supply chain management in an increasingly competitive and globalized business environment.

**KEY WORDS:** Training, Education, Logistic, Supply chain

## Introducción

La logística y la cadena de suministro son componentes esenciales para el desarrollo económico y competitivo de cualquier nación. En Colombia, la capacitación y formación en estos campos han evolucionado significativamente en los últimos años, reflejando las demandas cambiantes del mercado y la necesidad de profesionales altamente capacitados. Este trabajo tiene como objetivo caracterizar y reflexionar sobre el estado y evolución de la capacitación y formación en logística y cadena de suministro en Colombia, analizando los enfoques actuales, las metodologías empleadas y los desafíos que enfrenta el sector educativo en este ámbito. Estos resultados servirán como base de la estructuración de un sistema similar en Cuba, dentro del programa nacional de investigación con ese fin.

La investigación se fundamenta en la premisa de que una adecuada formación en logística no solo mejora la eficiencia operativa de las empresas, sino que también contribuye a la sostenibilidad y competitividad del país. A través de un análisis exhaustivo de programas académicos, iniciativas de capacitación y estudios de caso relevantes, se busca identificar las mejores prácticas y áreas de mejora en la formación profesional.

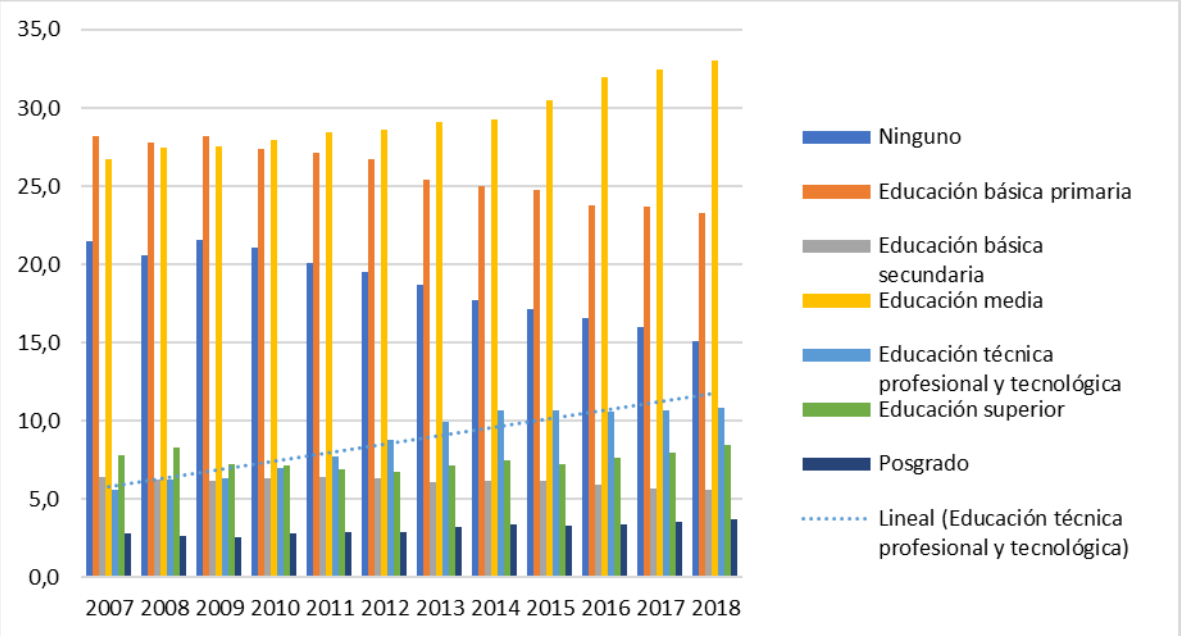
Este trabajo se estructura en varias secciones que incluyen una revisión del contexto actual de la educación en logística en Colombia, un análisis crítico de los programas existentes y una discusión sobre las tendencias futuras que podrían influir en la formación profesional. A través de esta reflexión, se espera contribuir al debate académico sobre la importancia de una educación adaptativa y orientada a las necesidades del mercado, así como proponer recomendaciones que fortalezcan la capacitación en logística y cadena de suministro en Cuba.

## Estado actual del sistema de capacitación y enseñanza

La composición de la población económicamente activa de Colombia se muestra en la figura1, donde se evidencia que en los últimos años una tendencia leva al aumento en la cuota que ocupa los trabajadores con educación técnica superior y tecnólogo (llegando al 10,9%), así mismo con los de educación media (DANE, 2019). De forma contraria se evidencia la disminución de los trabajadores sin nivel educacional y básica primaria; en el caso de la educación superior y el posgrado, se han mantenido en promedio en el mismo porcentaje. De este análisis se evidencia, que de forma general se ha realizado un proceso de educación formal, pero no ha aumentado la especialización y educación específica para el empleo de forma contundente.

**Figura 1**

Porcentaje de cada nivel educativo en la población económicamente activa de Colombia.



*Nota: Elaborado a partir del información del (DANE, 2019).*

El SINES, a través de sus lineamientos y políticas educativas, promueve la formación integral de profesionales en logística y cadena de suministro. Dentro de este marco, varias universidades colombianas han desarrollado programas académicos que abordan estos temas de manera especializada. Hasta el momento de este estudio se identifican 412 programas relacionados con las temáticas de logística y cadena de suministro, de ellos 410 se encuentran activos.

**Descripción de las instituciones y programas existentes**

Entre los 410 programas que se encuentra activos actualmente en Colombia, el 33 % se ofrecen en universidad oficiales (públicas) y el resto en universidades privadas. De forma similar, el menor porcentaje son programas de pregrado (46%). La tabla 1 desglosa la cantidad de programas por cada tipo.

**Tabla 1**

Distribución de programas por tipo de institución y nivel educativo

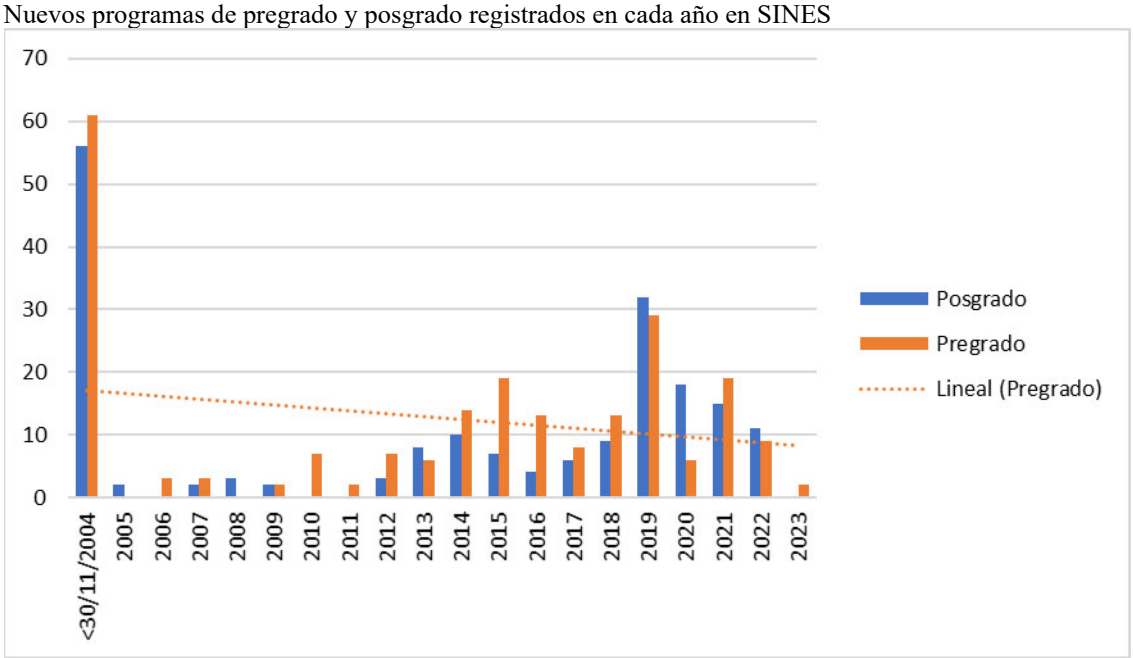
| Etiquetas de fila | Posgrado | Pregrado | Total general |
|---|---|---|---|
| Oficial | 59 | 77 | 136 |
| Privado | 129 | 145 | 274 |
| **Total general** | **188** | **222** | **410** |

*Nota: elaborado a partir de información del SINES consultada en junio de 2023*

El año 2004 representa el registro de la mayor cantidad de programas, seguramente relacionado al inicio del registro del SINES, y luego se identifica una tendencia al aumento de los programas a partir del 2011. Sin embargo, dentro de la tendencia general a la reducción de los registros, se evidencias periodos de aumento seguidos por reducciones momentáneas (figura 2), con un promedio de 21 nuevos programas anuales.

**Figura 2**

Nuevos programas de pregrado y posgrado registrados en cada año en SINES

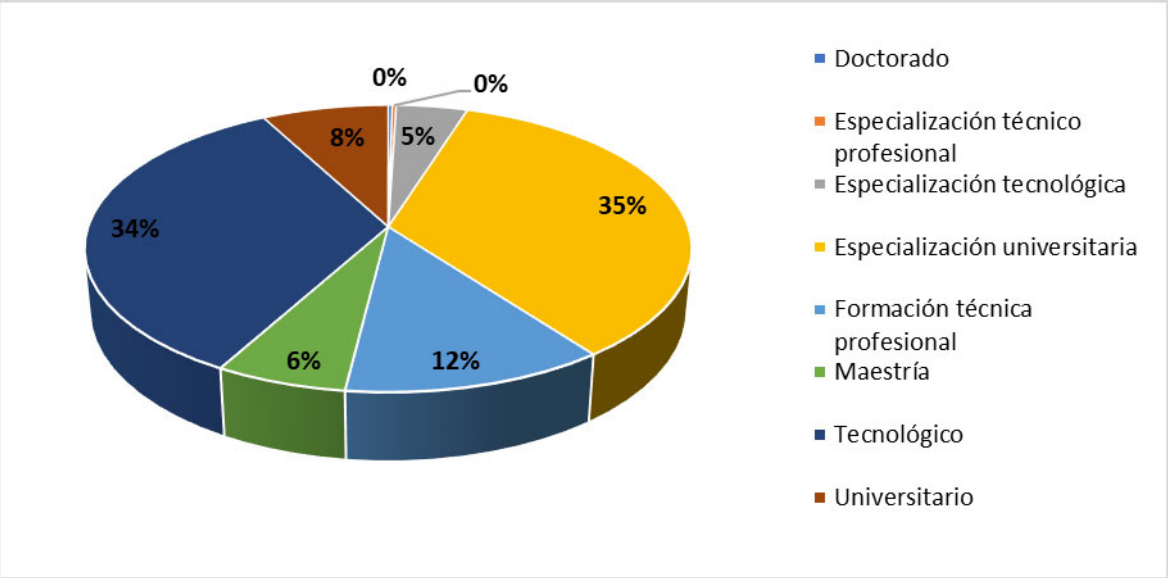



*Nota: elaborado a partir de información del SINES (2023), consultado junio 2023*

De los 410 programas identificados en relación con la logística y la cadena de suministro, el 34% corresponde a formación Tecnológica (correspondiente al Técnico Superior Universitario en Cuba) y el 12 % a la formación técnico profesional (similar al Técnico Medio en Cuba). La figura 3 demuestra que el otro alto porcentaje lo ocupan las Especializaciones universitarias con un 35%, pero si es juntan todas las especializaciones que serían similares a las Especializaciones en Cuba suman un 48%. En resumen, la hay una composición similar entre pregrado y posgrado, siendo el nivel Tecnológico y la especialización universitaria los programas más presentes en cada nivel académico.

**Figura 3**

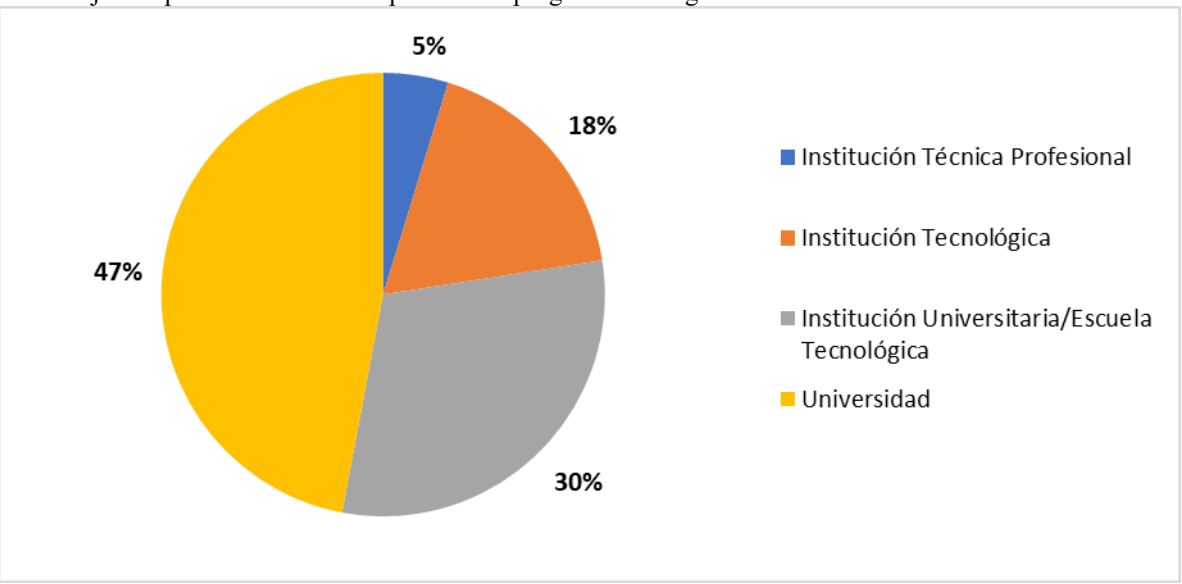
Composición de los programas activos en 2023 según nivel educativo




De los 410 programas activos en el SINES, la mayor parte son ofrecidos por universidades, instituciones universitarias o escuelas tecnológicas, sumando entre todos estos 77%, es reto es ofrecido por instituciones técnicas y tecnológicas.

**Figura 4**

Porcentaje de tipos de instituciones que ofrecen programas de logística en SINES




**Análisis de la oferta educativa en logística y cadenas de suministro**

Cuando se habla de logística y cadenas de suministro, se identifican varios perfiles correspondientes a procesos o roles dentro de las cadenas de suministro: logística, cadena de suministro, redes de valor, producción, abastecimiento, compras, almacén, inventario y transporte. En este caso, el rol de cadenas de suministro a nivel de pregrado se trabaja en las carreras de ingeniería industrial, por lo que ya se pueden encontrar especializaciones y otros posgrados en esta área de conocimiento para un total de 188 programas activos.

***Ofertas de pregrado***

Al analizar las ofertas de pregrado por departamento y modalidad, se evidencia que la mayor oferta está en programas presenciales, respondiendo seguramente a la necesidad de desarrollar habilidades prácticas

en este tipo de procesos. La tabla 2 se reafirma también, que los departamentos que tiene mayor número de programas relacionados con logística y cadenas de suministro a nivel pregrado son: Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cartagena de Indias; en total correspondencia con las principales ciudades del país con mayor presencia de universidades y ofertas académicas.

**Tabla 2**

Composición de los programas por departamento y modalidad en programas de pregrado relacionados con logística

| Departamento | Virtual | Presencial-Virtual | Presencial | A distancia | Total general |
|---|---|---|---|---|---|
| Bogotá, D.C. | 13 | | 20 | 1 | 34 |
| Medellín | 2 | 1 | 10 | 1 | 14 |
| Barranquilla | 1 | | 9 | | 10 |
| Cartagena de Indias | 1 | | 5 | 4 | 10 |
| Cali | | | 9 | | 9 |
| Bucaramanga | 1 | | 5 | | 6 |
| Ibagué | | | 4 | | 4 |
| Pereira | | | 4 | | 4 |
| Bello | 1 | | 2 | | 3 |
| Manizales | | | 1 | 2 | 3 |
| San José de Cúcuta | 2 | | 1 | | 3 |
| Villavicencio | | | 3 | | 3 |
| Apartadó | | | 2 | | 2 |
| Barrancabermeja | | | 2 | | 2 |
| Buenaventura | | | 2 | | 2 |
| Palmira | | | 2 | | 2 |
| Soacha | | | 2 | | 2 |
| Armenia | | | 1 | | 1 |
| Chía | | | 1 | | 1 |
| Coveñas | | | 1 | | 1 |
| Envigado | | | 1 | | 1 |
| Floridablanca | | | 1 | | 1 |
| Girardot | | | 1 | | 1 |
| Guadalajara de Buga | | | 1 | | 1 |
| Ipiales | | | 1 | | 1 |
| Madrid | | | 1 | | 1 |
| Neiva | | | 1 | | 1 |
| Nilo | | | 1 | | 1 |
| Riohacha | | | 1 | | 1 |
| San Andrés | | | 1 | | 1 |
| San José del Guaviare | | | 1 | | 1 |
| Santa Marta | | | 1 | | 1 |
| Sincelejo | | | 1 | | 1 |
| Tunja | | | 1 | | 1 |
| Valledupar | 1 | | | | 1 |
| Yopal | | | 1 | | 1 |
| Yumbo | | | 1 | | 1 |

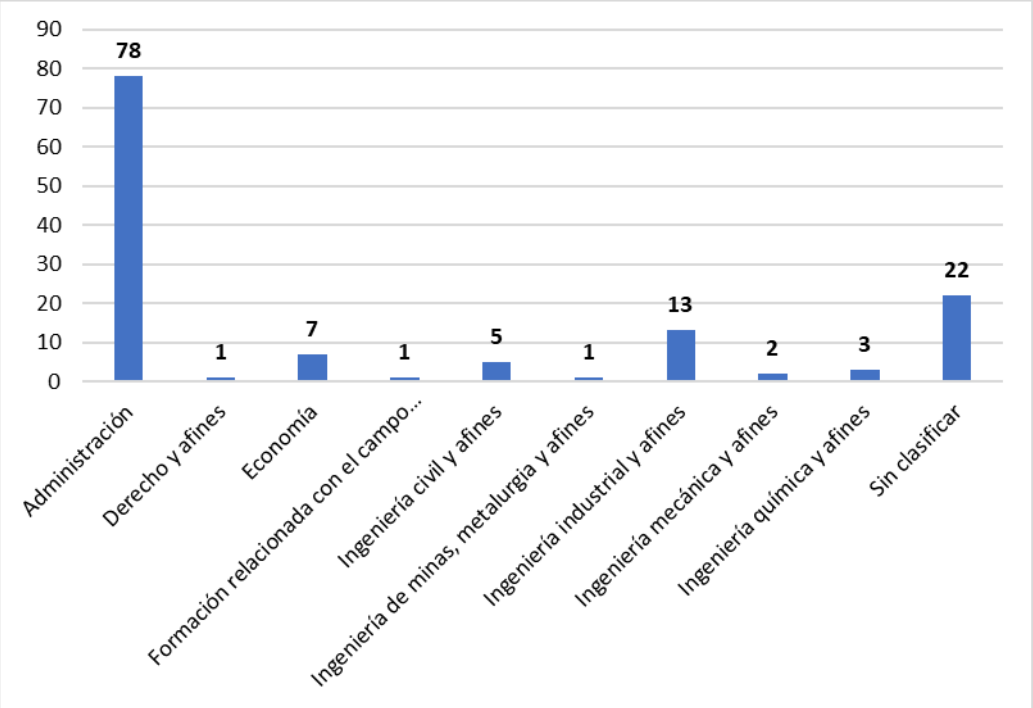
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total general** | **22** | **1** | | **102** | **8** | **133** |

*Nota: Elaborado a partir de (SINES, 2023)*

Se debe resaltar, además, que de los 133 programas activos relacionados con logística (sin tener en cuanta ingeniería industrial) la mayoría se encuentra clasificado por el SINES dentro del núcleo básico de Administración (78 programas) y sólo 13 programas dentro de Ingeniería Industrial y afines. Así mismo, la figura 4 muestra otros núcleos donde se encuentras clasificados estos programas, economía, metalurgia, civil entre otros; esto expresa que algunos programas de formación en logística a nivel pregrado son para ejercer estas competencias dentro de campos específicos de acción (20 programas) y otros 22 no están clasificados dentro de ningún núcleo. Esta estructura puede interpretarse como la expansión de los procesos logísticos para la actuación en diferentes industrias como la de construcción, mecánica, metalurgia y minas.

**Figura 5**

Cantidad de programas de preparado por núcleo de actuación




*Nota: Elaborado a partir de (SINES, 2023)*

A continuación, se comentan algunos programas de pregrado de logística existente en Colombia:

***Técnico***

Los estudiantes del técnico profesional estudian durante aproximadamente cuatro (4) semestres, y por lo general estos programas forman parte de programas articulados por ciclos propedéuticos, es decir en el camino de graduarse de tecnólogo o profesional, adquieren las competencias y título que los avala como técnicos profesionales. Al culminar estos estudios pueden insertarse al mundo laborar desarrollando tareas como:

a) Inspeccionar, formalizar y desconsolidar la llegada de insumos y mercancías contra facturas y otros documentos.
b) Organizar, ubicar, inventariar y registrar materiales, insumos, suministros según lo indique la normativa.
c) Revisar y controlar los productos según la naturaleza y sistema de almacenaje.

Algunos programas de este nivel se reseñan a continuación:

- Universidad Cooperativa de Colombia: El programa de Técnico Profesional en Comercio y Logística de Productos Manufacturados ofrece a los estudiantes la oportunidad de adquirir conocimientos especializados en el campo de la logística y el comercio de productos manufacturados. A través de este programa, los estudiantes aprenden sobre los procesos de

almacenamiento, distribución y transporte de productos, así como sobre las estrategias de comercio internacional (Universidad Cooperativa de Colombia, 2008).

- La misma universidad, tiene dentro de su oferta en varios municipios, el Técnico Laboral por Competencias en Logística y Aprovisionamiento con una duración de 12 meses y en el que se forma a los estudiantes para realizar actividades relacionadas con la entrada y salida de insumos a diferentes procesos (Universidad Cooperativa de Colombia, 2020).
- Tecnológico de Antioquia: El programa de Técnica Profesional en Procesos de Comercio Exterior y Logística brinda a los estudiantes los conocimientos necesarios para comprender y gestionar los procesos logísticos en el ámbito del comercio internacional. A través de este programa, los estudiantes aprenderán sobre la documentación aduanera, los regímenes de importación y exportación, así como sobre la planificación y gestión de operaciones logísticas eficientes (Tecnológico de Antioquia, 2019).

***Tecnología***

Los graduados de nivel tecnólogo estudian durante seis o siete (6 o 7) semestres para luego poder desempeñarse como:

a) Jefe de recepción de mercancías, control de inventarios o distribución.
b) Coordinador de almacén.
c) Supervisor, programador de rutas y tripulaciones.
d) Supervisor de control de tráfico.
e) Supervisor de control de inventarios.
f) Supervisor de servicio de rampa aeropuerto.
g) Supervisor de logística y despachos.
h) Asistente de compras y adquisiciones.

Algunos de los programas ofrecidos en este nivel en Colombia, se comentan a continuación.

- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): Ofrece el programa de Tecnología en Logística Industrial, diseñado para desarrollar capacidades en el talento humano que le permita ejecutar los procesos logísticos desde la perspectiva táctica y operacional que respondan a las estrategias de la organización y al incremento de sus niveles de competitividad (Universidad nacional Abierta y a Distancia, 2020).
- Fundación Universitaria del Área Andina: El programa de Tecnología Logística proporciona las habilidades necesarias para administrar de manera efectiva el control de recepción e inventario dentro de una organización. Los estudiantes aprenden a supervisar las actividades logísticas relacionadas con el flujo de bienes, servicios e información, asegurando un suministro eficiente y disponibilidad de inventario. Esta capacitación capacita a técnicos para los puestos de gerente de recepción de mercancías, gerente de control de inventario o gerente de distribución, coordinador de almacén y supervisor de control de inventario (Fundación Universitaria del Área Andina, 2021).

***Universitario***

Los graduados universitarios obtengan títulos como Ingenieros y para ello requieren de nueve a diez (9 o 10) semestres de estudio, luego de los cuales pueden desempeñarse como:

- Universidad de La Sabana: Invita a la carrera de Administración de Mercadeo y Logística Internacionales, que tiene como objetivo el conocimiento teórico-práctico de la administración, el mercadeo y la logística en el contexto internacional, abordado con una visión multidisciplinaria (Universidad de La Sabana, 2013).
- Universidad Piloto de Colombia: Ofrece el programa de Administración Logística, enfocado en la formación de profesionales con compromiso ético, aptitud emprendedora, investigativa y sentido de responsabilidad social, capaces de diseñar, administrar e innovar los procesos logísticos de la cadena de suministro en productos y servicios en organizaciones de diferentes sectores económicos o actividades económicas en el ámbito nacional e internacional con una visión de competitividad y sostenibilidad. Se ofrece en el seccional Magdalena, en la ciudad de Girardot (Universidad Piloto de Colombia, 2019).

- Universidad de Los Libertadores: Brinda la carrera de Administración Logística, enfocada en la formación de profesionales con compromiso ético, aptitud emprendedora, investigativa y sentido de responsabilidad social, capaces de diseñar, administrar e innovar los procesos logísticos de la cadena de suministro en productos y servicios en organizaciones de diferentes sectores económicos o actividades económicas en el ámbito nacional e internacional con una visión de competitividad y sostenibilidad(Fundación Universitaria Los Libertadores, 2021).

***Otras ofertas relacionadas***

Adicionalmente a estos programas de pregrado relacionados directamente con lo logística y las cadenas de suministro, identificados por su nombre, existen varias universidades que han desarrollado programas académicos que abordan estos temas dentro de su pensum, aun cuando el título otorgado no es directamente esta área de conocimiento. Estos programas suelen cubrir temas como abastecimiento, compras, almacén, inventario y transporte, proporcionando a los estudiantes las habilidades y conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos del entorno logístico actual.
Una de las instituciones reconocida en este campo es la Universidad EAN, que ofrece el programa de Administración de Empresas con énfasis en Logística y Distribución, el cual brinda una formación integral en la gestión de la cadena de suministro y el transporte de mercancías; adicionalmente tiene un programa de Ingeniería de Producción (Universidad EAN, 2023).

***Ofertas de Posgrado***

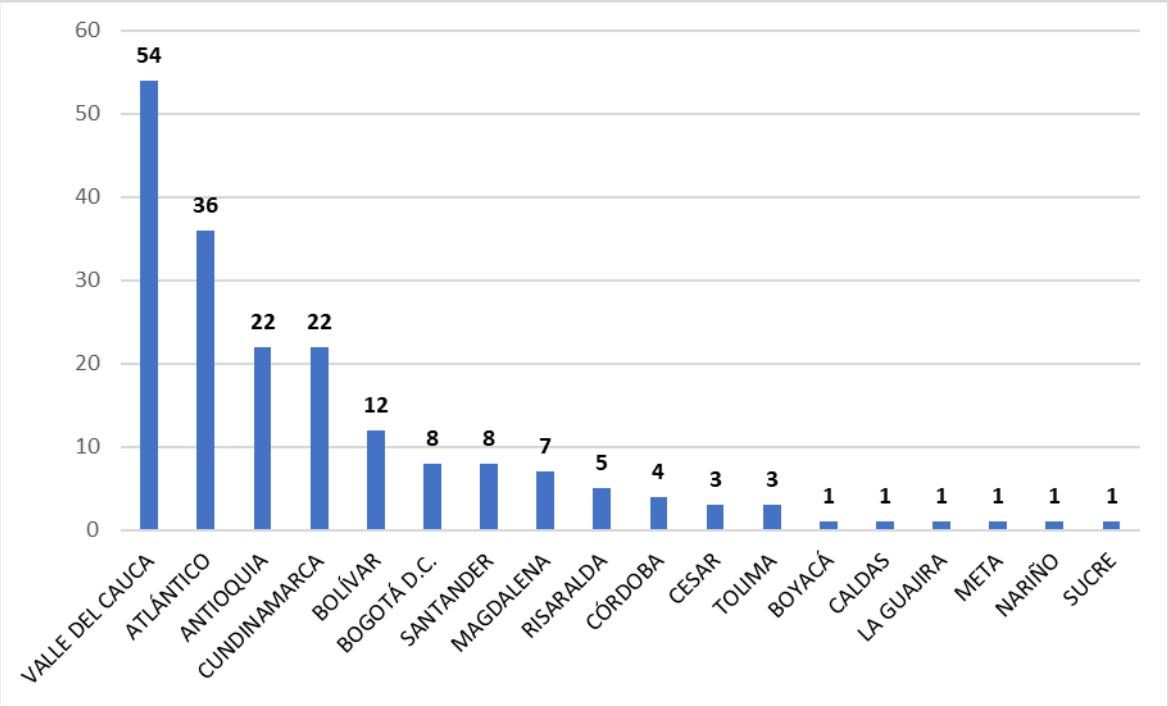
La logística y la cadena de suministro son áreas críticas para el éxito de las empresas, ya que permiten la entrega de productos y servicios de manera eficiente y efectiva. En Colombia, la formación en logística y cadena de suministro es fundamental para que los profesionales adquieran las habilidades y competencias necesarias para enfrentar los desafíos actuales y futuros.
En Colombia, existen diversas opciones de cursos y talleres especializados en logística y cadena de suministro. Estos programas están diseñados para brindar a los estudiantes una formación completa y actualizada en las últimas tendencias y tecnologías en el mercado. A continuación, se presentan algunas opciones de programas de formación en logística y cadena de suministro en Colombia:

- Universidad Nacional de Colombia: Ofrece una especialización en Logística y Gestión de la Cadena de Suministro, la cual tiene como objetivo formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar cadenas de suministro eficientes y efectivas (Universidad nacional de Colombia, 2020).
- Universidad EAN: Ofrece una especialización en Logística Integral, la cual busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar sistemas logísticos integrales que permitan la entrega de productos y servicios de manera eficiente y efectiva.
- Universidad de los Andes: Ofrece un programa de educación ejecutiva en Logística y Cadena de Suministro, el cual está diseñado para brindar a los estudiantes una formación completa en las últimas tendencias y tecnologías en el mercado.
- Universidad Pontificia Bolivariana: Ofrece una especialización en Logística Empresarial, la cual busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar sistemas logísticos que permitan la entrega de productos y servicios de manera eficiente y efectiva.
- Universidad del Rosario: Ofrece una especialización en Gerencia de la Cadena de Suministro, la cual busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar cadenas de suministro eficientes y efectivas.
- Universidad Sergio Arboleda: Ofrece una especialización en Logística y Cadena de Suministro, la cual busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar sistemas logísticos que permitan la entrega de productos y servicios de manera eficiente y efectiva.
- Universidad de los Andes, que ofrece el programa de Maestría de Ingeniería Industrial con énfasis en Logística y Producción, el cual se enfoca en la gestión eficiente de la cadena de suministro y el diseño de redes de valor (Universidad de los Andes, 2011).

***Capacitación y Educación para el trabajo***

Es importante destacar que el sistema de capacitación y formación en logística en Colombia no se limita únicamente a la educación universitaria. También existen instituciones y organizaciones que ofrecen cursos, talleres y diplomados enfocados a complementan la formación académica y brindan oportunidades de actualización y especialización para profesionales en ejercicio. Por otra parte, la Educación para el Trabajo y el Desarrollo Humano (antes educación no formal) es la que se ofrece con el objeto de complementar, actualizar, suplir conocimientos y formar, en aspectos académicos o laborales sin sujeción al sistema de niveles y grados propios de la educación formal. La educación para el trabajo y el desarrollo humano comprende programas de formación laboral y de formación académica (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, 2008), y es equivalente al Técnico Medio y Obreros Calificados en Cuba.
Según el registro del Sistema de Información de la Educación para el Trabajo y el Desarrollo Humano (SIET) existen 190 programas cuyo nombre contiene la palabra "LOGÍSTICA" o "ALMACÉN" o "INVENTARIO" o "CADENA DE SUMINISTRO", resaltando que existen cinco técnicos para operaciones de la cadena de suministro o que resulta novedoso. De los programas identificados, el 97 % son de tipo técnico profesional y el resto de formación académica; así mismo el 96 % de ellos son ofrecidos por instituciones privadas (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, 2023). La figura 6 muestra la distribución de esos programas técnicos por los departamentos de Colombia, teniendo en cuenta que todos se ofrecen en modalidad presencial.

**Figura 6**
Cantidad de técnicos por departamento relacionados con logística y cadena de suministro




*Nota : elaborado a partir de la información consultados el 20 junio 2023 en (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, 2023)*

Además de los programas formales registrados en el Ministerio de Educación, existen Diplomados y cursos sobre la temática. Los diplomados son programas de capacitación específica con una duración promedio de 200 horas y que no necesitan ser aprobados o registrados por el Ministerio de educación, y por lo tanto no son convalidables o homologables a nivel internacional, solamente son una capacitación para el empleo.
Algunos de los diplomados que se pueden encontrar son:

- la Universidad Nacional de Colombia cuenta con el programa de capacitación (diplomado) de Logística y Supply Chain Management, el cual aborda temas relacionados con la gestión de la cadena de suministro y la logística dentro de la Facultad de Ingenierías (Universidad Nacional de

Colombia, 2021). Adicionalmente, ofrece un curso en línea gratuito sobre Logística y Cadena de Suministro, que aborda temas como la gestión de inventarios, la planificación de la producción y la gestión de la demanda

- Diplomado en Análisis de la gestión de la logística de los procesos de almacenamiento y distribución en la cadena de suministro, de la Universidad de Caldas ofrece 120 horas de formación B-learning en temáticas de previsión de la demanda, gestión de inventarios, cargue y volumetría en la gestión del transporte de carga, e indicadores de gestión logística del almacenamiento y distribución (Universidad de Caldas, 2021).
- La Universidad EAN en Bogotá ofrece un diplomado en Logística y Cadena de Suministro, que busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar estrategias logísticas y de cadena de suministro en empresas y organizaciones
- La Universidad Sergio Arboleda en Bogotá ofrece un diplomado en Transporte, Logística y Comercialización de Hidrocarburos, que busca formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar estrategias logísticas y de cadena de suministro en empresas y organizaciones especializadas en hidrocarburos (Universidad Sergio Arboleda, 2023).
- La Cámara de Comercio de Bogotá ofrece el diplomado virtual en Logística Internacional y Gerencia de la Cadena de Abastecimiento, que busca que los estudiantes entiendan las diferentes estrategias competitivas del sistema logístico internacional y apliquen herramientas prácticas en la realización de exportaciones, importaciones, aplicación de los términos Incoterms®2020 correctos, transformación digital y los medios de pago, negociación con los operadores logísticos, sus costos y transporte, entre otros (Cámara de Comercio de Bogotá, 2023).
- Por otro lado, empresas como Argos Colombia ofrecen programas de formación y capacitación en logística y otros temas relacionados para trabajadores de la construcción, con el objetivo de certificar sus competencias laborales (Empresa Argos, 2023).

**Reflexiones**

La logística y la cadena de suministro son áreas críticas para el éxito de las empresas, ya que permiten la entrega de productos y servicios de manera eficiente y efectiva. En Colombia, la gestión de la cadena de suministro y la logística ha evolucionado en los últimos años, y se han identificado nuevas tendencias y tecnologías que pueden mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las cadenas de suministro. Para que las empresas puedan aprovechar estas nuevas tendencias y tecnologías, es fundamental que sus colaboradores cuenten con las habilidades y competencias requeridas para ello. En este sentido, es importante que exista un sistema de capacitación y formación en logística y cadena de suministro en Colombia que permita a los profesionales adquirir las habilidades y competencias necesarias para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

En un estudio realizado en Panamá Oeste, se identificaron las habilidades y competencias requeridas para el éxito de las empresas en la cadena de suministro. Entre las habilidades identificadas se encuentran la gestión presupuestaria, la tecnología de la información y la planificación de la demanda. Es importante que los programas de capacitación y formación en logística y cadena de suministro en Colombia incluyan estos temas y otros relevantes para el éxito de las empresas (Valdés et al., 2019).

Además, es importante que los programas de capacitación y formación en logística y cadena de suministro en Colombia estén actualizados y sean relevantes para las necesidades actuales del mercado. En un estudio realizado por el Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de Información del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA en su grupo de investigación, se exploró la complejidad en la gestión de la cadena de suministro y la logística, buscando la articulación de tecnologías, métodos y técnicas de alta resonancia en el sector industrial y académico (Meneses, 2020). Es importante que los programas de capacitación y formación en logística y cadena de suministro en se basen en investigaciones y tendencias actuales para garantizar su relevancia y efectividad (Meneses, 2020).

**Conclusiones**

Un sistema de capacitación y formación en logística y cadena de suministro es fundamental para el éxito de las empresas y la economía en general. Los programas de capacitación y formación deben incluir las habilidades y competencias requeridas para el éxito de las empresas, estar actualizados y ser relevantes para las necesidades actuales del mercado.

En Colombia se cuenta con formación específica en estas temáticas a todos los niveles: técnico laboral, técnica profesional, tecnología, universitario, especialidades, maestrías y doctorados, aunque es este último nivel solamente se identifica un programa específico, el Doctorado en Logística y Gestión de Cadenas De Suministros. El nivel de formación con mayor presencia en el país es el técnico profesional y tecnológica a identificarse una tendencia moderada al aumento de registro de programas a través de los años.

La formación técnica profesional, casi siempre está articulada por ciclos propedéuticos lo que permite la incorporación al mundo laborar de los graduados, al tiempo que continúan su formación hacia un tecnólogo o profesional, en la misma u otra institución. El nivel tecnológico es similar al técnico superior que se desarrolla hoy en Cuba, por lo que es el nivel que pudiera tomarse como referencia para el desarrollo del mismo en el país.

En el caso profesional, se identifican programas asociados a logística, lo que apenas es el caso de cadenas de suministro, lo que se trata como clases dentro de ingeniería industrial o en la oferta de posgrado, a nivel de especialidad o maestrías.

Como continuidad de este trabajo, se pretende hacer un análisis más detenido y profundo de los pensum en diferentes niveles para establecer patrones, fortalezas y debilidades de los mismos. Así mismo, estudiar otros programas que pudieran incorporar entre sus materias algunos aspectos relacionados con la logística.

**Referencias bibliográficas**

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. (2023). *Diplomado en Logística internacional y gerencia de la cadena de abastecimiento*. https://www.ccb.org.co/formacion/cursos/logistica-internacional-y-gerencia-de-la-cadena-de-abastecimiento

DANE. (2019). *Indicadores de empleo del personal ocupado, por nivel educativo (%) 1985-2018*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/indicadores-competitividad/Series_Est_Nal_empleo_1985-2018.xls

EMPRESA ARGOS. (2023). *Capacitación virtual*. https://360enconcreto.com/

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA. (2021). *Tecnología en Logística*. https://cms.areandina.edu.co/sites/default/files/2021-12/brochure-digital-tecnologia-en-logistica-virtual-areandina-2021.pdf

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES. (2021). *Administración Logística*. https://www.ulibertadores.edu.co/landings/administracion-logistica-bogota/?CEDetalleFuente=DF_LANDINGDIGITAL&CEDetalleMedio=DM_GOOSEARCH&CECampania=1678905721&keyword=administracion%20logistica&matchtype=b&loc_interest_ms=1003659&loc_physical_ms=1003659&network=g&device=c&campaignid=18665027512&feeditemid=&adgroupid=142104090705&targetid=kwd-295215582380&creative=629748441586&placement=&adposition=&gad=1&gclid=CjwKCAjwhdWkBhBZEiwA1ibLmO_-po3DLLHGkzfsX35DoIOcvrjMJcWCwMNgl7RlkBdwSq6vr5n8EhoCBrsQAvD_BwE

MENESES, C. R. (2020). Evolución de la gestión de la cadena de suministro y la logística, desde una visión tecnológica y sostenible. *Reto*, *8*(1), 22-31.

GUÍA No. 29 Educación para el Trabajo y el Desarrollo Humano., (2008). https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-157798_archivo_pdf.pdf

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2023). *Sistema de Información de la Educación para el Trabajpo y el Desarrollo Humano*. http://siet.mineducacion.gov.co/consultasiet/programa/index.jsp#

SINES. (2023). *Consulta de Programas*. https://hecaa.mineducacion.gov.co/consultaspublicas/programas

TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA. (2019). *Técnica Profesional en Procesos de Comercio Exterior y Logística (ciclo propedéutico)*. https://inscripcionestdea.com/facultad-de-ciencias-administrativas-y-economicas/tecnica-profesional-en-procesos-de-comercio-exterior-y-logistica-ciclo-propedeutico

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. (2008). *Técnico Profesional en Comercio y Logística de Productos Manufacturados* https://www.ucc.edu.co/asuntos-legales/AcuerdosSuperiores2008/Acuerdo_051_de_2088.pdf

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. (2020). *Técnico Laboral por Competencias en Logística y Aprovisionamiento* . https://ucc.edu.co/programas/tecnicos-laborales/Paginas/Bucaramanga/tecnico-laboral-por-competencias-en-logistica-y-aprovisionamiento-bucaramanga.aspx

UNIVERSIDAD DE CALDAS. (2021). *Diplomado en Análisis de la gestión de la logística de los procesos de almacenamiento y distribución en la cadena de suministro.* https://ingenierias.ucaldas.edu.co/analisis-de-la-gestion-de-la-logistica-de-los-procesos-de-almacenamiento-y-distribucion-en-la-cadena-de-suministro/

UNIVERSIDAD DE LA SABANA. (2013). *Administración de Mercadeo y Logística Internacionales*. https://www.unisabana.edu.co/programas/carreras/escuela-internacional-de-ciencias-economicas-y-administrativas/administracion-de-mercadeo-y-logistica-internacionales/carrera-administracion-de-mercadeo-y-logistica-internacionales/

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (2011). *Folleto Maestria Ingeneiría Industrial*. https://industrial.uniandes.edu.co/sites/default/files/Programas/MaestriaIIND/FolletoMaestriaMIIND2022.pdf

UNIVERSIDAD EAN. (2023). *Programas de pregrado*. https://universidadean.edu.co/programas/carreras-profesionales/carrera-de-administracion-de-empresas

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. (2020). *Tecnología en Logística Industrial*. https://estudios.unad.edu.co/tecnologia-en-logistica-industrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2020). *Especialización en Logística y Gestión de la Cadena de Suministro*. http://www.fia.unal.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=557&Itemid=151

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2021). *Programa de capacitación en Logística - Supply Chain Management*. https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/uec/wp-content/uploads/2021/09/Programa-logistica.pdf

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA. (2019). *Administración Logística*. https://girardot.unipiloto.edu.co/programas/pregrado/administracion-logistica/#:~:text=El%20programa%20de%20Administraci%C3%B3n%20Log%C3%ADstica,log%C3%ADstica%20en%20las%20redes%20de

UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA. (2023). *Diplomado en Transporte, Logística y Comercialización de Hidrocarburos*. https://www.usergioarboleda.edu.co/escuela-de-negocios-prime/educacion-ejecutiva/diplomado-en-transporte-logistica-y-comercializacion-de-hidrocarburos/

VALDÉS, J. J., JAMAL, M., SÁNCHEZ, M., & CEDEÑO, M. G. (2019). Habilidades y competencias generales de los profesionales en la cadena de suministro en Panamá Oeste. *Revista de Iniciación Científica*, *5*(2), 31-35.

**Sobre los autores**

**Ana Julia Acevedo-Urquiaga,** es profesor investigador del Programa de Ingeniería Industrial de la Fundación Universitaria San Mateo y del Laboratorio de Gestión Logística y de la Producción (LOGESPRO) de la Universidad Técnica de La Habana "José Antonio Echevarría" (CUJAE). Es Ingeniera Informática y Doctora en Ciencias Técnicas por la CUJAE y fue becaria de universidades alemanas y suecas. Es miembro e investigadora del Centro Europeo-Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE) con sede en la Universidad Humboldt de Berlín y es profesora invitada y de posgrado en varias universidades de Latinoamérica. Dra. Acevedo ostenta dos Premios Nacionales de Joven Investigador y el Premio Nacional al resultado de la Investigación Científica de la Academia Nacional de Ciencias de Cuba, así como el Teaching Award of Supply Chain de la Industrial and Engineering Operation Management Society del Estados Unidos en 2020. Sus intereses de investigación incluyen la fabricación, la logística, la gestión de la cadena de suministro, la planificación de la producción, la economía circular, la aplicación de tecnología y los métodos educativos.

**José Antonio Acevedo Suárez**: es Profesor Titular y Emérito del Departamento de Ingeniería Industrial, coordinador jefe del Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO) y vicerrector de la CUJAE. Es vicepresidente para América Latina del Centro Europeo – Latinoamericano de Proyectos Logísticos y Ecológicos (CELALE) adjunto a la Universidad Humboldt de Berlín. El Dr. Acevedo es Profesor Invitado en la Escuela de Logística del Ejército y Universidad de Pilotos de Colombia, en Bogotá, Colombia; y en la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz, Bolivia. Es Ingeniero Industrial, Especialidad en Economía Empresarial (Universidad Técnica de Dresde), Doctor en Ciencias Técnicas y Doctor en Ciencias por la CUJAE. El Dr. Acevedo ha publicado más de 70 artículos en revistas y congresos en Cuba, Colombia, Alemania, México, España y otros. Posee la Medalla de Honor del Instituto de Proyectos de Ecología Agrícola y Urbana (IASP) de la Universidad Humboldt de Berlín por su contribución al desarrollo internacional de la logística; y 3 Premios Nacionales al resultado de la Investigación Científica de la Academia de Ciencias de Cuba. Sus intereses de investigación incluyen logística, gestión de la cadena de suministro, planificación de la producción, gestión financiera y económica, economía circular y métodos educativos.

**Alejandro Martínez Báez**: es gerente comercial de la empresa Marcumex S.A.S. e investigador del Centro de Investigación y Asistencias Técnica Internacional Jhon F. Kennedy (CIATI-JFK) de Colombia; e investigador del Laboratorio de Gestión Logística y de la Producción (LOGESPRO) de la Universidad Técnica de La Habana "José Antonio Echevarría" (CUJAE). Es graduado de Ingeniería Industrial y Master en Logística de la Universidad Técnica de La Habana "José Antonio Echevarría" (CUJAE). Ha sido profesor de su alma mater y participado en varias investigaciones ligadas a la industria metalmecánica y de productos alimentarios. Tiene a su haber la dirección de varios trabajos de grado de ingeniería industrial y, la publicación de un artículo académico y participación en varios eventos internacionales.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# ESTUDIO DE LOS PROGRAMAS DE LA EDUCACIÓN PROFESIONAL SUPERIOR EN CUBA EN LOGÍSTICA

**Ing. Jorge Esteban Castañeda Rodríguez**[1]

[1]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Cuba
[1]e-mail: jorgeesca@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La investigación está compuesta por el estudio de los programas curriculares de la educación profesional superior en Cuba. Los programas actuales del Ministerio de Educación Superior (MES) se dividen en dos grupos, Carreras universitarias en su versión de Plan de Estudio E (110 carreras analizadas) y Programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto (55 programas analizados).

La problemática fundamental que sustenta la investigación está asociada a determinar cuáles son los programas curriculares de la educación superior en Cuba que incluyen en su contenido el estudio de la logística, al igual que los sistemas de producción (SP) y las cadenas de suministro (CS). Tomando como base el problema anterior se planteó el objetivo general: identificar las carreras universitarias y programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto (ESCC) que incluyen el estudio de los sistemas de producción, la logística y las cadenas de suministro.

Como resultado de la investigación se obtuvo que, de las carreras universitarias analizadas, existen solo tres carreras que incluyen la logística como asignatura específica (3% del total) y 12 que contienen materias relacionadas con las temáticas de Logística (11%). En el caso de los ESCC, incluyen la logística como asignatura 4 programas (el 7% de la muestra) y 16 TSU contienen materias relacionadas (29 %).

**PALABRAS CLAVES:** logística, cadenas de suministro, sistemas de producción, educación superior.

# STUDY OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION PROGRAMS IN CUBA IN LOGISTICS

**ABSTRACT**

The research is composed of the study of the curricular programs of higher professional education in Cuba. The current programs of the Ministry of Higher Education (MES) are divided into two groups, University Careers in its Curriculum E version (110 careers analyzed) and Short-cycle higher education level training programs (55 programs analyzed).

The fundamental problem that sustains the research is associated with determining which are the curricular programs of higher education in Cuba that include in their content the study of logistics, as well as production systems (SP) and supply chains (CS). Based on the previous problem, the general objective was proposed: to identify university careers and training programs at the level of short-cycle higher education (ESCC) that include the study of production systems, logistics and supply chains. Based on the previous problem, the general objective was proposed: to identify university careers and training programs at the level of short-cycle higher education (ESCC) that include the study of production systems, logistics and supply chains.

As a result of the research, it was obtained that, of the university careers analyzed, there are only three careers that include logistics as a specific subject (3% of the total) and 12 that contain subjects related to the topics of Logistics (11%). In the case of ESCCs, 4 programmes include logistics as a subject (7% of the sample) and 16 TSUs contain related subjects (29%).

**KEY WORDS:** logistics, supply chains, production systems, higher education.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la Logística y las cadenas de suministro son dos procesos claves para el desarrollo y evolución de la sociedad y sus organizaciones. Dentro de este campo de acción se destacan como elementos fundamentales la integración y el encadenamiento, los cuales son vitales para que las empresas sean más competitivas en el mercado, puedan mejorar sus procesos y logren obtener un mejor servicio y mayor satisfacción del cliente final. En la actualidad la gestión individual de cada empresa ya no genera una elevada competitividad, es necesario integrar la gestión en la cadena o red de suministro y establecer relaciones de cooperación entre las empresas. Pues, en el entorno actual de negocios la competencia ya no es entre productos, sino entre cadenas de suministro.

El grado de desarrollo de la logística de un país es un elemento que propicia el desempeño exitoso de sus diferentes sectores, pues es la logística la articuladora de los procesos en empresas e instituciones, o sea, de la economía nacional e internacional. Sectores económicos en Cuba con avance significativos, como el turismo y la biotecnología, se ven frenados por una articulación logística con niveles de coordinación insuficientes para darles soporte a su desarrollo continuo. En estos casos la posible mejora no radica en la posibilidad de productos turísticos o resultados de investigación científica de interés para la rama farmacéutica, respectivamente, sino en la operación de actividades logísticas que se desarrollan de forma dilatada y poco eficiente, reduciendo los niveles de competitividad de la economía cubana hacia lo interno y de cara al mercado internacional. (1)

En aras de mejorar tanto el modelo económico cubano como el desempeño logístico de sus entidades, se ha agudizado el proceso de transformaciones en su economía con el objetivo de sentar las bases del desarrollo económico de sus empresas, incluyendo el estudio de la logística, las cadenas de suministro y su integración, aspectos que inicialmente no eran tomados en cuenta.
En la actualidad, en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido Comunista de Cuba y en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2030 se ratifica la importancia del desarrollo de la logística, los encadenamientos productivos y la gestión integrada de las cadenas (2) (3). El Lineamiento 172 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución establece: “Proyectar la formación de fuerza de trabajo calificada en correspondencia con las demandas actuales y el desarrollo del país, para lo cual es preciso corregir las deformaciones que hoy presenta la estructura de la formación de especialistas de nivel superior, técnicos de nivel medio y obreros calificados”. (2)

Además de los cambios hacia un nuevo modelo económico que no esté centrado en obtener resultados como entidades individuales, se necesita una buena educación que aborde estas temáticas fundamentales de sistemas de producción, logística y cadenas de suministro. La educación de calidad será, como ya lo es, la palanca para la prosperidad de un sistema. (4)

La capacitación de los estudiantes y trabajadores vinculados a estas materias es imprescindible para mejorar los resultados logísticos operativos, tácticos y estratégicos y, con ello, la competitividad de la economía nacional.

Estrategias exitosas para generar prosperidad en diferentes países, se basan en la formación y preparación intencionada de la fuerza de trabajo, fundamentalmente jóvenes, para desarrollar propuestas innovadoras que son base a un mayor desarrollo con personal preparado para puestos de trabajo calificados. (5)

A partir de todo lo abordado anteriormente y con el objetivo de mejorar la efectividad de la logística y las cadenas de suministro en el país, contribuyendo a mejorar la competitividad de la Economía Nacional, se crea primeramente en el año 2021 el Programa Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación número 14: “Desarrollo de la Logística y las Cadenas de Suministro”, rectorado por el Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO) de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE).

En el año 2023 como parte de las acciones del programa se crea el proyecto con código y título: PN223LH14-020 Diseño de un Sistema de Formación y Capacitación en sistemas de producción, logística y cadenas de suministros. Este proyecto tiene como objetivo principal: diseñar el sistema para la

formación y capacitación del talento humano en sistemas de producción, logística y cadenas de suministro, que desarrolle soluciones para mejorar la efectividad de la logística y las cadenas de suministro en el país, que contribuya a elevar la satisfacción de las necesidades de la población con énfasis en los sistemas de producción, las exportaciones y la sustitución de importaciones. (6)

Por lo tanto, la presente investigación se desarrolla en el marco del mencionado proyecto y, tiene como problema a resolver: ¿Qué programas curriculares de la educación profesional superior en Cuba incluyen en su estudio los sistemas de producción, la logística y las cadenas de suministro?

Objetivo general: Identificar las carreras universitarias y programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto que incluyen el estudio de los sistemas de producción, la logística y las cadenas de suministro.

Las tareas que son necesarias ejecutar para alcanzar los resultados del problema a resolver y cumplir con el objetivo general se resumen en los objetivos específicos siguientes:

Objetivos específicos: Analizar todos los programas curriculares de la educación superior en Cuba y seleccionar las materias, carreras y programas relacionados con la Logística.

## 2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FORMACIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LOGÍSTICA EN CUBA

La problemática presente en el desempeño socio-económico cubano, refleja deficiencias de cara a los clientes y consumidores finales que constituyen la población. Elevados inventarios en el sistema contrastan con problemas de disponibilidad en la distribución minorista y situaciones de falta de oportunidad de suministros para completar producciones y servicios. Los profesionales que a su cargo llevan las acciones operativas de coordinación y planificación, no tienen las capacidades de actuación referidas a la gestión logística, lo cual hace que este tipo de gestión tenga un componente empírico intuitivo que deriva en la solución de situaciones sin emplear técnicas de gestión especializadas y ya generalizadas en el mundo empresarial moderno. Esto demuestra la necesidad de fortalecer el sistema de formación y capacitación en el área de la logística como vía de solución indispensable a problemas operativos y tácticos del sector empresarial y motor para el desarrollo estratégico del país. (1)

A continuación, se desarrolla el análisis del sistema de formación de educación superior en Logística en Cuba en la actualidad. Este análisis está dividido en dos etapas. En la primera etapa se estudian todos los programas curriculares de la educación superior en Cuba, en específico, las carreras universitarias en su versión de Plan de Estudio E (110 carreras analizadas) y los programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto (55 programas analizados), a partir de la revisión de sus documentos.

En la segunda etapa se determinan cuáles programas abordan las temáticas logísticas y cadenas de suministro y se analizan las materias identificadas que forman parte de la temática en cuestión.
Para resumir los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la investigación se elabora el procedimiento presentado en la *Figura 1* con el propósito de analizar la formación orientada a la rama logística en Cuba y sus perspectivas de desarrollo.

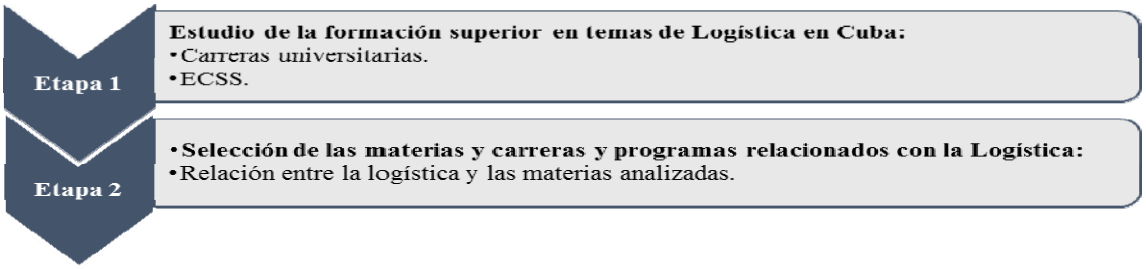



Figura 1: Materiales y métodos.

**Etapa 1. Estudio de todos los programas curriculares de la educación superior en cuba**

Como primer paso para el estudio de la situación actual referente a la formación institucional en Cuba en temáticas de logística, se presenta una caracterización de los diferentes niveles de enseñanza relacionados con la formación profesional. Se han estudiado específicamente los planes de estudio como documentos rectores de la enseñanza superior que se encuentran activos en el país, los cuales son de dominio público.

La *Figura 2* presenta un esquema de la estructura general del sistema educativo cubano, destacando en gris las estructuras de formación profesional y en verde la estructura objeto de estudio. Estos subsistemas funcionan básicamente con las variantes de estudio en curso diurno, nocturno, por encuentro y a distancia; en dependencia de la fuente de ingreso y las características de los estudiantes.

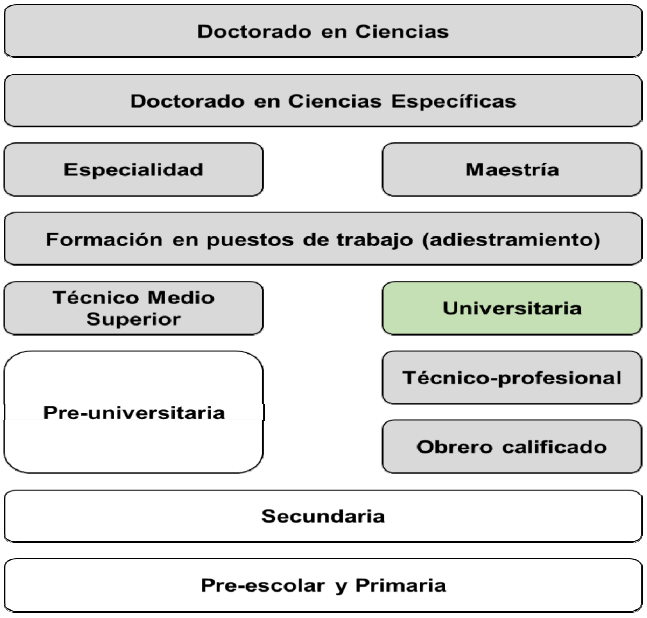



Figura 2: Esquema general del sistema educacional cubano. (1)

Cabe destacar que en un próximo estudio se debe extender el análisis para el resto de estructuras de formación profesional en Cuba (enseñanza técnica profesional y formación posgraduada).

**Análisis de las carreras universitarias**

Para obtener la información de la totalidad de las carreras universitarias del país, así como sus documentos rectores se realizaron varias visitas al MES, arrojando como resultado la obtención de los programas de las 110 carreras universitarias activas actualmente. En la *Tabla 1* se muestran todas estas carreras universitarias en su plan de estudios E.

Tabla 1: Carreras universitarias en Cuba.

| | Carrera | | Carrera | | Carrera |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Educación Agropecuaria | 38 | Ciencias Alimentarias | 75 | Economía |
| 2 | Educación Artística | 39 | Ciencias Farmacéuticas | 76 | Ingeniería Forestal |
| 3 | Educación Biología | 40 | Agronomía | 77 | Ingeniería en Procesos Agroindustriales |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | Educación Construcción | 41 | Medicina | 78 | Ingeniería Civil |
| 5 | Educación Economía | 42 | Ingeniería Informática | 79 | Ingeniería Mecánica |
| 6 | Educación Eléctrica | 43 | Contabilidad y Finanzas | 80 | Ingeniería en Metalurgia y Materiales |
| 7 | Educación en Física | 44 | Comunicación Social | 81 | Arquitectura y Urbanismo |
| 8 | Educación Español - Literatura | 45 | Periodismo | 82 | Ingeniería Geológica |
| 9 | Educación Especial | 46 | Psicología | 83 | Ingeniería en Ciencias Informáticas |
| 10 | Educación Geografía | 47 | Lengua Alemana con Segunda Lengua Extranjera | 84 | Lengua Española para no Hispanohablantes |
| 11 | Educación Informática | 48 | Lengua Francesa con Segunda Lengua Extranjera | 85 | Ciencias Sociales |
| 12 | Educación Inglés para la Educación Superior | 49 | Lengua Inglesa con Segunda Lengua Extranjera | 86 | Criptología |
| 13 | Educación Laboral | 50 | Lengua Rusa con Segunda Lengua Extranjera | 87 | Derecho |
| 14 | Educación Lenguas Extranjeras | 51 | Ingeniería en Bioinformática | 88 | Arte Danzario |
| 15 | Educación Logopedia | 52 | Artes de la Conservación y Restauración | 89 | Arte Teatral |
| 16 | Educación Marxismo - Leninismo e Historia | 53 | Ingeniería de Minas | 90 | Artes Visuales |
| 17 | Educación Matemática | 54 | Física Nuclear | 91 | Arte de los Medios de Comunicación Audiovisual |
| 18 | Educación Mecánica | 55 | Radioquímica | 92 | Música |
| 19 | Educación Mecanización | 56 | Tecnologías Nucleares y Energéticas | 93 | Filosofía |
| 20 | Educación Química | 57 | Ingeniería Eléctrica | 94 | Ingeniería en Ciberseguridad |
| 21 | Educación Química Industrial | 58 | Derecho | 95 | Bioanálisis Clínico |
| 22 | Pedagogía Psicología | 59 | Biología | 96 | Enfermería |
| 23 | Cultura Física | 60 | Bioquímica y Biología Molecular | 97 | Estomatología |
| 24 | Diseño de Comunicación Visual | 61 | Microbiología y Virología | 98 | Imagenología y Radiofísica Médica |
| 25 | Diseño Industrial | 62 | Química | 99 | Rehabilitación en Salud |
| 2 | Gestión Sociocultural | 63 | Ingeniería Hidráulica | 10 | Higiene y |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | para el Desarrollo | | | 0 | Epidemiología |
| 27 | Meteorología | 64 | Historia del Arte | 101 | Logofonoaudiología |
| 28 | Turismo | 65 | Ciencias de la Computación | 102 | Nutrición |
| 29 | Educación Preescolar | 66 | Geografía | 103 | Optometría y Óptica |
| 30 | Educación Primaria | 67 | Medicina Veterinaria | 104 | Sistemas de Información en Salud |
| 31 | Ingeniería en Automática | 68 | Ingeniería Industrial | 105 | Ingeniería en Seguridad contra Incendios y otras Emergencias |
| 32 | Ingeniería Biomédica | 69 | Matemática | 106 | Servicios Estomatológicos |
| 33 | Ingeniería Geofísica | 70 | Preservación y Gestión del Patrimonio Cultural | 107 | Relaciones Internacionales |
| 34 | Ingeniería Química | 71 | Historia | 108 | Ciencias Sociales para cuadros |
| 35 | Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica | 72 | Ingeniería Agrícola | 109 | Ciencia de Datos |
| 36 | Ciencias de la Información | 73 | Letras | 110 | Ingeniería en Transporte |
| 37 | Ciencias de la Seguridad del Estado | 74 | Sociología | | |

En cada una de las carreras se realizó un análisis detallado de los planes de estudio, apoyado por entrevistas a directivos y especialistas del MES y de algunas de las carreras.

En el país, no existe una carrera universitaria dedicada a la formación en logística como temática técnica, aun cuando estos programas tienen una amplia presencia en diversos países avaladas por el soporte directo que ofrecen al desarrollo de la matriz de producción y servicios en la economía.

Entre los 110 planes analizados solo se identifican dos carreras que imparten la asignatura Logística en su módulo específico; Ingeniería Industrial y Licenciatura en Economía. Aunque en esta última no se imparte la asignatura en todos los centros universitarios que tienen la carrera de Economía en el país. Otras carreras, como Licenciatura en Turismo, han incorporado asignaturas optativas relacionadas con las temáticas de cadenas de suministro y logística de almacenes; aunque esta tendencia no es homogénea en todo el país.

**Análisis de los programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto**

Como en el caso anterior, la información en su totalidad de los programas de las ESCC se consigue del MES. Existen actualmente un total de 55 programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto, los cuales se presentan en la *Tabla 2* a continuación.

Tabla 2: Programas de educación superior de ciclo corto en Cuba

| | **Carrera** | | **Carrera** | | **Carrera** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Aduana | 2 | Profesor de Lengua | 3 | Gestión de la |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | Española | 9 | Infraestructura ferroviaria |
| 2 | Análisis Clínico y Medicina Transfusional | 21 | Profesor de Física | 40 | Mantenimiento para el Turismo |
| 3 | Biofísica Médica | 22 | Profesor de Historia y Educación Moral y Ciudadana | 41 | Transporte Automotor |
| 4 | Citohistopatología | 23 | Profesor de Química | 42 | Gestión de la Administración Pública |
| 5 | Electromedicina | 24 | Profesor de Educación Laboral | 43 | Riego y Drenaje |
| 6 | Enfermería | 25 | Profesor de Geografía | 44 | Lengua de Señas |
| 7 | Higiene y Epidemiología | 26 | Profesor de Matemática | 45 | Auditoría |
| 8 | Logofonoaudiología | 27 | Administración de Redes y Seguridad Informática | 46 | Gestión Tributaria |
| 9 | Nutrición y Dietética | 28 | Profesor de Educación Artística | 47 | Trabajo Social |
| 10 | Optometría y Óptica | 29 | Entrenamiento Deportivo | 48 | Riesgo de impago en el Turismo |
| 11 | Prótesis Estomatológica | 30 | Comercio Sostenible | 49 | Procesos Químicos |
| 12 | Radiología | 31 | Logística | 50 | Agroindustrial en Tabaco |
| 13 | Rehabilitación Física | 32 | Asistencia Turística | 51 | Comercio Agropecuario |
| 14 | Servicios Farmacéuticos | 33 | Asistencia Jurídica | 52 | Metrología |
| 15 | Terapia Ocupacional | 34 | Agua y Saneamiento | 53 | Gestión y Desarrollo Cooperativo Agropecuario |
| 16 | Trabajo Social en Salud | 35 | Geología | 54 | Gestión de la Innovación Agraria |
| 17 | Neurofisiología Clínica | 36 | Gestión del Desarrollo Local Sostenible | 55 | Gestión integral de Residuos |
| 18 | Vigilancia y Lucha Antivectorial | 37 | Montaje Industrial | | |
| 19 | Profesor de Biología | 38 | Electromecánica de equipos ferroviarios | | |

En cada uno de los programas se realizó un análisis detallado de los planes de estudio, apoyado por entrevistas a directivos y especialistas del MES y de algunas de las carreras.

En el caso de las ESCC existe un técnico superior en Logística, lo cual fue declarado como un objetivo específico del Ministerio de Educación Superior. Este técnico superior pertenece a la Facultad de Ingeniería Industrial de la CUJAE y es desarrollado en gran parte por LOGESPRO. Está diseñado como base de formación con ciclo corto y especializado para complementar los técnicos medios y la educación superior.

Los técnicos superiores, en diversas experiencias internacionales, se reconocen como salidas intermedias de la formación de ingenieros, favoreciendo que los conocimientos básicos de ambos sean comunes al formarse en programas que se complementan y en las mismas aulas.

De los 55 planes analizados, además del técnico superior universitario (TSU) en Logística, el TSU en Comercio Sostenible, el TSU en Comercio Agropecuario y el TSU en Gestión integral de residuos cuentan con la asignatura Logística en su plan de estudio. Existen varios programas que imparten otras asignaturas relacionadas con la temática analizada, estas materias se analizan en la segunda etapa de la investigación.

**Etapa 2. Selección de las materias, carreras y programas relacionados con la logística**

**Carreras universitarias**

Luego de un análisis detallado de cada plan de estudio, mayormente de las carreras de ciencias técnicas y otros de ciencias exactas, se identifican algunas asignaturas que tributan al conocimiento de algunos elementos de la logística, lo cual se sintetiza a continuación en la *Tabla 3*.

Tabla 3: Relación de las carreras universitarias con el tema logístico.

| Carreras Universitarias | Asignaturas | Referente al tema logístico |
|---|---|---|
| Licenciatura en Economía | Marketing | Elementos de comercialización. |
| Licenciatura en Contabilidad y Finanzas | Contabilidad de costo | Costeo ABC.<br>Bases para costos logísticos. |
| Ingeniería Química | Ingeniería de Procesos<br>Control de Procesos<br>Diseño de plantas | Diseño, planificación y control de procesos industriales.<br>Gestión de mantenimiento industrial y almacenes.<br>Diseño de producciones industriales. |
| Ingeniería Civil | La Gestión en el Proceso Inversionista | Planificación y control de proyectos. |
| Ingeniería Eléctrica | Suministro Eléctrico | Logística de distribución. |
| Licenciatura en Farmacia | Control del Medicamentos I y II | Gestión de inventario. |
| | Producción de los Medicamentos | Logística de producción. |
| Licenciatura en Alimentos | Conservación de alimentos | Almacenes. |
| Licenciatura en Enfermería | Farmacología | Gestión de inventario y almacenes. |
| Ingeniería Agrícola | Temáticas en varias materias | Cadena agroalimentaria. |
| Ingeniería Agropecuaria | Temáticas en varias materias | Cadena agroalimentaria. |

Ingeniería industrial y Licenciatura en Economía cuentan con una asignatura específica de Logística, como se mencionó en la etapa anterior; y Licenciatura en Turismo a modo de optativas. A modo de conclusión se muestra el resultado del análisis de las carreras universitarias en la *Figura 3* y la *Figura 4*.

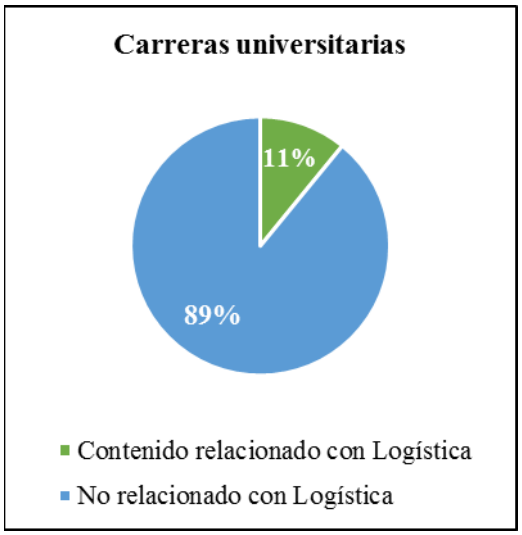



Figura 3: Porcentaje de relación carreras - Logística.

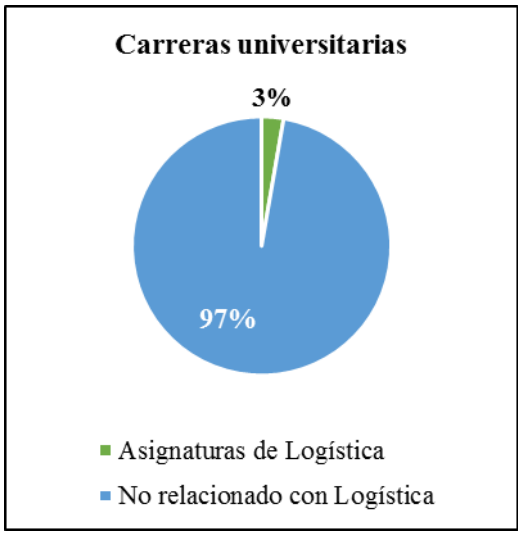



Figura 4: Porcentaje de la asignatura Logística.

Como se puede observar solo el 11% de las carreras universitarias cuentan con asignaturas y materias relacionadas con la logística o cadenas de suministro en sus planes de estudio. En el caso de tener una asignatura específica de Logística, nada más el 3% de las carreras lo contiene.

**Programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto**

Luego del análisis detallado de los planes de estudio de los 55 programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto, las asignaturas y materias que tributan al conocimiento de algunos elementos de la logística se resumen en la *Tabla 4*.

Tabla 4: Relación de las ESCC con el tema logístico.

| ESCC | Asignaturas | Referente al tema logístico |
|---|---|---|
| Comercio Sostenible | Marketing I y II | Elementos de comercialización. |
| Asistencia turística | Varias materias | Inventarios.<br>Capacidad. |
| Gestión de Desarrollo Local Sostenible | Varias materias | Encadenamiento productivo. |
| Electromecánica de Equipos Ferroviarios | Curso general del transporte ferroviario | Transporte ferroviario. |
| Gestión de la infraestructura ferroviaria | | |
| Mantenimiento para el Turismo | Gestión del mantenimiento | Gestión de inventarios. |
| Auditoría | Varias materias | Sistemas de inventarios.<br>Rotación de inventarios. |
| Gestión tributaria | Varias materias | Sistemas de inventarios. |
| Procesos químicos | Varias materias | Procesos industriales. |
| Agroindustrial en tabaco | Varias materias | Cadena agroindustrial. |

| | | |
|---|---|---|
| Metrología | Varias materias | Problemas de optimización o vinculados con la logística |
| Gestión y Desarrollo Cooperativo Agropecuario | Varias materias | Compras y almacenamiento de insumos.<br>Transporte de distribución.<br>Administración de inventarios.<br>Encadenamientos productivos.<br>Cadena agroalimentaria. |
| Gestión de la innovación agraria | Varias materias | Encadenamientos productivos.<br>Sistemas de innovación agropecuaria. |
| Gestión integral de residuos | Varias materias | Seguridad y salud en el trabajo.<br>Sistemas integrados de gestión.<br>Transporte de aprovisionamiento y distribución.<br>Gestión ambiental.<br>Gestión de almacenes e inventarios. |

Los planes de estudio que cuentan con una asignatura específica de Logística son: Logística, Comercio Sostenible, Comercio Agropecuario y Gestión integral de residuos. A modo de conclusión se muestra el resultado del análisis de estos planes en la *Figura 5* y la *Figura 6*.

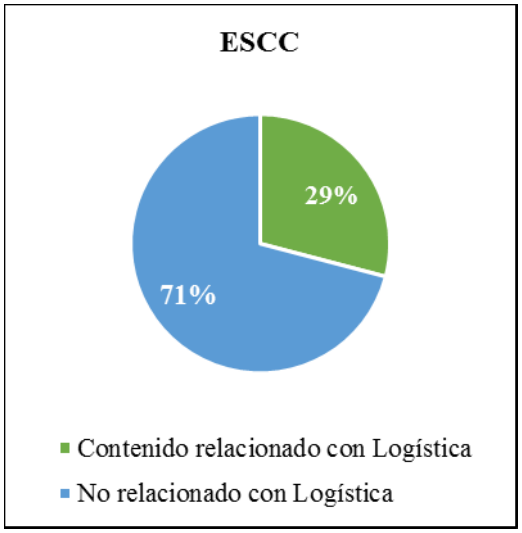



Figura 5: Porcentaje de relación ESCC - Logística.

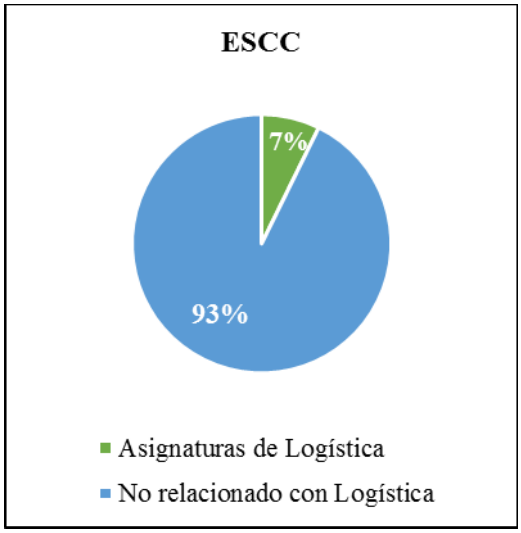



Figura 6: Porcentaje de la asignatura Logística.

Como resultado se obtiene que en el caso de las ESCC el 29% de los planes de estudio cuentan con asignaturas y materias relacionadas con la logística o cadenas de suministro. En el caso de tener una asignatura específica de Logística, nada más el 7% de las carreras lo contiene.

## 3. CONCLUSIONES

Se ha logrado identificar cuáles son los planes de estudio de la educación superior en Cuba que contienen las temáticas de Sistemas de Producción, Logística y Cadenas de Suministro. El análisis ha sido posible gracias a los resultados alcanzados para cada uno de los objetivos específicos definidos. Estos resultados se resumen a continuación:

Se realizó el análisis de un total de 110 carreras universitarias y 55 Programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto, arrojando que existen solo tres carreras que incluyen la logística como asignatura o módulo específico (representando un 3% del total); y en el caso de las ESCC el valor asciende a 4 TSU (lo que representa el 7% de la muestra).

Carreras y programas de formación de nivel de educación superior de ciclo corto que contengan materias relacionadas con las temáticas de Logística se identificaron 12 (11%) y 16 (29 %) respectivamente.

## 4. REFERENCIAS

1. ACEVEDO URQUIAGA, A. J., SABLÓN COSSÍO, N., ACEVEDO SUÁREZ, J. A., GÓMEZ, M. I., & LÓPEZ JOY, T. *FORMACIÓN LOGÍSTICA EN CUBA: DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS.* s.l. : Universidad y Sociedad, 2019.
2. PCC. *Lineamientos de la Politica Económica y Social del Partido y la Revolución.* 2011. pág. 38.
3. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL *2030.* 2019.
4. OPPENHEIMER, A. *La próxima Revolución Industrial.* 2015.
5. GLOBAL COMPETITIVENESS AND RISKS TEAM. *7 ways countries can boost competitiveness.* 2017.
6. LOGESPRO-CUJAE. *PN223LH14-020, Diseño de un Sistema de Formación y Capacitación en sistemas de producción, logística y cadenas de suministros.* 2023.

### Sobre los autores

**Jorge E. Castañeda Rodríguez.** Nació en 1998 en Cuba. Ingeniero Industrial (2023) en la CUJAE. Profesor Adiestrado de la Cujae. E-mail: jorgeesca@tesla.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Modelación Matemática de Sistemas de Producción. Caso de estudio los Consumidores influencia del submodelo en el resto del Sistema de Producción

Msc Pedro Alejandro Monteagudo Azcuy[1]
monteagudo@tesla.cujae.edu.cu
Dr Cs José Antonio Acevedo Suárez[1]
acevedo@tesla.cujae.edu.cu
Alumno Lisdier Millán Fernández[1]

* 1Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Cuba

**Abstracto**

La modelación matemática de los Sistemas de Producción (SP), constituye una herramienta para diseñar y mejorar sistemas de producción, no constituye un modelo de optimización, sino de ayuda a la toma de decisiones en cuanto al análisis, diseño, mejoramiento y gestión de los procesos. En la práctica la gestión de los sistemas de producción se realiza bajo enfoques por especialidad (o campos de actuación) y bajo un enfoque tradicional de gestión empresarial como las teorías Tayloristas, que están demostrando su obsolescencia, al no tener en cuenta los fenómenos más notables del siglo XXI, sin lograr un enfoque integral orientado al Sistema de Producción (o servicio), lo que se revela la carencia de conocimientos sobre los sistemas de producción que propicia se formulen soluciones insuficientes desde diferentes campos de acción, no permitiendo conocer su efecto sobre el sistema. El sistema de producción está definido por el Modelo de Valor del Proceso (MVP) desarrollado por LOGESPRO (Laboratorio de Logística y Gestión de Producción de la CUJAE) como integrador de todos los elementos que deben conformar el sistema de producción, apoyado en un modelo matemático que consta de 901 ecuaciones, 32 constantes del entorno y 1419 variables técnico-organizativas y económico-financieras, que se agrupan en 15 submodelos. El trabajo se centra en el primer Submodelo que compone el sistema de producción el cliente, donde se presentan las ecuaciones que lo componen, las cuales serán objeto de análisis

**Palabras clave:** Sistema de producción, Modelo del Valor de los Procesos, Objeto de la Profesión, enfoque integral.

## Introducción

La gestión integrada de las cadenas de suministros, y el paso a la gestión de redes de valor, demanda cada vez más la ampliación del alcance de los procesos y la adopción de una mayor complejidad, transitando hacia procesos de alto valor agregado al cliente, lo cual exige una mayor integralidad en la consideración del proceso tanto en su diseño, como en su análisis y gestión. Esta tendencia exige la búsqueda de herramientas que modelen esta integración y que permita adoptar decisiones rápidas y de alto impacto considerando las especificidades del proceso. El Modelo del Sistema de Producción aporta una solución efectiva en esta dirección(Acevedo Suárez José A. Urquiaga Rodríguez Ana Julia y Gómez Acosta Martha I., 2008).

Este modelo refleja que para desarrollar el sistema de producción tienen que integrarse diversos profesionales y especialistas para obtener un sistema de producción competitivo (Cherkos Kassaneh Tomas Bolisani Ettore and Cegarra-Navarro Juan-Gabriel, 2021), lo cual exige que todos lo adopten como objeto de la profesión y dominen esa plataforma común sobre la cual colaborarán y se integrarán, similar a lo que se hace en el sistema de salud cubano, por lo que se hace necesario que esta modelación constituya la base para

reestructurar la formación de los profesionales relacionados con las producciones de bienes y servicios porque su dominio es la base para insertar eficientemente los resultados de la actividad en su campo de actuación en los sistemas de producción de bienes y servicio, así como para un efectivo intercambio y su actuación en impactos en los resultados finales del sistema de producción en que actúan en términos técnicos, económicos y financieros(Acevedo Suárez José A y Gómez Acosta Martha I, 2022; Fritz Morgane M. C. Ruel Salomée., 2023)

En la actualidad solo la rama de la medicina ha definido el objeto de la profesión:

"…El rasgo fundamental del objeto de la profesión médica viene dado por la calidad del sistema de conocimientos o de los saberes sobre la salud o la enfermedad de los individuos, la familia y la comunidad en cuya suerte compromete, al unísono, la posibilidad de mantener, conservar, corregir, regular o de construir la vida. Esa calidad es la base sobre la que se construyen los modos de actuación del profesional…"(Quintana Torres Jorge Luis Álvarez Vázquez Augusto Jorge Flores Rodríguez Jorge Luis, 2004 )

**Sistema de producción**

¿Qué es un Sistema de Producción?

El sistema de producción tiene sus antecedentes en el sistema Canvas, que está compuesto por nueve elementos: costos, recursos claves, acciones claves, valor, relaciones con el cliente, mercado, canales, ingresos

que es un modelo semejante pero las variables están asociadas cualitativamente(Osterwalder Alexander, 2004), lo que presenta la desventajas de no poder conocer el efecto cuantitativo de la influencia de una variable en el sistema, lo cual si es posible conocer con el sistema de producción.

El sistema de producción está definido por el Modelo de Valor del Proceso (MVP) desarrollado por LOGESPRO (Laboratorio de Logística y Gestión de Producción de la CUJAE) como integrador de todos los elementos que deben conformar el sistema de producción, apoyado en un modelo matemático que consta de 901 ecuaciones, 32 constantes del entorno y 1419 variables técnico-organizativas y económico-financieras, que se agrupan en 15 submodelos

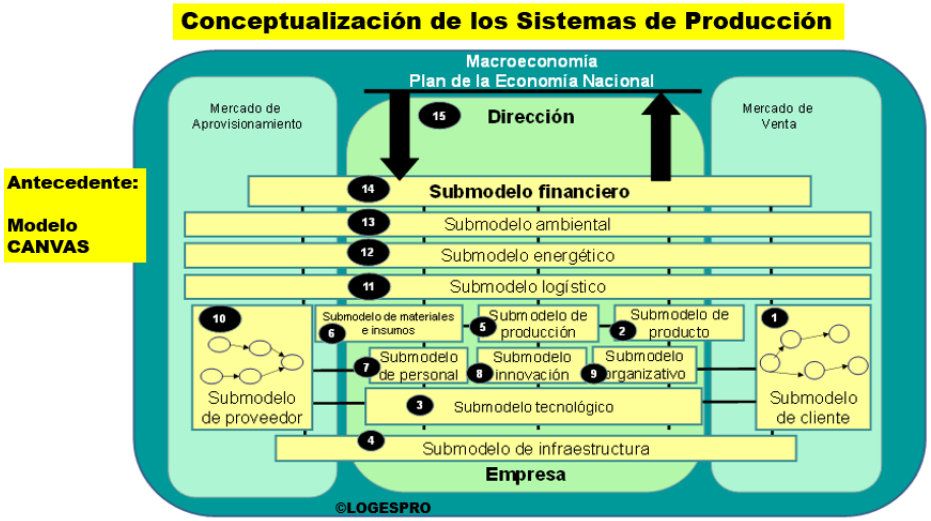



Figura 1 Conceptualización del sistema de producción: fuente(Acevedo Suárez José A y Gómez Acosta Martha I., 2022)

El sistema de producción está asociado al sistema de transacciones, que para el funcionamiento operativo de cualquier Entidad se realiza mediante un movimiento de recursos materiales, financieros y laborales que permite que realicen un sistema de operaciones que resultan en la generación de determinados resultados finales (productos y servicios) (Acevedo Suárez José Antonio, 2019)

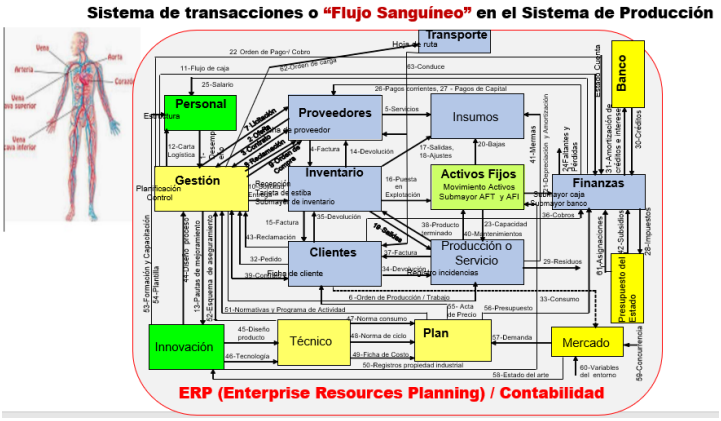



Figura 2 Sistema de transacciones en el sistema de producción: fuente (Acevedo Suárez José Antonio, 2019)

**Modelación matemática del Sistema de Producción**

Un servicio es un acto o el conjunto de actos mediante el cual se logra que un producto o grupo de productos satisfaga las necesidades y deseos del cliente.
Al abordar el servicio al cliente hay que conceptualizar adecuadamente tres aspectos interrelacionados del mismo:

1. **Demanda de servicio:** Son las características deseadas por el cliente para el servicio que demanda y su disposición y posibilidad para pagarlo con tales características.
2. **Meta de servicio:** Son los valores y características relevantes fijadas como objetivo para el conjunto de parámetros que caracterizan el servicio que el proveedor oferta a sus clientes. Esta meta puede ser fijada como única para todos los clientes, diferenciada por el tipo de cliente o acordada cliente a cliente.
3. **Nivel de servicio:** Grado en que se cumple la meta de servicio

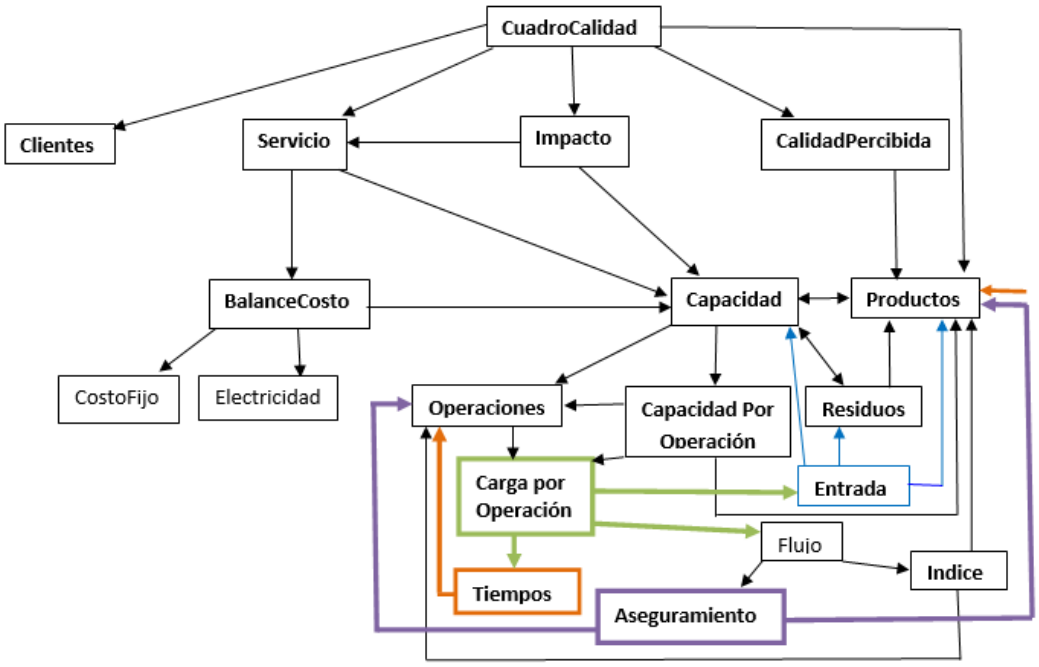



Figura 3 Relaciones de la variable del submodelo clientes Fuente elaboración propia

Modelación matemática del submodelo clientes

El sub modelo de clientes está caracterizado por un grupo de ecuaciones y variables que se exponen a continuación:

**Calidad percibida por el cliente**

$$C_{p_c} = \frac{A_1 * C_1 + A_2 * C_2 ... A_5 ** C_5}{\sum A_1 * C_1 + A_2 * C_2 ... A_5 * C_5} * \frac{100}{N}$$

Donde

$C_{p_c}$ Calidad percibida por el cliente

$A$ Atributos del producto.

$C$ Calificación que se le da a cada atributo, mediante su ponderación

$n$ Cantidad de atributos

**Impacto en el cliente**

$$C_{I_{pt}} = \frac{C_{aspv} + P_{ic} + C_{ad} + O_{in} + P_{rc} + C_{as} + P_{aa} * C_{ac}\ (100 - N_s)}{100}$$

*Donde*

$C_{I_{pt}}$ *Costo total*

$C_{aspv}$ *Costo anual del servicio posventa(Cuando el servicio se debe realizar por reclamaciones);*

$P_{ic}$ *Pago de indemnizaciones al cliente;*

$C_{ad}$ *Costo de atención a devoluciones;*

$O_{in}$ *Otros impactos negativos;*

$P_{rc}$ *Pérdida por rechazos de consumidores;*

$C_{as}$ *Costo de afectaciones a un cliente no servido*

$P_{aa}$ *Producción a ejecutar en el año*

$C_{I_u}$ *Costo de impacto por unidad*

$$C_{I_u} = \frac{C_{I_{pt}}}{P_{aa}}$$

$C_{aspv}$ *Costo anual del servicio posventa(Cuando el servicio se debe realizar por reclamaciones)*

$$C_{aspv=} \sum P_{ic}\ C_{ad}\ O_{in}\ P_{rc}$$

$P_{aa}$ *Producción a ejecutar en el año*

$$P_{aa} = \prod \left( D_{ap}\ P_p \left( \frac{1 + D_p}{100} \right) \right)$$

$D_p$ *por ciento de defectuosos o pérdidas*

$D_{ap}$ *Demanda anual plan*

$D_{ap} = D_{map} * C_{mp}$

$D_{map}$ *Demanda del mercado en que actúa el proceso*

$C_{mp}$ *Cuota de mercado plan*

**Nivel de servicio**

Costo del no servicio y el calculo del nivel de servicio.

Costo del no servicio

$$P_{pv} = \frac{I_{sp}}{P_{vs}}$$

$P_{pv}$ *Precio promedio en ventas*

$I_{sp}$ *Importe según el proceso*

$P_{vs}$ *Producción a vender o salida*

$$C_{av} = \frac{I_a}{P_{vs}}$$

$C_{av}$ *Costo agregado variable*

$I_a$ *Importe anual (pesos en años)*

$$C_e = \frac{I_{pa}}{P_{vs}}$$

$C_e$ *Costo de entrada*

$I_{pa}$ *Importe (pesos/año)*

*Margen de contribución*

$$M_c = \left(P_{pv} - C_{av} - C_e\right)$$

**Costo de oportunidad**

**Costo de no servicio por unidad de producto**

$$C_{nsup} = \frac{\frac{M_c * 100}{100}}{\frac{N_s}{100}}$$

*Costo de no servicio por unidad de producto asumido por la empresa*

$$C_{nsupe} = \frac{\frac{M_c * P_{cns}}{100}}{\frac{N_s}{100}}$$

$P_{cns}$ *=Porcentaje de clientes no servidos que se pierden*

*Costo de no servicio por unidad de producto asumido por el cliente.*

$C_{nsupc} = \left(C_{nsup} - C_{nsupe}\right)$

**Cálculo del Nivel de Servicio**

$$N_s = \frac{CT_{prc} - T_{pi} * 100}{C_{pr}}$$

$CT_{prc}$ *Cantidad total de pedidos recibidos de los clientes*

$T_{pi}$ *Total de pedidos incumplidos*

$C_{pr}$ *Cantidad de pedidos rechazados (diversas causas)*

$C_{paf}$ *Cantidad de pedidos aceptados con fallo (diversas causas)*

$$T_{pi} = \left(C_{pr} - C_{paf}\right)$$

**Relación de clientes**

**Volumen anual de transporte**

$$V_{ta} = D * Cs * Ton$$

*D Distancia (Km)*
*Cs Cantidad de suministro*
*Ton Toneladas a transportar*

Conclusiones

1. Hay una interdependencia generalizada entre todos los submodelos del Sistema de Producción
2. La transformación de un solo submodelo no genera mejoramiento del Sistema de Producción, sino nuevos problemas
3. Todos los que trabajan en el sistema de producción (directivos, especialistas, técnicos y obreros) deben recibir una formación holística sobre el sistema de producción, o sea, deben considerarlo como su objeto de la profesión.
4. Para asimilar las tecnologías de la Industria 4.0 con el objetivo de dar un salto en el desarrollo de los sistemas de producción y las cadenas de suministro es condición necesaria que la base organizativa, gerencial y operacional esté orientada a la integración.
5. Las empresas sólo podrán ser competitivas integradas en cadenas de suministro y no por sí solas(Porter Michael E, 2000)

Bibliografía

1. ACEVEDO SUÁREZ JOSÉ A. URQUIAGA RODRÍGUEZ ANA JULIA Y GÓMEZ ACOSTA MARTHA I. (2008). El Modelo de Valor de los Procesos (MVP). 14 Conferencia Cientifica de Ingenieria y Arquitectura, CUJAE.
2. ACEVEDO SUÁREZ JOSÉ A Y GÓMEZ ACOSTA MARTHA I. (2022). Desarrollo de los sistemas de producción (o servicios) versión 9
3. ACEVEDO SUÁREZ JOSÉ A Y GÓMEZ ACOSTA MARTHA I. (2022). Desarrollo de los sistemas de producción (o servicios) versión 9, documento interno.
4. ACEVEDO SUÁREZ JOSÉ ANTONIO. (2019). Monografía Sistema de Operaciones Económico Financieras de las Entidades. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".
5. CHERKOS KASSANEH TOMAS BOLISANI ETTORE AND CEGARRA-NAVARRO JUAN-GABRIEL. (2021). Knowledge Management Practices for Sustainable Supply Chain Management: A Challenge for Business Education Sustainability.
6. FRITZ MORGANE M. C. RUEL SALOMÉE. (2023). What does "sustainable supply chain management" really mean? A contribution to bridging the gap between research, education and practice. The International Journal of Logistics Management, ahead-of-print(ahead-of-print). doi:10.1108/IJLM-11-2022-0457.
7. OSTERWALDER ALEXANDER. (2004). The Business Model Ontology a Proposition in a Design Science Approach, doctoral thesis. Universite de Lausanne Ecole des Hautes Etudes Commerciales, Lausanne Switzerland.
8. PORTER MICHAEL E (2000). [En el futuro la competencia no se dará de empresa a empresa, sino más bien de cadena de suministros a cadena de suministros].
9. QUINTANA TORRES JORGE LUIS ÁLVAREZ VÁZQUEZ AUGUSTO JORGE FLORES RODRÍGUEZ JORGE LUIS. (2004 ). Nociones necesarias para pensar el objeto de la profesión médica. Revista Humanidades Medicas Ciudad de Camaguey Mayo-ago versión On-line ISSN 1727-8120, Volumen 4 No 2.
10. ROGGEVEEN ANNE L. AND ROSENGREN SARA. (2022). From customer experience to human experience: Uses of systematized and non-systematized knowledge. Elsevier Journal of Retailing and Consumer Services 67 (2022) 102967.

**Sobre los autores**

**Pedro Alejandro Monteagudo Azcuy** Nació en La Habana 1963 Ingeniero en Planificación del Transporte (1986) en la Escuela INTER ARMAS DE LAS FAR Antonio Maceo, Master en Dirección de la Logística de las Tropas (1994) investigador auxiliar (2013), profesor auxiliar (2021) monteagudo@tesla.cujae.edu.cu

**José A. Acevedo Suárez.** Nació en 1955 en Matanzas, Cuba. Ingeniero Industrial (1976) en la Universidad de La Habana, especialista en dirección empresarial en Alemania. Doctor en Ciencias Técnicas (1986). Doctor en Ciencias (2008). Premio Nacional de Ciencia 2003 otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba. Premios en varios Forum de Ciencia y Técnica. Profesor Titular de la CUJAE. Profesor de Logística, Economía y Organización de la Producción. Profesor en Colombia, Bolivia, y Venezuela. Vicepresidente del Centro Europeo Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE). E.mail: acevedo@tesla.cujae.edu.cu ajur@ind.cujae.edu.cu

**Lisdier Millán Fernández** graduado del Curso por encuentro Ingeniería Industrial (2024)

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# Título: "Propuesta de un Sistema de Capacitación para elevar la efectividad de los Sistemas de Producción, la Logística y las Cadenas de Suministro en Cuba"

**Autor: MSc. Ing. Luis Ángel Ruiz González**
**Director del Centro de Formación Logística de Almacenes Universales S.A. y Profesor Asistente de LOGESPRO CUJAE, La Habana, CUBA**
**Email: dtor.cnc@cmatriz.ausa.cu**

**RESUMEN**

Como parte del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación ¨Desarrollo de la Logística y Cadenas de Suministro¨, se desarrolla en la actualidad el Proyecto Nacional: Diseño de un Sistema de Formación y Capacitación en logística y cadenas de suministros. Dado el carácter transversal de la logística, la empresa cubana se ve directamente afectada, al depender de una logística y de cadenas de suministro cada vez más competitivas y eficientes. Este proyecto permitirá diseñar el sistema de formación y capacitación en logística y cadenas de suministro, impulsando la formación de potencial humano de alta calificación y la generación de nuevos conocimientos, garantizando el desarrollo de las universidades y la educación en general, sus recursos humanos e infraestructura. De igual manera, promoverá el desarrollo de la capacitación técnica de los trabajadores que participan en los procesos de la logística y las cadenas de suministro. Se vincula con los objetivos del Programa, ya que fomentará la formación del pensamiento en términos de logística y cadenas de suministros desde el pregrado, postgrado y la capacitación. Esto promoverá el desarrollo de soluciones para mejorar la efectividad de la logística y las cadenas de suministro en el país, que contribuya a mejorar la competitividad de la Economía Nacional con énfasis en los sistemas de producción, las exportaciones y la sustitución de importaciones.

PALABRAS CLAVE: logística, cadena de suministro, capacitación.

**Title: "Proposal for a Training System to Increase the Effectiveness of Production Systems, Logistics and Supply Chains in Cuba".**

**SUMMARY**

As part of the National Science, Technology and Innovation Program ¨Development of Logistics and Supply Chains¨, the National Project: Design of an Education and Training System in Logistics and Supply Chains is currently being developed. Given the cross-cutting nature of logistics, Cuban enterprises are directly affected, as they depend on increasingly competitive and efficient logistics and supply chains. This project will make it possible to design the system of education and training in logistics and supply chains, promoting the formation of highly qualified human potential and the generation of new knowledge, guaranteeing the development of universities and education in general, their human resources and infrastructure. It will also promote the development of technical training for workers involved in logistics and supply chain processes. It is linked to the objectives of the Program, as it will promote the formation of thinking in terms of logistics and supply chains from undergraduate, graduate and training levels. This will promote the development of solutions to improve the effectiveness of logistics and supply chains in the country, which will contribute to improve the competitiveness of the National Economy with emphasis on production systems, exports and import substitution.

KEY WORDS: logistics, supply chain, training,

## INTRODUCCION

En la presente ponencia se exponen los elementos esenciales para la formación y capacitación en Sistemas de Producción, Logística y Cadenas de Suministro, como el objeto de desarrollo e innovación en la nueva etapa de desarrollo empresarial. Se trata la conceptualización del fenómeno desde la óptica de la integración, que debe ser transmitida a los estudiantes durante su formación y a los trabajadores de la actividad logística durante su capacitación. Actualmente, el modelo de formación y capacitación cubano, carece de un sistema que aborde e integre estos tres conceptos, lo cual incluye el sistema del comercio.

El grado de desarrollo de la logística de un país es un elemento que propicia el desempeño exitoso de sus diferentes sectores, pues es la logística la articuladora de los procesos en empresas e instituciones, o sea, de la economía nacional e internacional. Sectores económicos en Cuba con avance significativos, como el turismo y la biotecnología, se ven frenados por una articulación logística con niveles de coordinación insuficientes para darles soporte a su desarrollo continuo.

Los Sistemas de Producción, la logística y las cadenas de suministro juegan un papel fundamental en el funcionamiento eficiente de las organizaciones y la economía en su conjunto. Por ejemplo, Colombia es el país de la región que se ha tomado como referente, ha experimentado una evolución favorable en el Índice de Desempeño Logístico del Banco Mundial, lo que refleja los avances en el sector logístico del país. Si bien anteriormente el país presentaba un desempeño logístico más bajo, en la actualidad ha logrado avanzar hacia una posición más favorable en la escala del índice. Estos avances reflejan los esfuerzos y las inversiones realizadas por el gobierno y los actores del sector logístico en Colombia. Se han implementado medidas para fortalecer la infraestructura de transporte, modernizar los procesos aduaneros, promover la eficiencia en la cadena de suministro, fomentar la competitividad logística y aumentar los profesionales del sector.

Es fundamental desplegar profesionales capacitados y bien formados en estas áreas para garantizar la optimización de los procesos logísticos y el éxito de la gestión de la cadena de suministro en un entorno empresarial cada vez más competitivo y globalizado. Con este fin, se explora el panorama educativo y formativo del país para identificar los programas, instituciones y recursos disponibles para adquirir conocimientos y habilidades en esta área.

Por otra parte, además de Colombia y Alemania, se ha revisado el estado del arte en España, buscando las experiencias de éxitos en la formación y capacitación, así como, las mejores prácticas en este campo que puedan ser evaluadas para diseñar el sistema de formación y capacitación en sistemas de producción, logística y cadenas de suministro que requiere nuestro país.

Se han revisado los conceptos modernos sobre capacitación, que puedan ser empleados con éxitos en el campo de los sistemas de producción, la logística y las cadenas de suministro. La capacitación y formación de los empleados en este ámbito está orientada al desarrollo de sus capacidades, destrezas, habilidades, valores y competencias fundamentales, con miras a propiciar su eficacia personal, grupal y organizacional, de manera que se posibilite el desarrollo profesional de los empleados y el mejoramiento en la prestación de los servicios.

Es vital desplegar profesionales capacitados y bien formados en estas áreas para garantizar la optimización de los procesos logísticos y el éxito de la gestión de la cadena de suministro en un entorno empresarial cada vez más competitivo y globalizado. Con este fin, se explora el panorama educativo y formativo del país para identificar los programas, instituciones y recursos disponibles para adquirir conocimientos y habilidades en esta área. El sector del comercio en Cuba se beneficiará de los resultados de esta investigación, si bien se tiene en cuenta que las mejores prácticas en logística y cadenas de suministros son las que garantizan la materialización de un comercio eficiente y sostenible para nuestro país.

**OBJETIVOS**

Diseñar el sistema para la formación y capacitación del talento humano en sistemas de producción, logística y cadenas de suministro, que desarrolle soluciones para mejorar la efectividad de la logística y las cadenas de suministro en el país, que contribuya a elevar la satisfacción de las necesidades de la población con énfasis en los sistemas de producción, las exportaciones y la sustitución de importaciones y por ende, al comercio en nuestro país.

**MATERIALES Y METODOS**

El Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO) desarrolla su actividad de investigación desde el año 1999 en el ámbito del desarrollo de la logística, la gestión de las cadenas de suministro y la gestión de la producción.

Una característica fundamental del trabajo de LOGESPRO ha sido su vinculación con la práctica empresarial cubana y su contribución al desarrollo de varias cadenas de suministro en el país.

Así mismo su vinculación con diferentes instituciones internacionales les ha permitido a sus especialistas estar actualizados en las últimas tendencias en el ámbito de su actuación.

El proyecto utilizará como marco conceptual los trabajos de investigación desarrollados por LOGESPRO en los últimos 20 años en el país, donde se han desarrollado investigaciones en la temática de la logística y gestión de las cadenas de suministro, con aplicación en la práctica empresarial que han permitido obtener resultados como:

• Definición del concepto de Logística que debe ser aplicado en las empresas cubanas y latinoamericanas.
• Definición del concepto de cadena de suministro que debe ser aplicado en Cuba y Latinoamérica.
• Concepción del modelo de plataformas logística a utilizar en el desarrollo de la distribución de combustible en el país.

• Modelo de Referencia de la Logística
• Modelo de Referencia de las Redes de Valor
• Modelo de Gestión Integrada de las Cadenas de Suministro (MGICS)
• Modelo de Diseño de los nodos de integración en las cadenas de suministro
• Modelo de Referencia para la Gestión de Inventarios
• Modelo de Flujo logístico
• Modelo de Gestión Colaborativa de las Cadenas de Suministro
• Modelo de desarrollo de los sistemas de producción
• Metodología para el cálculo y análisis de la capacidad de producción
• Modelo de Aseguramiento del Proceso
• Modelación del Sistema de Producción (Modelo de Valor del Proceso o Simulador de empresa)

En otro sentido, se estudia el estado del arte en materia de formación y capacitación en sistemas de producción, logística y gestión de la producción, las experiencias exitosas de otros países que puedan ser evaluadas y aplicadas en las condiciones de nuestro país, así como, los últimos adelantos científicos en esta materia.

En particular, se realizará un estudio referencial del sistema de formación y capacitación de Colombia, España y Alemania, que han logrado estructurarlo y consolidarlo con éxito en los últimos 20 años.

**RESULTADOS**

Con este proyecto, se espera obtener un sistema que permita cambiar la concepción actual de logística en la economía nacional por un concepto verdaderamente moderno, conforme al estado del arte y que permita la aplicación de buenas prácticas en materia de formación y capacitación en sistemas de producción, logística y cadenas de suministro. Se pretende lograr un sistema de formación de formadores de profesionales en logística y cadenas de suministro dotado de los conocimientos, las herramientas y los

métodos modernos de gestión bajo la concepción de la integración, la coordinación y la sincronización de los principales procesos empresariales y asociados a las cadenas de valor. Además, deben quedar definidos, la definición del Mapa Ocupacional de la logística en Cuba y el Sistema de Certificación de la fuerza de trabajo.

## CONCEPTUALIZACION DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION, LA LOGISTICA Y LAS CADENAS DE SUMINISTRO

La reproducción ampliada [1], es el proceso de renovación constante de toda producción, cuando parte de la plusvalía se capitaliza, es decir se une al activo y se emplea para aumentar el volumen de producción, constituyendo la base de los Sistemas de Producción, por ello "…la reproducción ampliada debe asegurarse a nivel de cada sistema de producción y de las cadenas de suministro que estos forman…"[2]

### Los Sistemas de Producción

Un sistema de producción es un conjunto de actividades que permiten la elaboración de bienes y servicios mediante el establecimiento de una cadena de valor entre unos recursos y unos resultados, para ello se utilizan un grupo de decisiones operacionales relacionadas con el proceso, la capacidad, la gestión de inventarios, talento humano y la Calidad.

El sistema de producción se desempeña con efectividad cuando éste se constituye en centro de coordinación de las cadenas (o redes) de suministro en que se inserta, para lo que establece y mejora sistemáticamente los elementos siguientes:

1. La red de proveedores más pertinentes y contratando con ellos los suministros y servicios requeridos en tiempo, diseño, cantidades, surtidos y calidades
2. El suministro a través de los canales de distribución pertinentes a los consumidores de los productos en cada momento, en los surtidos, cantidades, calidades y precios que éstos demandan.
3. El sistema de tecnologías (blandas y duras que se utilizan en todos los submodelos) más pertinentes para una producción y suministro efectivos, competitivos, y con apego a la preservación del medio ambiente.
4. Su sistema de gestión ajustado a las exigencias y regulaciones de la Economía Nacional y adoptando la filosofía gerencial y los métodos de gestión que más se avengan a sus particularidades y situación bajo la filosofía de orientarse a las demandas de los clientes finales (población y mercados externos).
5. Operaciones seguras y eficientes, ajustadas a las normas relacionadas con las transacciones económico financieras
6. La organización y gestión de su cadena logística por sí mismo que incluye la subcontratación de terceros.
7. La gestión de la innovación de forma integrada en todos los submodelos como base de mejoramiento final del sistema de producción y sus resultados frente a los consumidores y la exportación.

El balance dinámico del sistema de producción expresa su correspondencia con las exigencias del entorno y de la demanda de los consumidores y la exportación, y se compone de:

1. Capacidad de producción (determinada por la infraestructura, personal, diseño del producto, organización y estructura de la demanda) y su dinámica expresada en el Modelo de Flujo.
2. Un sistema de aseguramiento (determinado por los métodos y ciclos de aseguramiento y los inventarios del sistema de recursos tangibles e intangibles para la operación eficiente y oportuna), expresado por su Modelo de Aseguramiento del Proceso (MAP).
3. Una determinada organización temporal (determinada por la secuencia, ciclos y duraciones de las actividades de aseguramiento y la propia operación del Sistema de Producción), expresada en su Carta Logística.
4. La reproducción económica y financiera ampliada para garantizar todas las operaciones con las distintas monedas y tasas de cambio existentes, aportando valor agregado y precios justos y competitivos con referentes internacionales a los consumidores y la exportación y optimizando el uso y consumo de los recursos críticos (energía y portadores energéticos, insumos importados y otros) con una productividad creciente.

En el esquema el número asociado a cada submodelo expresa el orden en que se deben re-diseñar o re-organizar los mismos, así como sirve para diagnosticar las fortalezas y debilidades a los efectos de elaborar y actualizar un programa de mejoramiento del sistema de producción.

Cada sistema de producción, y sus diversas situaciones, es específico y para lograr su máxima eficiencia y competitividad debe desarrollarse y funcionar con autonomía y alta capacidad de reacción en la adopción de soluciones en el marco de un entorno único y dinámico para todos.

La cadena logística es la base para la estructuración de la cadena de suministro en que participa el sistema de producción en cuestión. La cadena (red) logística se organiza y gestiona integralmente (flujo material + flujo informativo + flujo financiero) "desde la semilla (y los insumos y medios) hasta la mesa del consumidor" y está orientada a garantizar un ciclo logístico total mínimo con pérdidas mínimas, costos mínimos, y alta disponibilidad y oportunidad ante el consumidor. La cadena logística termina en el comercio minorista y en el reciclaje, lo que ocurre a nivel de territorio (municipios, ciudades), surgiendo la necesidad de organizar redes de cadenas de suministro para satisfacer integralmente a los consumidores. El comercio minorista se puede organizar desde la oferta (sistema Push), desde la demanda de los consumidores (sistema Pull) o una combinación, lo cual determina enfoques y métodos diferentes de organizar y gestionar la logística y la producción.

El alto desempeño del sistema de producción resulta en su competitividad que debe ser mejorada sistemáticamente. Cualquier cambio o mejoramiento de algún submodelo o elemento debe valorarse por su impacto final en la competitividad del sistema, identificando y considerando los trade offs existentes en el sistema de producción.

El modelo refleja que para desarrollar el sistema de producción tienen que integrarse diversos profesionales y especialistas para obtener un sistema de producción competitivo, lo cual exige que todos lo adopten como objeto de la profesión y dominen esa plataforma común sobre la cual colaborarán y se integrarán, similar a lo que se hace en el sistema de salud cubano, por lo que se hace necesario que esta modelación constituya la base para reestructurar la formación de los profesionales relacionados con las producciones de bienes y servicios porque su dominio es la base para insertar eficientemente los resultados de la actividad en su campo de actuación en los sistemas de producción de bienes y servicio, así como para un efectivo intercambio y cooperación entre los profesionales, y ser capaces de traducir su actuación en impactos en los resultados finales del sistema de producción en que actúan en términos técnicos, económicos y financieros.

Esto requiere que:
1.Al inicio de la carrera los estudiantes deben recibir los fundamentos y funcionamiento de los Sistemas de Producción y relacionarse de forma directa con actividades en determinados sistemas de producción.
2. Deben recibir en el transcurso de su carrera, cómo se inserta en el Sistema de Producción su actuación a través de las distintas asignaturas de ejercicio de la profesión.

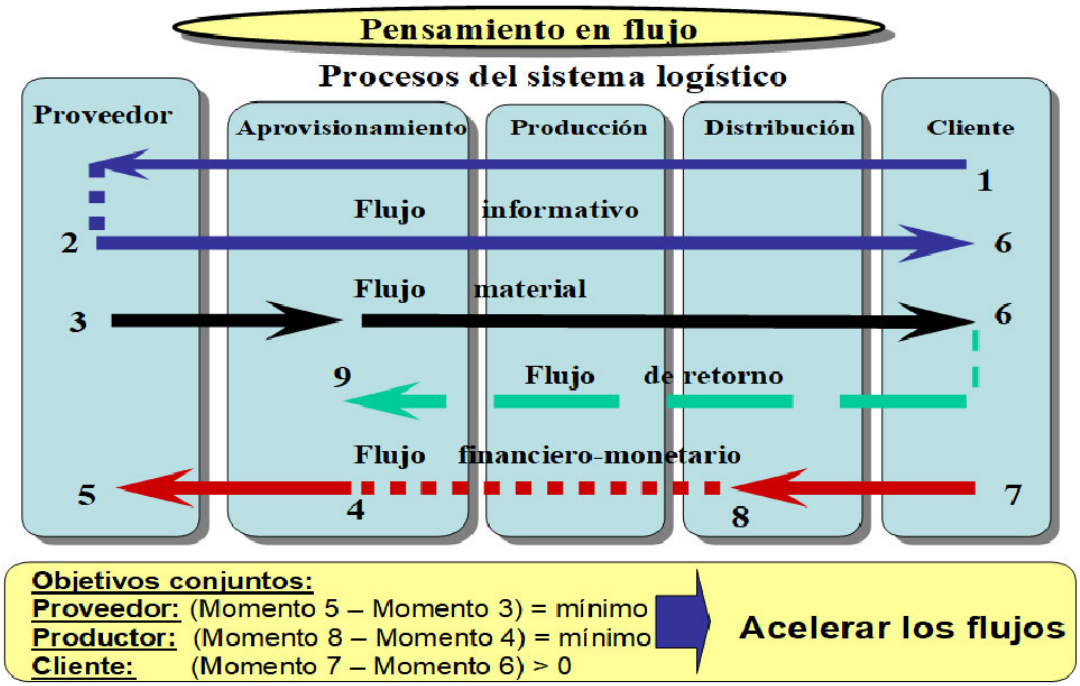



Figura N. 1 Procesos del sistema logístico

Nueva formación y capacitación

Modelos Integrados de Gestión (Integración interna y con el entorno global).
1-Sistemas ERP
2-e-Business (Negocio Electrónico)
3-Sistema Producción orientado a los clientes.
4-Cadenas de Suministro.
5-SDGE

**La Logística**

La logística reúne todas las actividades de gestión que se repiten muchas veces a lo largo del canal a través del cual las materias primas se convierten en productos finales. Dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y, los puntos de venta no suelen estar radicados en un mismo lugar y que el canal representa una secuencia de pasos de fabricación, las actividades logísticas aparecen muchas veces antes de que un producto llegue al mercado. Incluso entonces, las actividades logísticas pueden volver a aparecer si el producto retorna a los canales logísticos por alguna razón.

Generalmente, una sola empresa es incapaz de controlar su canal de producto, por lo que, en la práctica, las actividades logísticas de la misma tienen un alcance más limitado. Lo normal es encontrarse con un control logístico sobre los canales de suministro y distribución más inmediatos. Esto significa controlar, respectivamente, el espacio y el tiempo entre las fuentes de materias primas más próximas y las plantas de procesamiento de la empresa y, análogamente, el espacio y el tiempo entre estas últimas y los clientes. Dado que existe una gran similitud en las actividades logísticas de control de ambos canales, el suministro (comúnmente llamado gestión de materias primas) y la distribución contienen todas aquellas actividades que se van a integrar dentro de la logística empresarial.

Todas las actividades de la Economía Nacional deben conectarse mediante flujos de materiales, productos, servicios, información y valores en función de satisfacer las demandas de la población. Por lo tanto, el

desarrollo de la logística constituye la base para el desarrollo de todos los sectores y actividades para mejorar la calidad de vida de la población.

Los 5 problemas raíces que entorpecen el desarrollo de la logística en Cuba, son los siguientes:

1. Formación y capacitación.
2. Sectorialismo y funcionalismo.
3. Tasas de cambio muy dispares.
4. Orientación de los Sistemas de Dirección y Gestión de las Empresas (SDGE) a cumplir planes; mejorar ingresos de sus trabajadores (incluso con violaciones ostensibles de la escala salarial oficial); disponer de recursos y tecnologías; y generar utilidades con un enfoque de" encadenamiento hacia atrás".
5. Informalidad en decisiones económicas y comerciales.

En la Formación y Capacitación:

- El mapa ocupacional de la logística (desde puestos de obreros hasta especialistas y directivos) en su mayor parte está ocupado por personal no capacitado y formado para el desempeño del mismo en contradicción con lo formulado en el Código de Trabajo (Ley 116, Artículo 36).
- No existe un sistema nacional de formación y capacitación en logística
- No existe la debida formulación del Objeto de la Profesión en la formación de los profesionales cuyos campos de acción están en las empresas y otras instituciones (ingenieros y licenciados) y por lo tanto no son objeto de formación (exceptuando la generalidad de los profesionales de la medicina). Esto implica proyectos y decisiones parcializadas con relación a los sistemas de producción (mercancías y servicios) y sus cadenas de suministro que es el verdadero Objeto de la Profesión que se corresponde con la Indicación del presidente Díaz Canel el 30 de julio de 2020 sobre la transformación de los planes de estudio de pregrado, posgrado y cuadros, aún no instrumentada. (*) Acevedo S., J. y Gómez, M. La Logística Moderna en la Empresa. Ed. Félix Varela, La Habana, 2017. Pp. 36-37

**La Cadena de Suministro**

La cadena de suministro se puede dividir en procesos "downstream" o aguas abajo y "upstream" o aguas arriba. Los procesos "aguas arriba" incluyen el suministro y el abastecimiento de materiales y producción. Los procesos de "aguas abajo" incluyen el envío hacia las operaciones de almacén y el transporte de salida hasta que la mercancía llega a su consumidor final (CIPS, 2020). El transporte de mercancías urbano es uno de los elementos de la cadena de suministro "aguas abajo". Algunos procesos involucrados en las operaciones de almacenamiento y transporte se llevan a cabo cerca o dentro de las ciudades y deben ser considerados en la planificación y optimización del transporte urbano de mercancías, ya que la optimización.

La "última milla" es parte integral del sistema de transporte urbano de mercancías, es la última etapa o tramo final de la cadena de suministro, en este tramo se transportan las mercancías hasta su punto de consumo (Bosona, 2020; Cárdenas et al, 2017; Slabinac, 2015). La última milla puede referirse a Business to Consumer (B2C), que se refiere principalmente a operaciones de comercio electrónico, y a operaciones Business to Business (B2B), donde los bienes de consumo se transportan a otros negocios, por ejemplo, a tiendas y farmacias (Cárdenas et al, 2017) (Figura 2). La entrega de última milla también se puede dividir en entrega de paquetería y entrega de carga. La entrega de paquetería se refiere a paquetes. En las condiciones de Cuba, se impone desarrollar este concepto.

Una cadena de suministro se refiere a procesos que desplazan información y material con destino y origen en los procesos de manufactura y servicio de la empresa; entre estos se cuentan los procesos de logística, que mueven físicamente los productos, y los de almacenamiento, que colocan los productos para su rápida entrega al cliente. El suministro en este contexto se refiere a proporcionar artículos y servicios a plantas y almacenes en el extremo de entrada, y también proporcionar artículos y servicios al cliente en el extremo de salida de la cadena de suministro.

Estrictamente, la cadena de suministro no es una cadena de negocios de persona a persona, ni de relaciones entre una empresa y otra, sino que es una red de unidades de negocio con relaciones múltiples, que pone de manifiesto lo planteado por el profesor Doctor Michael E. Porte[5] "… en el futuro la

competencia no se dará de empresa a empresa, sino más bien de cadena de suministro a cadena de suministro …". El proceso histórico del desarrollo de las cadenas de suministro y su cronología se muestran en la figura siguiente:

En el contexto internacional el desarrollo de las cadenas de suministro ha alcanzado niveles globales de alta competitividad y los resultados anuales se exponen por Gartner en su publicación de los resultados del Global Supply Chain Top 25 anual identificando las principales cadenas de suministro globales, donde destaca sus mejores prácticas, en la tabla 1 se enumeran las cinco primeras de ranking, el índice SCOR .

El modelo SCOR contiene tres niveles de detalle de procesos: Nivel Superior (Tipos de Procesos), Nivel de Configuración (Categorías de Procesos) y Nivel de Elementos de Procesos (Descomposición de los Procesos).
Usando el índice de SCOR como herramienta, se puede dar solución a los principales problemas de toda cadena de suministro:

1. Optimizar la efectividad de la gestión de la cadena, obteniendo así un servicio al cliente de máxima calidad.
2. Optimizar los costes, al usar métricas para evaluar y comparar diferentes estrategias.
3. Optimizar la gestión de relaciones con proveedores y colaboradores, facilitadas por el uso de un lenguaje común estandarizado.
4. Optimizar la gestión de riesgos de la cadena de suministro, mediante herramientas de planificación, identificación de riesgos y coordinación entre los diferentes eslabones de la cadena.
5. Optimizar la gestión del capital humano, donde la experiencia y el talento es cada vez más importante a medida que las cadenas de suministro se vuelven más complejas y competitivas.

En el contexto económico cubano, el desarrollo de los encadenamientos productivos para alcanzar la gestión integrada de cadenas de suministro, constituye un aspecto clave reconocido por la máxima dirección del país cuestión puesta de manifiesto en discurso del General de Ejército Raúl Castro Ruz presidente de los Consejos de Estado y de Ministro, en la clausura de la X Sesión Ordinaria de la Asamblea Nacional del Poder Popular en su VII Legislatura, 13 de diciembre de 2012, planteo refiriéndose a las cadenas de suministro: "…se examina el desarrollo de las cadenas productivas, que ……, son un método para elevar la competitividad de las empresas y generar proporciones más adecuadas en la estructura productiva de la economía."

Para el desarrollo de las cadenas de suministro en Cuba, según [2] se dividen en tres etapas:
Etapa-I Centrada en la organización e integración interna y en la logística empresarial de cada entidad.
Etapa-II Centrada en la organización de la integración de la cadena de suministro. La logística integrada.
Etapa-III Centrada en consolidar las bases y técnicas para la gestión integrada de la cadena de suministro.
Etapa-IV Centrada en la innovación. Redes del Valor

La organización de la gestión de las cadenas de suministro, como un proyecto estratégico comprende los tres ciclos de la empresa, mediante la integración, coordinación y la sincronización.

**CONCLUSIONES**

Un sistema de formación y capacitación en sistema de producción, logística y cadena de suministro es fundamental para el éxito de las empresas y la economía en general. Los mismos, deben incluir las habilidades y competencias requeridas para el éxito de las empresas, estar actualizados y ser relevantes para las necesidades actuales del mercado. La formación en logística puede calificarse de débil y no generalizada, y en ocasiones no tiene carácter integral. Se necesita que las universidades y centros de investigación, realicen un trabajo intensivo para motivar a la formación en temas que impactan directamente con el desarrollo general de la economía.
La tendencia internacional indica que muchos países han fortalecido la formación de especialistas y master, al transitar a carreras universitarias de tres o cuatro años, para garantizar fuerza laboral calificada en menores plazos, y la especialización de otro grupo de trabajadores. Es obvio que las necesidades de capacitación de este escenario logístico en Cuba es más que una necesidad, un requisito indispensable

para el buen "Desempeño Logístico del País". En el sector de la logística marítimo portuaria no hay margen para el error. La improvisación y la especulación se pagan muy caros. Mientras más y mejor formación y capacitación, mejores prácticas serán aplicadas mejores resultados y menos errores con menos daños a la economía del país.

Una de las problemáticas fundamentales que inciden en las escasas ofertas de capacitación y cursos sobre la logística del transporte automotor de cargas que se aborda es la carencia de profesores especializados en estos temas. La creación del Centro Nacional de Capacitación de Almacenes Universales S.A. y su proyección a convertirse en el Centro de Formación Logística de Cuba, pudiera ser el centro de proyección del Sistema de Formación y Capacitación en Sistemas de Producción, Logística y Cadenas de Suministro en Cuba.

En el contexto económico cubano, el desarrollo de los sistemas de producción, la logística y las cadenas de suministro son la base para el desarrollo de los encadenamientos productivos, y a su vez, para alcanzar la gestión integrada de cadenas de suministro. Esto constituye un aspecto clave reconocido por la máxima dirección del país, cuestión puesta de manifiesto en discurso del General de Ejército Raúl Castro Ruz presidente de los Consejos de Estado y de Ministro, en la clausura de la X Sesión Ordinaria de la Asamblea Nacional del Poder Popular en su VII Legislatura, 13 de diciembre de 2012, planteó refiriéndose a las cadenas de suministro: "…se examina el desarrollo de las cadenas productivas, que ……, son un método para elevar la competitividad de las empresas y generar proporciones más adecuadas en la estructura productiva de la economía." En este sentido, la formación y capacitación en esta temática, toma el papel prioritario.

## RECONOCIMIENTOS

El autor desea reconocer al Dr. Cs José A. Acevedo Suárez y a la Dra. C. Martha Inés Gómes Acosta, quienes han forjado la escuela de la logística en Cuba, así como, han contribuido al desarrollo de esta importante actividad de la vida del país. Este artículo está basado en las investigaciones que por casi dos década han conducido estos dos prestigiosos académicos de nuestro país.

## REFERENCIAS

1. ACEVEDO SUÁREZ, J. A. (2008). Modelos y estrategias de desarrollo de la logística y las redes de valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias. La Habana, Cuba.
2. ACEVEDO SUÁREZ, J. A., & GÓMEZ ACOSTA, M. I. (2016). La logística moderna en la empresa. La Habana.
3. ACEVEDO SUÁREZ, J., GÓMEZ ACOSTA, M., LÓPEZ JOY, T., MARTÍNEZ PÉREZ, & MARTÍNEZ PÉREZ, E. (2010). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial. La Habana: LOGESPRO.
4. ACEVEDO URQUIAGA, A.J.; Y COLECTIVO DE AUTORES (2019). FORMACIÓN LOGÍSTICA EN CUBA: DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS LOGISTICS TRAINING IN CUBA: CHALLENGES AND PROSPECTS. La Habana, Cuba.
5. ACEVEDO URQUIAGA, A.J.; MARTÍNEZ BÁEZ, A. (2023). ESTADO Y EVOLUCIÓN DE LA CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN EN LOGÍSTICA Y CADENAS DE SUMINISTRO EN COLOMBIA Informe Técnico para LOGESPRO. Colombia.
6. ACERO ESLAVA, M. (2009). El diseño de las cadenas de suministro. ¿Qué tanto necesitamos administrar una cadena?
7. ACEVEDO, A.J. (2013). Modelo Gestión Colaborativa del Flujo Logístico. Departamento de Ingeniería Industrial. Ciudad de La Habana, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Doctor en Ciencias Técnicas.
8. ACEVEDO, J.A. (2008). Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica. Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana, Cuba, CUJAE. Doctor en Ciencias: 98.

9. ACEVEDO, J.A., ACEVEDO, A.J., GÓMEZ, M.I., et al. (2010) "Modelo de Referencia de Redes de Valor para un desarrollo sostenible." Revista de Investigación Agraria y Ambiental, vol 1, no. 2, p.29-50
10. ACEVEDO, J.A. Y GÓMEZ, M.I. (2011). Modelo de referencia de la red de valor en Latinoamérica. En: La cadena de valor agroalimentaria. Análisis internacional de casos reales. España, Editorial Agrícola Española.
11. ACEVEDO, J.A. Y GÓMEZ, M.I. (2011) "Modelo y estrategias de desarrollo de la logística y las redes de valor." Nueva Empresa,
12. ACEVEDO, J.A. Y GÓMEZ, M.I. (2012) "¿Mi empresa o la cadena de suministro? Nuevo dilema del directivo." Nueva Empresa
13. ACEVEDO, J.A. Y GÓMEZ, M.I. (2013). Algunos elementos de la gestión económico-financiera de la empresa en el marco de la actualización del Modelo Económico Cubano, La Habana, Cuba, CUJAE.
14. ACEVEDO, J.A., GÓMEZ, M.I., LÓPEZ, T., et al. (2010). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial, La Habana, Cuba, LOGESPRO-LOGICEM.
15. ACEVEDO, J.A., GÓMEZ, M.I., LÓPEZ, T., et al. (2013). Propuesta de Política para el desarrollo de la logística y las cadenas de suministro, La Habana, Cuba, LOGESPRO.
16. ACEVEDO, J.A., GÓMEZ, M.I., LÓPEZ, T., et al. (2014). Política para el desarrollo de la logística y las cadenas de suministro, La Habana, Cuba, LOGESPRO.
17. ACEVEDO, J.A., GÓMEZ, M.I., PARDILLO BAEZ, Y., et al. (2012). Procedimiento para el análisis y rediseño de cadenas de suministro alimentarias. Aplicación al caso de Cuba. En: Las redes de cadenas de valor alimentarias en el siglo XXI: retos y oportunidades internacionales. España, Editorial Agrícola Española.
18. ACEVEDO, J.A., GÓMEZ, M.I., PARDILLO, Y., et al. (2013) "Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial." Ingeniería Industrial, vol XXXIV, no. 2, p.212-226

Sobre los autores

Luis Ángel Ruiz González, nació en La Habana Cuba, el 7 de enero de 1965. Ingeniero Mecánico (1991) en la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echevarría¨. Máster en Logística (2000) en la propia Universidad. Diploma Europeo en Administración y Dirección de Empresas (DEADE 1999 ESADE de Barcelona). Diplomado en Dirección y Gestión Empresarial (2017) en la Escuela Ramal del Sector del Transporte PREGER. Director del Centro de Formación Logística de Almacenes Universales S.A. Anteriormente, Vicepresidente Comercial de Almacenes Universales S.A., Agregado Económico Comercial de la Embajada de Cuba en la RFA y Director de Transporte Multimodal del Ministerio del Transporte. Profesor Asistente de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de La Habana ¨José Antonio Echevarría¨. Ha participado como ponente en varios eventos internacionales sobre logística empresarial y del transporte. Ha impartido clases de Logística del Transporte Multimodad en la Red Trainmar de las Américas en Panamá y en la República Bolivariana de Venezuela.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELO DE GESTIÓN INTEGRADA DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO COMO BASE DE LA DIGITALIZACIÓN

**Dra. C. Martha Gómez Acosta[1], Dr. Cs. José Antonio Acevedo Suárez[2], Dra. C. Ana Julia Acevedo Urquiaga[3]**

[1]CUJAE, La Habana, Cuba, [2]CUJAE, La Habana, Cuba, [3]Universidad San Mateo, Bogotá, Colombia, [4]CUJAE, La Habana, Cuba
[1]e-mail: marthagom@tesla.cujae.edu.cu, [2]e-mail: acevedo@tesla.cujae.edu.cu, [3]e-mail: anajuliaa@gmail.com , [4]e-mail: teresitalj@gmail.com

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo consiste en aportar un modelo como guía para que los sistemas de producción adopten formas de organización basadas en las tecnologías pertinentes e incorporarse sosteniblemente a la economía digital. Los métodos utilizados son el experimental, estudios de casos y la modelación matemática.
Los principales resultados obtenidos son: la modelación integral de los sistemas de producción; un modelo de referencia para diseñar y aplicar el sistema de gestión colaborativa de la cadena de suministro; y una guía para formar y capacitar a los directivos y trabajadores con un carácter holístico.
A partir de las aplicaciones experimentales y las experiencias obtenidas en las aplicaciones estables se han obtenido las conclusiones siguientes:

- La adopción del MGICS (Modelo de Gestión Integrada de las Cadenas de Suministro) exige que sea el centro del sistema de gestión
- Todos los que trabajan en el sistema de producción (directivos, especialistas, técnicos y obreros) deben recibir una formación holística sobre el sistema de producción, o sea, deben considerarlo como su objeto de la profesión.
- Para lograr efectividad en la aplicación del MGICS se debe lograr que las competencias laborales, técnicas de gestión, tecnologías de las operaciones y de gestión, y la filosofía de gestión compatibilicen entre sí e integren a nivel del sistema de producción.

El MGICS ha probado su efectiva aplicabilidad en las condiciones de cadenas de suministro cortas.
El uso de la digitalización y las tecnologías de la Industria 4.0 permiten pasar de modelos Tayloristas de funciones a modelos integrativos de funciones con el uso de expertos fuera del sistema de producción, pasando del concepto de personal empleado al de capital humano y de ahí al de capital intelectual y una integración directa con clientes, proveedores y expertos localizados a cualquier distancia.

**PALABRAS CLAVES:** cadena de suministro, logística, sistema de producción, tecnologías, industria 4.0

## GUIDELINES FOR PREPARING ARTICLES FOR THE XXI SCIENTIFIC CONVENTION ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE

## ABSTRACT

The objective of this work is to provide a model as a guide for production systems to adopt organizational forms based on relevant technologies and sustainably incorporate into the digital economy. The methods used are experimental, case studies and mathematical modeling.
The main results obtained are: comprehensive modeling of production systems; a reference model to design and implement the collaborative supply chain management system; and a guide to train and train managers and workers with a holistic nature.
From the experimental applications and the experiences obtained in stable applications, the following conclusions have been obtained:
• The adoption of MGICS requires that it be the center of the management system

• All those who work in the production system (managers, specialists, technicians and workers) must receive holistic training on the production system, that is, they must consider it as the object of their profession.
• To achieve effectiveness in the application of MGICS, labor competencies, management techniques, operations and management technologies, and management philosophy must be compatible with each other and integrated at the level of the production system.
The MGICS has proven its effective applicability in the conditions of short supply chains.
The use of digitalization and Industry 4.0 technologies allow us to move from Taylorist models of functions to integrative models of functions with the use of experts outside the production system, moving from the concept of human capital to that of intellectual capital and direct integration with clients and experts located at any distance.

**KEY WORDS:** Supply Chain, Logistics, Production System, Technology, Industry 4.0

## 1. INTRODUCCIÓN

La digitalización parece ser la palabra de moda, apunta a la migración de una forma tradicional de trabajo al uso de tecnologías digitales, con la creencia que el simple hecho de cambiar hacia tecnologías digitales se logrará elevar la eficiencia y productividad de los sistemas de producción, sin embargo, esto, en muchas ocasiones no ocurre, se introducen nuevas tecnologías y, contrario a lo esperado, no se eleva la productividad ni la eficiencia del sistema y peor aún, no se logra la satisfacción de los clientes.
Lo primero que se debe identificar desde el punto de vista tecnológico al organizar un sistema de producción es cuáles son las tecnologías pertinentes que le garantizan satisfacer las demandas de sus clientes. Cualquier sistema de producción tiene que tener como centro de atención a los clientes finales.
Los sistemas de producción agropecuarios constituyen la base para garantizar la seguridad alimentaria de la población, por lo que es necesario su correcta conformación y funcionamiento; pero un sistema de producción de forma individual no puede garantizar llegar a la población de forma permanente, se requiere de la estructuración de las cadenas de suministro que garanticen un funcionamiento integrado en función de los clientes finales.
El hombre como el recurso operador y transformador de los sistemas de producción y las cadenas de suministro requiere estar formado y capacitado. Hoy la formación se encuentra estructurada, de forma general, en función del campo de actuación de cada especialista. Se requiere una transformación de la enseñanza enfocándose en el objeto de la profesión de los ingenieros y licenciados que es el sistema de producción.

## 2. DESARROLLO

### Encabezados o apartados

Aun cuando existen diferentes definiciones de sistema de producción, una definición sencilla pero que permite abordar la presentación de la investigación desarrollada, es la que hacen Quiroga y López, en la que plantean que, “el sistema de producción es el modo cómo se utilizan y se combinan los factores productivos para llevar a cabo su transformación y posteriormente convertirlos en bienes y servicios.” (Quiroa & López, 2020)
Este concepto es aplicable a cualquier sector de la economía, sin embargo, una precisión mayor en el sector agropecuario permite considerar el sistema de producción agropecuaria como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, propiedad de la tierra y organización de la población para producir bienes y servicios agrícolas y pecuarios. (Universidad de Guanajato, 2023)
El sistema de producción agropecuario es un sistema complejo en el que se integran todos los recursos, técnicas y procedimientos para obtener los productos que demanda la población. Para diagnosticar, diseñar, organizar y gestionar los sistemas de producción se ha realizado una modelación integral de los mismos a partir del Modelo de Valor del Proceso (MVP) desarrollado por LOGESPRO (Laboratorio de Logística y Gestión de Producción de la CUJAE) como integrador de todos los elementos que deben conformar el sistema de producción, apoyado en un modelo matemático que consta de 901 ecuaciones, 32

constantes del entorno y 1419 variables técnico-organizativas y económico-financieras, que se agrupan en 15 submodelos.

La representación gráfica de un sistema de producción, incluyendo el sistema de producción agropecuario, puede observarse en la Figura 1.

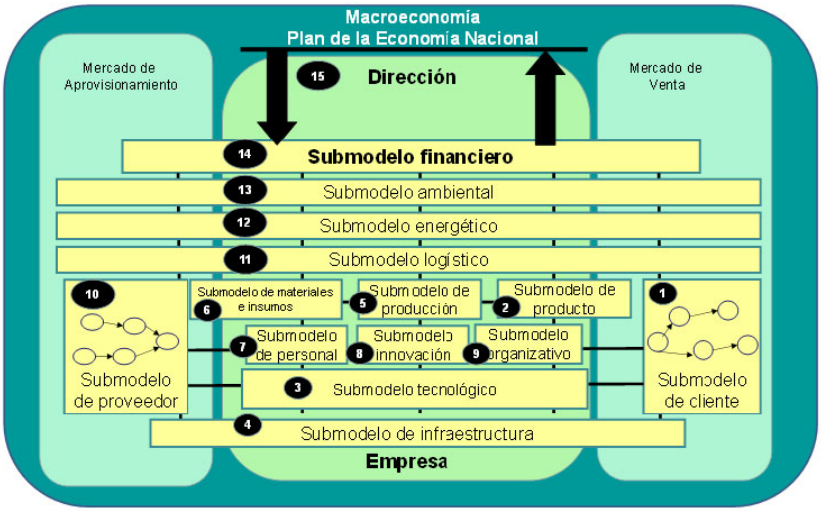



Figura 1. Representación gráfica de un sistema de producción
Fuente: (Acevedo Suárez & Gómez Acosta, 2013)

El sistema de ecuaciones revela que hay que considerar todos los submodelos integralmente. Cada submodelo tiene que tener una integración interna y tiene que tener una integración entre todos los submodelos

El submodelo tecnológico tiene que aportar las tecnologías que demande el nivel de integración que se debe lograrse en cada submodelo y las tecnologías que demande la integración del sistema entre todos sus submodelos.

El submodelo personal está presente en todos los demás submodelos a través de garantizar, en un primer estadio de desarrollo, la fuerza de trabajo que se requiere en cada una de las operaciones del SPA; en un segundo estadio a medida que se tecnifica más el SP, se requiere un capital humano que se caracteriza por ser un personal capacitado con competencias para realizar todas las actividades en el sistema y un tercer estadio es cuando se debe garantizar un capital intelectual en el que se debe garantizar que el conocimiento sea intrínseco del SP, es un estadio en el que aun cuando el personal se vaya del sistema, el conocimiento permanece en el mismo. Para llegar al estadio del capital intelectual se requiere hacer uso de un modelo integrativo de funciones, que significa un abandono de los modelos tayloristas de organización funcional que aun son los que fundamentalmente se utilizan en la organización de los sistemas de producción.

El modelo integrativo de funciones tiene como base fundamental el encapsulamiento de los conocimientos que llegan al sistema por diferentes vías en un modelo y las personas trabajan en el sistema siguiendo ese modelo. En este estadio se da un nivel mayor de integración entre el submodelo personal y el submodelo organización dado que se pasa a un nivel mayor de integración de funciones y contenidos de trabajo utilizando la tecnología.

Un ejemplo de aplicación del modelo integrativo de funciones fue el desarrollado en la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, en su dirección económica, para fijar los precios de los servicios universitarios. Se reunieron los conocimientos de especialistas en la determinación de los costos y precios de los servicios universitarios y las normativas y regulaciones existentes en la materia y se modelaron bajo un conjunto de reglas de decisión en una hoja de cálculo de MS Excel, de esta forma cualquier persona que estuviese negociando algún servicio no tenía que esperar a que en la dirección económica de la institución se realizaran los cálculos, bastaba con introducir los datos del servicio y como resultado se obtenía el precio a aplicar (ver Figura 2).

***Modelo de precio (programado en Excel)***

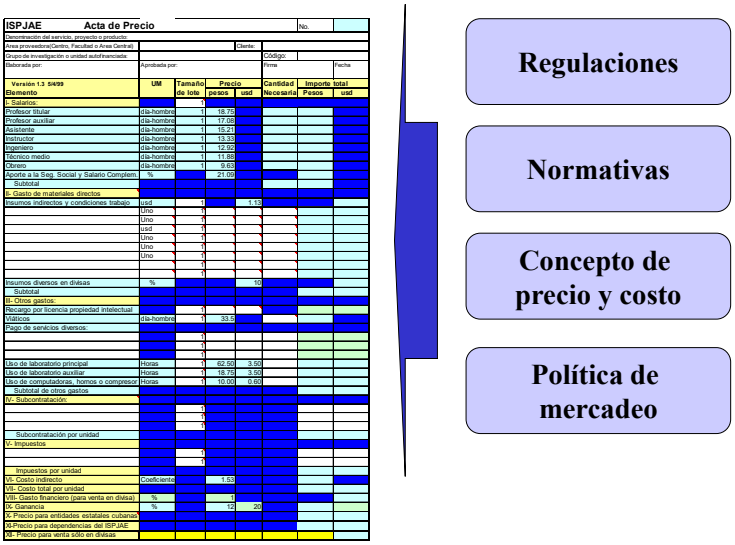



Figura 2. Aplicación del Modelo Integrativo de Funciones al cálculo de precios.
Fuente: elaboración propia

Otra aplicación del modelo integrativo de funciones podía observarse en la empresa mayorista de frutas y hortalizas Werder Frucht GmbH, en Berlín, Alemania, en fecha tan temprana como el año 2004. En el modelo implementado las funciones de compra y venta de un producto eran efectuadas por una misma persona, la que atiende desde la contratación con los proveedores, la compra, plan de transportación, distribución, contratación con los clientes, asignación a los clientes, despachos de almacén, todo a través de un modelo automatizado en el que se está decidiendo sobre las reglas contenidas en el modelo, que no pueden ser cambiadas por quien opera el sistema automatizado y por tanto se evitan los conflictos de interés que puedan surgir en la simultaneidad de funciones asumida por la misma empleada. En este caso se evidencia como se lograba un alto nivel de integración en la organización y en el personal. Si una empleada se va del sistema no pasaba nada, no se pierde el conocimiento, la nueva empleada solo tendrá que entrenarse en la operación del modelo integrativo de funciones implementado.

Las tecnologías utilizadas en Werder Frucht estaban presentes en toda América Latina en la misma época en que este desarrollo se implementaba en la empresa alemana, sin embargo, no se llegaba a una solución de este tipo, debido a que se continuaba trabajando con un enfoque taylorista de la organización del trabajo del personal. Esto indica que aun teniendo la tecnología no se logra el resultado si no se cambian los conceptos de como integrar y utilizar las mismas. En la actualidad, con el desarrollo de las nuevas tecnologías, sería posible mejorar los resultados de esta empresa con la utilización de la inteligencia artificial.

Todo lo anterior caracteriza la complejidad del sistema de producción de forma general, cada sistema de producción es único y requiere de autonomía para estructurarse competitivamente y dependerá de la experticia de los que dirigen el sistema para garantizar el diseño y funcionamiento específico del mismo.

El sistema de producción agropecuario es dinámico, requiere estar actualizándose en función de los avances de la ciencia y la tecnología, en la actualidad el concepto de digitalización se está imponiendo como una vía para aumentar la productividad de los sistemas de producción y aumentar el valor de los productos o servicios al cliente final. Para asumir un proceso de digitalización de forma coherente y con resultados positivos, es necesario tener en cuenta la pirámide de automatización que se muestra en la Figura 3. En la parte superior de la pirámide queda claramente identificado el papel de los sistemas ERP (Enterprise Resources Planning) en la automatización, base fundamental de la digitalización.

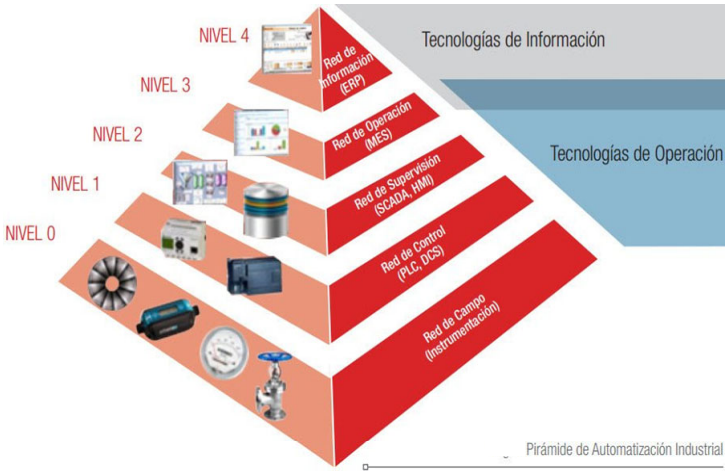



Figura 3. Pirámide de automatización.
Fuente: Centro de Ciberseguridad Industrial de la Universidad Veracruzana, México

Asumir un proceso de digitalización en un sistema de producción tiene que ser sobre la base de identificar claramente los componentes tecnológicos de los sistemas de producción, los que se muestran en la Tabla 1.
La automatización y la digitalización en los procesos productivos dan paso a la Industria 4.0, reduciendo tiempos, costos y mejorando el servicio al cliente y requiere un personal más competente. Las tecnologías de la Industria 4.0 son tecnologías en las que se integran los diferentes componentes tecnológicos de los sistemas de producción; su aplicación tiene que ver con un enfoque holístico entre todas las tecnologías planteadas en la Tabla 1.

Un ejemplo de reducción de costos y mejoramiento de servicio al cliente es la experiencia en el sistema de producción agrícola de brócoli, en Ecuador para exportar a Japón. En este sistema se realiza un estudio de la composición del suelo mensualmente con el objetivo de establecer la composición del fertilizante a suministrar cada mes por el proveedor con el objetivo del crecimiento del rendimiento del suelo en el plazo de 20 años. En este mismo sistema se determinan los defectos de los cortes en el brócoli y los ejecutores de esos cortes, al final del mes esto permite establecer un plan de capacitación personalizado, orientado al mejoramiento. Esto es una expresión de integración entre distintos submodelos del sistema de producción.

Tabla 1. Componentes tecnológicos de los sistemas de producción

| No. | Elemento | Alternativas | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Industria 4.0 (Tecnologías integradoras) |
| 1 | Elaboración | Manual | Semimeca-nizada | Mecaniza-da | Automática | | | | | | Fabricación aditiva (3D) Robot Drones Proceso inteligentes Big Data Inteligencia Artificial (IA) Realidad Virtual Realidad Aumentada Computación en la Nube Gemelos digitales Internet de las cosas (IoT) Ciberseguridad Simuladores Blockchain Sistemas de intgración horizontal y vertical |
| 2 | Transporte interno | Humano | Animal | Transpota-dor | Carretilla | Vehículos | | | | | |
| 3 | Transporte externo | Humano | Animal | Medio con acción humana | Trerrestre | Marítimo | Fluvial | Ferrocarril | Aéreo | Tubería | |
| 4 | Manipulación | Manual | Transporta-dores | Carretilla | Vehículo | | | | | | |
| 5 | Almacén | Aire libre | Almacén a granel | Depósito | Tanques | Almacén sin estantes | Almacén con estantes | Depósito | Tanques | Centro distribución | |
| 6 | Planificación y control | Manual | Con apoyo PC | Software específico | ERP | TMS | WMS | CRM | SMS | SCMS | |
| 7 | Decisiones | Intuitiva | Con algoritmos | Basada en normas | Basada en modelos | Dispositi-vos | Apoyada en analítica | | | | |
| 8 | Comunicación | Verbal | Documen-tos | EDI | Teléfono fijo | Teléfono móvil | Intranet | Internet | Redes sociales | Correo electrónico | |
| 9 | Documentos | No formal | Papel | Digital | Web | | | | | | |
| 10 | Captación de datos | Manual descriptiva | Recopila-ción manual | Código de barra | Código QR | RFID | Sensores | | | | |
| 11 | Método de localización | Descriptiva | Mapas | GPS | | | | | | | |
| 12 | División del trabajo | Por funciones | Multifuncio-nes | Integración de funciones | | | | | | | |
| 13 | Lead time de acciones | Reactiva | En línea | Preventiva | Anticipada | | | | | | |
| 14 | Carga | A granel | Envasada | Embalada | Paletizada | Contene-dorizada | | | | | |
| 15 | Energía | Sin energía | Eléctrica | Hidraúlica | Combustible fósil | Eólica | Biogás | Fotovoltaica | Por gravedad | | |
| 16 | Formación de personal | No califcado | Empírica | General | Especializada en logística | Certificado en logística | Cultura en logístca | | | | |
| 17 | Relación con cliente | Cliente al poductor | Punto de venta | Productor al cliente | e-Comercio | | | | | | |
| 18 | Relación con proveedor | Compra venta | Entrega directa al proceso | Alianza | e-Comercio | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

Cuando se tiene la base organizativa, gerencial y operacional orientada a la integración, es que las tecnologías de la Industria 4.0 permiten dar el salto en el desarrollo del sistema de producción. Tal y como plantean Calatayud y Katz, “la transformación digital requiere de una estrecha colaboración entre actores, lo que va desde asegurar la interoperabilidad de los sistemas para poder impartir información, hasta sincronizar los cambios para recibir los máximos beneficios de una transformación que necesariamente debe ser integral.” (Calatayud & Katz, 2019, pág. 21)
No resulta suficiente disponer de un sistema de producción agropecuario con alto nivel de organización e integración interna si al interactuar con el entorno no puede garantizar satisfacer las demandas finales de los clientes finales.

Los sistemas de producción agropecuarios requieren integrarse en cadenas de suministro de forma que garanticen llegar con sus productos a los clientes finales con los productos y servicios que estos últimos necesitan. Una referencia para diseñar y aplicar sistemas de gestión colaborativa de la cadena de suministro lo es el Modelo de Gestión Integrada de las Cadenas de Suministro (MGICS) desarrollado por LOGESPRO.
El MGICS promueve la creación de estructuras de cooperación y colaboración entre empresas y entidades que funcionen en paralelo con las estructuras administrativas. Las premisas para su aplicación se basan en la participación consciente de las entidades y sus instancias superiores y en función de su capacitación. Los principios se definen a partir de relaciones de cooperación lideradas por una entidad focal y teniendo en cuenta estrategias comunes que abarcan a toda la cadena de suministro. Las relaciones entre los elementos estructurales del MGICS se muestran en la Figura 4.

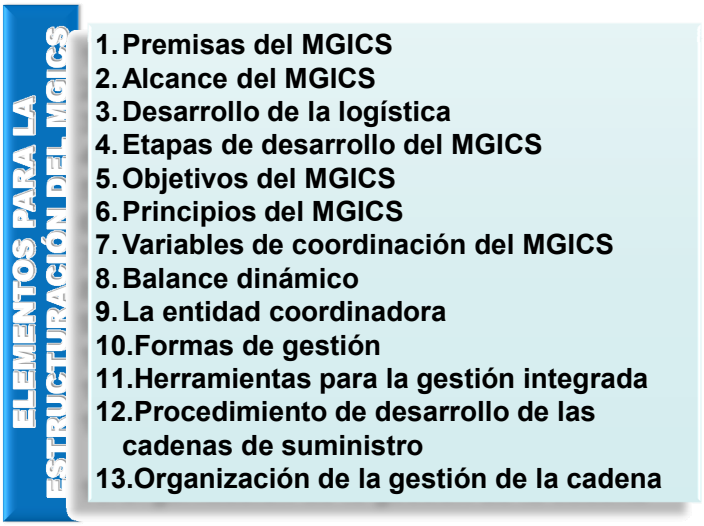



Figura 4 Elementos del MGICS
Fuente: (Acevedo Suárez & Gómez Acosta, 2023)

Un caso en el que se evidencia la necesidad de la utilización de estructuras de cooperación es el de la cadena de producción de explosivos industriales en Cuba. La introducción de una nueva tecnología de producción de explosivos industriales, con la utilización de un camión fábrica que lleva hasta el punto de la voladura un explosivo líquido, en vez de un explosivo en forma encartuchada, requirió introducir cambios y nuevas tecnologías en otros sistemas de producción que conforman la cadena de suministro, de forma que se lograron reducir los costos a nivel de toda la cadena.
El portador de los cambios que se requieren introducir al implementar los conceptos de sistemas de producción y cadenas de suministro es el personal, directivos, profesionales, técnicos y obreros. De manera general hoy la formación está orientada a las especialidades, no orientados a los sistemas de producción. Por lo que se hace necesario llevar la transformación de los sistemas de formación y capacitación a orientados al objeto de la profesión (los sistemas de producción y las cadenas de suministro) y no como son hoy la mayoría de las formaciones que están orientadas principalmente al campo de actuación (cada una de las especialidades). A partir de este análisis es posible sugerir una guía para formar y capacitar al personal en los SPA tomando como base el esquema se aparece en la Figura 5.

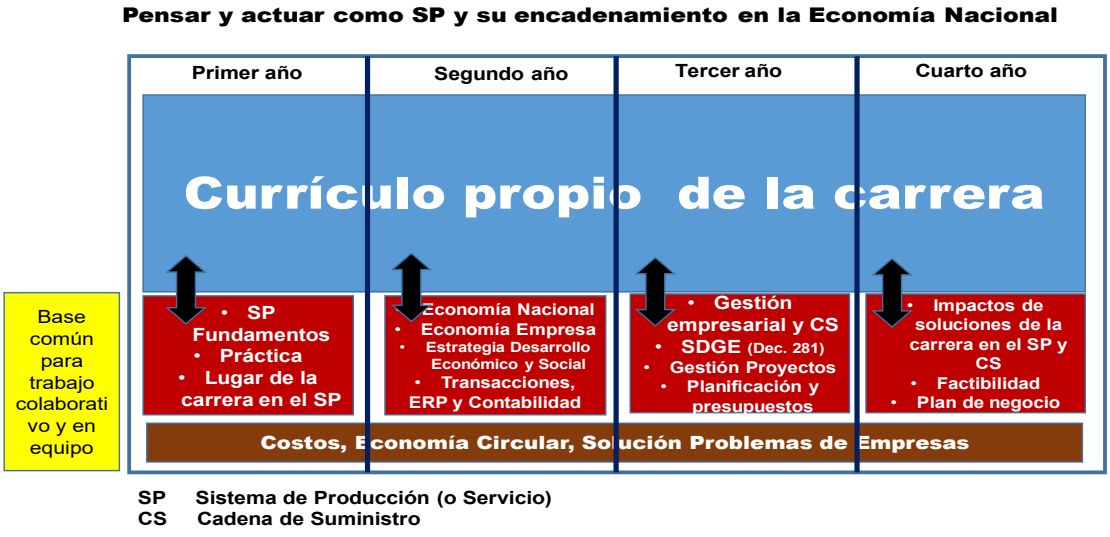


Figura 6. Guía para la formación y capacitación del personal en los conceptos de sistema de producción y cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia

## 3. RESULTADOS

A partir del análisis realizado se pueden resumir que los principales resultados obtenidos son los siguientes:

- La modelación integral de los sistemas de producción, que incluye los sistemas de producción agropecuaria
- Un modelo de referencia para diseñar y aplicar el sistema de gestión colaborativa de la cadena de suministro, el MGICS, que ha probado en la práctica su validez
- Una guía para formar y capacitar a los directivos y trabajadores con un carácter holístico y enfocada al objeto de la profesión como elemento de integración de todas las especialidades que concurren en un sistema de producción

## 4. CONCLUSIONES

1. Todos los que trabajan en el sistema de producción (directivos, especialistas, técnicos y obreros) deben recibir una formación holística sobre el sistema de producción, o sea, deben considerarlo como su objeto de la profesión.
2. La adopción del MGICS exige que sea el centro del sistema de gestión
3. Para lograr efectividad en la aplicación del MGICS se debe lograr que las competencias laborales, técnicas de gestión, tecnologías de las operaciones y de gestión, y la filosofía de gestión compatibilicen entre sí e integren a nivel del sistema de producción y de cada uno de los submodelos
4. Para asimilar las tecnologías de la Industria 4.0 con el objetivo de dar un salto en el desarrollo en los sistemas de producción y las cadenas de suministro es condición necesaria que la base organizativa, gerencial y operacional esté orientada a la integración.

**RECONOCIMIENTOS**

Es recomendable que los autores agradezcan a los que han permitido, ayudado y colaborado con la obtención de los resultados referidos en el artículo. En caso de que sea procedente expresar agradecimientos, se sugiere utilizar un encabezamiento típico como: “Los autores desean agradecer…”

**REFERENCIAS**

1. ACEVEDO SUÁREZ, J. A., & GÓMEZ ACOSTA, M. I. (2023). Modelo de Gestión Integrada de la Cadena de Suministro. LOGESPRO. Temas seleccionados (VII). (CUJAE, Ed.) La Habana, Cuba.
2. ACEVEDO SUÁREZ, J., & GÓMEZ ACOSTA, M. (2013). Introducción a la Ingeniería. La Habana, Cuba: Félix V arela.
3. ACEVEDO SUÁREZ, J., & GÓMEZ ACOSTA, M. (2017). La Logística Moderna en la Empresa. La Habana, Cuba: Felix Varela.
4. ANTÚN, J. (2002). Administración de la Cadena de Suministro: evolución de los enfoques logísticos. UNAM, Instituto de Ingeniería, México.
5. CALATAYUD, A., & KATZ, R. (2019). Cadena de suministro 4.0. Mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina (Vol. Monografía del BID; 744). Banco Interamericano de Desarrollo.
6. FLYNN, B., HUO, B., & ZHAO, X. (2010). The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. Journal of Operation Managements, 28, 58-71.

7. LÓPEZ JOY, T. (2014). Modelo y procedimiento para el desarrollo de la gestión integrada de las cadenas de suministro. La Habana, Cuba.
8. QUIROA, M., & LÓPEZ, J. (mayo de 2020). economipedia.com. Recuperado el octubre de 2023, de https://economipedia.com/definiciones/sistema-de-produccion.html
9. UNIVERSIDAD DE GUANAJATO. (2023). Repositorio de objetos de aprendizaje. Universiadd de Guanajato. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de https://oa.ugto.mx/wp-content/uploads/2017/10/oa-rg-0001351.pdf

**Sobre los autores**

**José A. Acevedo Suárez.** Nació en 1955 en Matanzas, Cuba. Ingeniero Industrial (1976) en la Universidad de La Habana, especialista en dirección empresarial en Alemania. Doctor en Ciencias Técnicas (1986). Doctor en Ciencias (2008). Premio Nacional de Ciencia 2003 otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba. Premios en varios Forum de Ciencia y Técnica. Profesor Titular de la CUJAE. Profesor de Logística, Economía y Organización de la Producción. Profesor en Colombia, Bolivia, y Venezuela. Vicepresidente del Centro Europeo Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE). E.mail: acevedo@tesla.cujae.edu.cu
ajur@ind.cujae.edu.cu

**Martha I. Gómez Acosta.** Nació en 1955 en USA. Ingeniera Industrial (1978) en la CUJAE, Doctora en Ciencias Técnicas (1998). Premio Nacional de Ciencia 2003 otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba. Premios en varios Forum de Ciencia y Técnica. Profesora Titular de la CUJAE. Profesor de Logística, Economía y Organización de la Producción. Coordinadora del Centro Europeo Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE). E.mail: marthagom@tesla.cujae.edu.cu

**Ana Julia Acevedo-Urquiaga**, es profesor investigador del Programa de Ingeniería Industrial de la Fundación Universitaria San Mateo y del Laboratorio de Gestión Logística y de la Producción (LOGESPRO) de la Universidad Técnica de La Habana "José Antonio Echevarría" (CUJAE). Es Ingeniera Informática y Doctora en Ciencias Técnicas por la CUJAE y fue becaria de universidades alemanas y suecas. Es miembro e investigadora del Centro Europeo-Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE) con sede en la Universidad Humboldt de Berlín y es profesora invitada y de posgrado en varias universidades de Latinoamérica. Dra. Acevedo ostenta dos Premios Nacionales de Joven Investigador y el Premio Nacional al resultado de la Investigación Científica de la Academia Nacional de Ciencias de Cuba, así como el Teaching Award of Supply Chain de la Industrial and Engineering Operation Management Society del Estados Unidos en 2020. Sus intereses de investigación incluyen la fabricación, la logística, la gestión de la cadena de suministro, la planificación de la producción, la economía circular, la aplicación de tecnología y los métodos educativos.

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# MODELO DE ASEGURAMIENTO DE LOS PROCESOS EN LA DIVISIÓN DE LOGÍSTICA Y SERVICIO DE ETECSA (GRUPO DE PROCESAMIENCO DE LA INFORMACIÓN)

**Ing. Zuleyka Chacón Núñez**[1]
**DraC. Martha Inés Gómez Acosta**[2]
[1]
[2]Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Cuba
e-mail: zuleyka.chacon@etecsa.cu; marthagom@tesla.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La investigación se desarrolla en la División de Logística y Servicio de ETECSA, tiene en su estructura el Grupo de Procesamiento de la Información de la División de Logística y Servicio de ETECSA, este grupo de trabajo funge como Centro de Dirección de la División de Logística y Servicio, y su misión es mantener informado al máximo directivo de la División (DVLS) y al Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones (CDNT), sobre el comportamiento de los indicadores que abarcan los procesos relacionados con el transporte, las operaciones logísticas, servicios generales e inversiones no. Para que el mismo pueda desarrollar su misión, a partir de la creación de condiciones adecuadas de trabajo es necesario organizar el trabajo, el flujo de las informaciones de entrada y salida, que garantice el mejor desempeño, de ahí la necesidad de realizar un análisis integral y flexible del proceso en el Grupo de Procesamiento de la Información (GPI) se ejecuta. Las informaciones que brinda el GPI de la DVLS deben estar caracterizada como actualizada, veraz e inmediata para procesar la identificación, análisis exhaustivo y propuestas de solución de problemas siendo un proceso de apoyo en la empresa por lo que interactúa con todos los servicios que la empresa brinda.

La problemática fundamental que sustenta la investigación está asociada a determinar cuáles son los recursos críticos que entorpecen el mejor desempeño del proceso que se desarrolla en el GPI.

Se plantea como objetivo general Aplicar el Modelo de Aseguramiento al Proceso (MAP) al Grupo de Procesamiento de la Información en la División de Logística y Servicio de ETECSA para el logro de un análisis integral y flexible que garantice su mejor desempeño. Como objetivos específicos, estudiar y analizar el estado del arte de la documentación asociada al tema de investigación; diagnosticar la situación actual del GPI a partir del análisis de cada recurso con la aplicación del Modelo de Aseguramiento del Procesos (MAP), y aplicar el procedimiento del MAP en los recursos críticos identificados en el proceso objeto de estudio
La importancia de la aplicación de esta herramienta radica en que define en cada proceso ¿Qué asegurar?, ¿Con qué características asegurar?, ¿Cuándo asegurar?, ¿Cuánto asegurar?, ¿Cómo asegurar?, y ¿Quién tiene que asegurar?

En el desarrollo se utilizan herramientas y técnicas que soportan y facilitan el cumplimiento del objetivo al desarrollo de la investigación de esta tesis tales como el Modelo de Aseguramiento de Procesos (MAP), elaborada por los especialistas del Departamento de Logística y Gestión de Producción (LOGESPRO) de la CUJAE, técnicas para la recopilación y análisis de la información existente, observaciones directas, entrevista, diagrama causa-efecto, y de manera auxiliar, se emplearon las herramientas informáticas del paquete de Microsoft Office, así como el gestor bibliográfico EndNote.

Los resultados fundamentales del trabajo están encaminados a proponer alternativas de mejoras por cada uno de los recursos críticos identificados con la aplicación del modelo de aseguramiento del proceso.

Los resultados fundamentales del trabajo están encaminados a proponer alternativas de mejoras por cada uno de los recursos críticos identificados con la aplicación del modelo de aseguramiento del proceso.

**PALABRAS CLAVES**: proceso, logística, modelo de aseguramiento del proceso

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# PROCESS ASSURANCE MODEL IN THE LOGISTICS AND SERVICE DIVISION OF ETECSA (INFORMATION PROCESSING GROUP)

## ABSTRACT

The research is carried out in the Logistics and Service Division of ETECSA, its structure is the Information Processing Group of the Logistics and Service Division of ETECSA, this work group serves as the Management Center of the Logistics and Service Division. Service, and its mission is to keep the top management of the Division (DVLS) and the National Telecommunications Management Center (CDNT) informed about the behavior of the indicators that cover the processes related to transportation, logistics operations, general services and investments no. In order for it to carry out its mission, starting from the creation of adequate working conditions, it is necessary to organize the work, the flow of input and output information, which guarantees the best performance, hence the need to carry out a comprehensive analysis. and flexible process in the Information Processing Group (IPG) is executed. The information provided by the DVLS GPI must be characterized as updated, truthful and immediate to process the identification, exhaustive analysis and problem-solving proposals, being a support process in the company so it interacts with all the services that the company provides.
Principio del formulario
Final del formulario

The fundamental problem that supports the research is associated with determining which are the critical resources that hinder the best performance of the process that is developed in the GPI.
The general objective is to apply the Process Assurance Model (MAP) to the Information Processing Group in the Logistics and Service Division of ETECSA to achieve a comprehensive and flexible analysis that guarantees its best performance. As specific objectives, study and analyze the state of the art of the documentation associated with the research topic; diagnose the current situation of the GPI based on the analysis of each resource with the application of the Process Assurance Model (MAP), and apply the MAP procedure to the critical resources identified in the process under study

The importance of applying this tool lies in the fact that it defines in each process: What to insure?, With what characteristics to insure?, When to insure?, How much to insure?, How to insure?, and Who has to insure?
In the development, tools and techniques are used that support and facilitate the fulfillment of the objective of the development of the research of this thesis, such as the Process Assurance Model (MAP), developed by the specialists of the Department of Logistics and Production Management (LOGESPRO). ) of the CUJAE, techniques for the collection and analysis of existing information, direct observations, interviews, cause-effect diagrams, and in an auxiliary way, the computer tools of the Microsoft Office package were used, as well as the EndNote bibliographic manager.
The fundamental results of the work are aimed at proposing alternatives for improvements for each of the critical resources identified with the application of the process assurance model.
The fundamental results of the work are aimed at proposing alternatives for improvements for each of the critical resources identified with the application of the process assurance model.

KEYWORDS: process, logistics, process assurance model,

## 1. INTRODUCCION

La Dirección de la Revolución y el Ministerio de Comunicaciones, han establecido un conjunto de orientaciones y tareas con el objetivo principal de organizar el sistema informativo de todas las entidades pertenecientes a nuestro Ministerio, de modo que la información fluya al Centro de Dirección Ministerial con la inmediatez requerida. En función de lo anterior, el Presidente Ejecutivo de ETECSA consideró pertinente la creación y puesta en marcha del Sistema de Dirección Operativa de ETECSA, integrado por los Centros de Dirección Territoriales y el Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones, con los vínculos de envío y recepción de informaciones al Centro de Dirección Ministerial del MINCOM, de

modo que pueda ejercerse la Dirección Operativa y el Control permanente en tiempo real del Sistema de Telecomunicaciones, garantizando su funcionamiento óptimo y su seguridad, en cualquier circunstancia que responda a los requerimientos actuales de la defensa, los intereses sociales y políticos del país, y del servicio integral que entrega ETECSA a la sociedad en todo su conjunto.

Hasta el año 2012, en la (DVLS) existía un Centro de Dirección con horarios rotativos en donde se tributaba información al CNDT, para el segundo semestre del 2012 se efectúa en ETECSA un proceso de reordenamiento, y los Centros de Dirección de las Divisiones Centrales desaparecieron, no obstante se mantuvo en la DVLS una terminal de video conferencia por la importancia de esta actividad como proceso de apoyo clave para el resto de los procesos de la Empresa, jugando un rol significativo en temporada ciclónicas y de la defensa, motivo por el cual en Octubre del año 2014, se constituye el Grupo de Procesamiento de la Información que funge como Centro de Dirección en la División de Logística y Servicio.

Dentro de ETECSA, nuestro objeto de estudio se realiza en la División de Logística y Servicio (DVLS) de ETECSA, tiene como misión de gestionar integradamente los servicios comunes a las funciones y áreas de la empresa que son de su competencia, garantizando niveles de servicio que satisfagan a los usuarios internos. Entre sus funciones y responsabilidades están la de establecer y controlar el cumplimiento de las estrategias, políticas y regulaciones empresariales para la planificación de la distribución y entrega de bienes y productos en plaza; así como de servicios relacionados con el transporte, los portadores energéticos, los inmuebles, inversiones no tecnológicas y el aseguramiento, entre otras.

El trabajo se enmarca en el Grupo Procesamiento de la Información (GPI) de la DVLS, tiene como principal función mantener informado al máximo directivo de la División de Logística y Servicio (DVLS) y al Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones (CDNT), referente al proceso logístico. Tiene como misión es mantener Informado al máximo directivo de la División (DVLS) y al Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones (CDNT), sobre el comportamiento de los indicadores que abarcan los procesos relacionados con el transporte, las operaciones logísticas y los servicios (proceso logístico) a partir de los partes operativos diarios, semanales y mensuales. Dentro de sus funciones está el de aportar los elementos de orientación para la toma de decisiones estratégicas, delimitando las necesidades, recursos y obstáculos existentes, estableciendo las prioridades de las acciones a acometer, ofreciendo información oportuna y precisa, dando el seguimiento y evaluación de las diferentes situaciones y escenarios en que se presente el problema y facilita el intercambio de información integrada entre las unidades organizativas que administran y dirigen el Sistema de Aseguramiento Logístico.

Teniendo en cuenta las actividades que se ejecutan, surge la necesidad de identificar los recursos que aseguran el trabajo en el Grupo de Procesamiento de la Información (GPI) y conocer cuáles son los recursos críticos dentro del proceso de procesamiento de la información a partir de la aplicación de la herramienta MAP, para lograr su evaluación, y mejoramiento, así como lograr un alto nivel de integración de todas las actividades del proceso.

Para lo cual se plantea como Objetivo general. Aplicar el Modelo de Aseguramiento al Proceso (MAP) al Grupo de Procesamiento de la Información (GPI) y para darle cumplimiento al objetivo general se plantean los siguientes Objetivos específicos:

Estudiar y analizar el estado del arte de la documentación asociada al tema de investigación.

Diagnosticar la situación actual del GPI a partir del análisis de cada recurso con la aplicación del Modelo de Aseguramiento del Procesos (MAP)

Aplicar el procedimiento del MAP en los recursos críticos identificados en el proceso objeto de estudio

Proponer acciones de mejoras e implementación para la mejora del proceso

Se realizó un estudio del marco teórico con la siguiente estructura: definición conceptos generales, tendencias actuales, técnica y métodos a emplear en el desarrollo del trabajo, y conclusiones del capítulo.

Conceptos generales

1.2.1 Logística

1.2.2. Sistema logístico

1.2.3. Proceso

1.2.4. Flujo de proceso

1.2.5 Modelo de Aseguramiento de procesos (MAP)

1.3. Tendencias actuales

1.4. Técnicas y métodos a emplear.

1.5. Conclusiones del capítulo.

## 2. MÉTODOS

Se presenta el principal modelo empleado y sus características el Modelo de Aseguramiento del Proceso (MAP), es el conjunto de recursos, servicios y condiciones que deben asegurarse según determinadas formas, calidades, momentos y cantidades para garantizar el desempeño de un proceso de acuerdo con determinados estándares. El modelo de aseguramiento de procesos, comprende un conjunto de actividades necesarias para la obtención de un producto final con la calidad requerida por el cliente. Estas van desde la formación del personal hasta el provisionamiento de las materias primas y medios necesarios al proceso productivo

Los elementos que conforman el MAP son:
Entorno; social, político, económico
Productos y servicios (acorde con el mercado de ventas)
Sistema de producción
Activos (acorde con el mercado aprovisionamiento)
Materias primas, materiales y energía (acorde con el mercado aprovisionamiento)
Instrumentos (acorde con el mercado aprovisionamiento)
Información (acorde con instituciones y organismos de la Administración Central del Estado cubano (OACEs) correspondientes)
Conocimiento (acorde con instituciones y OACEs correspondientes)
Personal (acorde con el entorno laboral del proceso y objeto de estudio)
Dinero (acorde con el sistema bancario y tributario del objeto de estudio)
Residuos (acorde con el mercado de ventas)
Huella ecológica e impacto ambiental

Se realiza un diagnóstico de la situación actual del Grupo de Procesamiento de la Información de la División de Logística y Servicio de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, a través de la aplicación del Modelo de Aseguramiento al Proceso (MAP).El diagnóstico de la situación actual, tiene como objetivo que la empresa cuente con una herramienta estándar que le sirva como metodología y tutoría, permitiéndole a través de sus pasos realizar diagnósticos, para que por sí mismo, encuentre los problemas que aquejan en el proceso objeto de estudio.

**Procedimiento para el diagnóstico de la situación actual**

Se procede a diseñar una metodología de diagnóstico para conocer la situación actual del GI de la DVLS. La misma está compuesta por cuatro etapas, como se muestra en la Figura Nº 2. Procedimiento para el diagnóstico de la situación actual GPI de la DVLS de ETECSA.

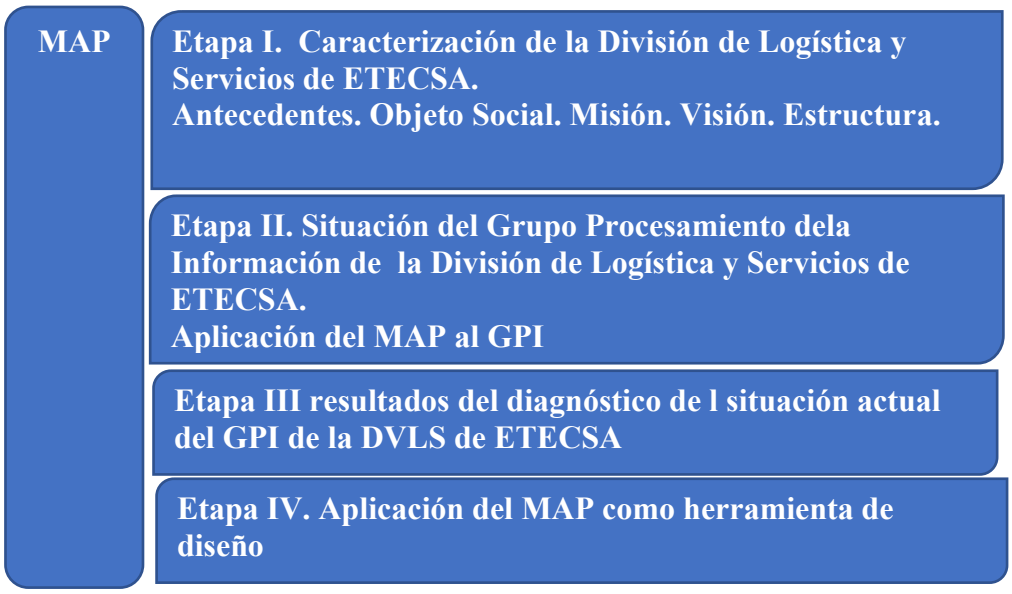


**Figura Nº 1. Procedimiento para el diagnóstico de la situación actual GPI de la DVLS de ETECSA**

Se realiza el diagnóstico del aseguramiento de los recursos al proceso del Grupo de Procesamiento de la Información a través del de cada elemento del MAP,
La eficiente caracterización de cada uno de estos elementos que componen el MAP va a influir en la efectividad de la ejecución del proceso.

**Etapa I. Caracterización general de la entidad**

ETECSA es una empresa cubana de capital mixto ciento por ciento cubana fundada en 1994, comprometida con la Revolución y las tareas que respaldan el desarrollo socioeconómico del país mediante una creciente invulnerabilidad de su Sistema de Telecomunicaciones. Brinda servicios de telecomunicaciones, basado en los estándares mundiales, soportados en tecnologías de avanzada. Su estructura organizativa parte de los Centros de Telecomunicaciones como célula principal de la gestión empresarial, lo que propicia la atención personalizada e integral a sus clientes y al pueblo. Sus trabajadores forman equipos de profesionales que buscan soluciones creativas a los problemas. El sentido de pertenencia, la motivación y un clima laboral de confianza y respeto caracterizan el desempeño de la empresa que descansa en los valores que unen a sus trabajadores. Su cultura empresarial se fundamenta en la orientación al servicio, al rigor y al detalle; la estrecha vinculación con el pueblo al cual pertenece y la permanente comunicación con los trabajadores, sus clientes y la sociedad.

Hasta el año 2012, en la (DVLS) existía un Centro de Dirección con 9 compañeros que trabajaban las 24 horas al día, con horarios rotativos que tributaban informaciones mediante partes y boletines. En el segundo semestre del 2012 se efectúa en ETECSA un proceso de reordenamiento, y los Centros de Dirección de las Divisiones Centrales desaparecieron, no obstante se mantuvo en la DVLS una terminal de Video conferencia por la importancia de esta actividad como proceso de apoyo clave para el resto de los procesos de la Empresa, jugando un rol trascendental en temporadas ciclónicas y de la defensa, motivo por el cual en Octubre del año 2014, se constituye el Grupo de Procesamiento de la Información, que constituye nuestro objeto de estudio.

**Caracterización objeto de estudio.**

El Grupo de Procesamiento de la Información de la DVLS, tiene como principal función “Mantener informado al máximo directivo de la División de Logística y Servicio (DVLS) y al Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones (CDNT), referente al proceso logístico
Tiene como misión es mantener Informado al máximo directivo de la División (DVLS) y al Centro de Dirección Nacional de Telecomunicaciones (CDNT), sobre el comportamiento de los indicadores que abarcan los procesos relacionados con el transporte, las operaciones logísticas y los servicios (proceso logístico) a partir de los partes operativos diarios, semanales y mensuales.

Dentro de sus principales funciones
se encuentran:

- Participar en el análisis diario del estado del Sistema de Telecomunicaciones de ETECSA (STLC) y sus procesos,
- Analizar los hechos e indicadores que inciden en el proceso logístico poniendo a disposición de las áreas rectoras de la División toda la información para la toma de decisiones,
- Cumplir y llevar a vías de realización los acuerdos e indicaciones necesarias informando a los niveles de dirección correspondientes,
- Utilizar, mantener, y cuidar el soporte técnico-profesional del sistema de videoconferencias de la DVLS,
- Garantizar el análisis sistémico, seguimiento y evaluación de los indicadores del proceso logístico e informa a la Dirección de la DVLS para la toma de decisiones,
- Garantizar la información al CDNT y la Dirección de la DVLS de los partes diarios, semanales y mensuales a partir del seguimiento de los procesos de sus áreas rectoras,
- Exigir, supervisar, controlar el cumplimiento de las Resoluciones y Disposiciones de la Dirección de la Empresa, en las que se designa al Centro de Dirección para ejercer este rol.

- Mantener vínculos de comunicación y cooperación a través de los medios y vías establecidas, con los (CDT y CDNT),
- Asegurar la disposición de la DVLS para el paso a Puesto de Dirección de DVLS en situaciones excepcionales, mantener actualizado el sistema informativo sobre el estado de las fuerzas y medios disponibles en la DVLS para el apoyo ante el impacto en situaciones de desastres,
- Gestionar, y elaborar la información estadística del comportamiento de determinados indicadores del proceso logístico a solicitud de la Dirección de la DVLS, partiendo de los datos de las áreas rectoras de dicho proceso,
- Participar en el análisis y seguimiento de las acciones para el aseguramiento de los servicios de transportación, alimentación y entrega de recursos a las diferentes UO de la Empresa en la ocurrencia de un evento o situaciones excepcionales en el país. Entre otras
- Al tratarse de un flujo informativo, algunos de los componentes deben adaptarse mientras que otros quedan sin efecto, debido a que no son necesarios para el aseguramiento del proceso, tal es el caso de:

## Entorno (social, político, económico y ecológico)

Se desarrolla en un ámbito empresarial de gran reconocimiento como lo es la Empresa de Telecomunicaciones de ETECSA con gran compromiso social, ETECSA tiene como misión Brindar servicios de telecomunicaciones que satisfagan las necesidades de los clientes y la población, así como respaldar los requerimientos del desarrollo socio-económico del país con los resultados que de la empresa se demandan; como visión es una empresa en constante crecimiento, orientada a satisfacer las expectativas de nuestros clientes y de la población. Brindamos servicios de excelencia y logramos que nuestros clientes estén más y mejor conectados. Con una alta responsabilidad social en función del desarrollo del país y sustentados en la profesionalidad, integridad moral, sentido de pertenencia, cohesión y cultura de servicio que nos caracteriza.
Tiene como objeto social Prestación de los servicios públicos de telecomunicaciones, mediante la proyección, operación, instalación, explotación, comercialización y mantenimiento de redes públicas de telecomunicaciones en todo el territorio de la República de Cuba.

El entorno como conjunto de circunstancias o factores sociales, culturales, morales, económicos, profesionales, etc., que rodean el trabajo del GPI, que se mueve en armonía con el trabajo de la DVLS y a su vez con el de la empresa, participando en cada servicio, garantizando los recursos, sea para el desarrollo de programas especiales, apoyo en todo tipo de servicio que brinde la empresa, nuevos servicios, ofertas, y en temporada de eventos meteorológicos es nuestra división, en este año el servicio de internet en el móvil como nuevo servicio.

Ecológico: La DVLS trabaja en el cumplimiento de la Política Ambiental, cumplir con la legislación nacional vigente de protección al Medio Ambiente, minimizando los impactos ambientales negativos derivados de los procesos qe en ella se ejecutan, garantizando así la disposición final adecuada de los desechos resultantes de cada una de las actividades. Para ello se adoptan procederes más limpias y eficientes que garanticen el cumplimiento y promuevan y desarrollen le uso racional de materias primas, la energía y el consumo de aguas en todas las instalaciones.

La Dirección de Innovación y Sistema de Gestión (DISG) de la DVLS, tiene un plan de trabajo donde incluye la capacitación al personal como parte del adiestramiento inicial, formando una conciencia ambiental a partir de la educación, divulgación e información a todos los trabajadores, encaminada a la mejora continua en el desempeño del Medio Ambiente de la Empresa y a lograr la unidad de acción de un colectivo motivado en pos de la calidad, la productividad y la eficiencia sin ocasionar daños al Medio Ambiente.

## Activo

El GPI cuenta con equipos de cómputo, impresoras, equipamiento para el enlace a intranet. Su aseguramiento se gestiona por el Departamento de Sistemas Informáticos de la DVLS. Los insumos

necesarios para mantener los activos en buen estado para su uso son gestionados por esta misma división, existe un plan de mantenimiento para los equipos tecnológicos principalmente aires acondicionados con terceros, para el mantenimiento de computadoras el cual se realiza con a División de Tecnología de la Información (DVTI) de la propia ETECSA, con una ejecución mensual de un plan de mantenimiento anual que ejecutan los mismo Especialistas y técnicos de la DVTI, cuenta también con Taller donde se envían PC, impresoras, backup, monitores, la revisión a cargo de los especialistas del Departamento de Informática de la DVLS; y la reparación en caso necesario realiza por los técnicos y especialistas del Taller de Buena Vista

El GPI dispone de una instalación con dos oficinas A y B y un salón de videoconferencias

El GPI equipados con 2 PC una en cada oficina, 2 laptop, 1 equipo de videoconferencia 1 equipo de audio conferencia que no funciona, teléfonos fijos en cada mesa de trabajo con mal funcionamiento

Los equipos se encuentran en buen estado a pesar del desgaste producido por la explotación de los mismos más de 10 años de explotación y a pesar de todo funcionan en buen estado realizándoles mejoras tecnológicas con el fin de elevar el nivel técnico del mismo.

El estado constructivo del GPI está en buenas condiciones, el salón de videoconferencia tiene una buena imagen acorde al resto de los salones de video del país, tiene garantizado su mantenimiento constructivo anualmente a través del Departamento de Logística y Servicio de la DVLS, las oficinas A y B son locales sin ventanas preparados para uso de climas que no se pueden utilizar, deficiente ventilación, la iluminación con e cambios de lámparas led ha mejorado y cambio de colores de las paredes, monitores de pantalla plana.

La infraestructura del GPI se encuentra en buenas condiciones constructivas. Existe en la DVLS una brigada de mantenimiento constructivo los cuales son los encargados de realizar los mantenimientos, reparaciones menores cambios de luminarias, arreglos de techos, pinturas, sanitarios, pantrys, colocación de tomacorriente, interruptores entre otras.

Los servicios de mantenimiento son solicitados por los jefes del área donde se presenta la rotura, después de analizar la solicitud por el personal designado, este verifica la disponibilidad de recursos para ofrecer el servicio, auxiliándose de las existencias en almacén, de no estar disponible el recurso se procede a solicitar la compra de los materiales que sean necesarios.

Una vez preestablecido los materiales a emplear en el servicio, el operario de mantenimiento y/o operario de la brigada proceden a elaborar la orden de trabajo en la cual se especifica el servicio a realizar, y a ejecutar el mismo.

**Información** ue son necesarios asegurar en tiempos y . La información que maneja en GPI tiene diferentes estradas para la ejecución del procesamiento de las mismas y su análisis, así como salidas, sin este recurso no es posible la toma de decisiones con la calidad requerida que posibiliten la solución de problemas, aprovechamiento de oportunidades y prevención de riesgos

La información en el GPI tiene
entradas y salidas

**Información de entrada del Centro Nacional de Dirección (CDNT)**

- Normas
- Procedimientos
- Indicaciones
- Acuerdos tomados de cada chequeo de proceso ejecutado en la semana, los acuerdos tomados en el marco del desarrollo de la video a veces no están del todo bien confeccionados por lo que debe hacerse en conjunto con la Dirección que deriva este acuerdo que ayudan a la mejor comprensión y poder darle cumplimiento
- Presentaciones de cada chequeo de proceso ejecutado en la semana, las presentaciones no siempre están colocadas en el sistema para ser descargadas, solo es posible de conocer de qué trata la video de modo presencial en video

**Información de entrada de la Dirección de operaciones logística (DOL)**

- Distribución de recursos, el informe que se emite de la distribución de los recursos carece de formato, es un informe resumido con un análisis es u documentos Word que lista los recursos entregados, las cantidades de PT elaborados, entregados.
- Análisis del cumplimiento de entrega del Plan de Desechos Reciclables del año en curso, estado de los recursos lento movimiento, y estado de la comercialización de los recursos ociosos.Se emite el segundo viernes de cada mes, brindándose información sobre cumplimiento del plan de entrega por denominación de desechos, cumplimiento del plan de entrega por unidad organizativa, y estado de comercialización de recursos ociosos
- Parte de extracciones diario, este parte se ejecuta durante el día a partir de las extracciones que se realizan en terminal contenedores Mariel, terminal contenedores Santiago de cuba, aeropuerto, postal importaciones, Berroa, la técnico en gestión de almacenes de la DOL, se informa a partir de sistema de la TCM e informa por correo al GPI no solo de estas extracciones de la TCM sino de todas las realizadas en el día. Se emite antes de las 17:00 hrs por las Expedidoras de Cargas del Departamento de Almacenamiento y Distribución de la DVLS al GPI en la sesión de la tarde y sin horario fijo lo cual entorpece el trabajo de la GPI

**Informaciones de Salidas del Grupo de Procesamiento de la Información (GPI). DVLS**

El sistema SAP instalado en todas las PC con diferentes permisos de accesos, como visualizar, modificar pedidos de compra, seguimiento del movimiento de los recursos, estado de los pedidos de traslado, entre otros. El módulo instalado es el SAP MM.

## Conocimiento

Cuando se incorpora a la empresa un nuevo trabajador que cumpla con los requisitos básicos de conocimientos y no con los específicos. Este se incluye en las necesidades de superación de la empresa, para posteriormente al elaborar el plan, se tenga en cuenta dicha necesidad.
Como resultado del proceso de innovación y racionalización que se desarrolla en la DVLS y en el GPI se han desarrollado acciones derivadas de soluciones brindadas por los propios trabajadores, que ayudan a la solución de problemas reales del banco de problema de la ANIR
El movimiento del FORUM permite la generalización de soluciones y buenas prácticas y poner el conocimiento individual y colectivo en función del desarrollo del proceso, que no siempre se ejecuta de esta manera. Existe la ANIR que funciona con excelente resultados
Los trabajos son presentados a la ANIR y recogidos el Libro de Registro de Innovaciones y Racionalizaciones, lo que les da protección.

## Personal

Si bien se cuenta con un personal con formación universitaria no siempre está acorde a las exigencias de las plazas que ocupan, existen aspectos de formación necesarios para el desarrollo constante de la ejecución del trabajo, en busca de mejoras en el desempeño laboral.
Selección del personal. La selección del personal, la empresa tiene como objetivo seleccionar el personal idóneo de acuerdo a las competencias requeridas para el desempeño óptimo en el puesto de trabajo, a través de un proceso de selección. Cada plaza en convocatoria se publica en la página web, donde se adjuntan Plazas en convocatoria por Unidad Organizativa

Para ello implementa varios criterios de selección, , los aprobados son incorporados como nuevos trabajadores, una vez contratado el trabajador, inicia su período a prueba donde el mismo debe demostrar que posee los requisitos y cualidades necesarias para el desempeño de la ocupación, o cargo que aspira a ocupar, además comprueba que las características de la empresa se corresponden con sus intereses. Por su parte, la dirección brinda la información, los medios y las condiciones necesarias para lograr este propósito, y comprueba si el trabajador posee la idoneidad demostrada que el cargo u ocupación exige.

Formación. Se solicitan las necesidades de capacitación del GPI, y de todas las áreas de la DVLS, se asigna un presupuesto en el comité de capacitación a nivel empresa, y se realiza la planificación anual de

cursos externos e internos, eventos nacionales e internacionales. No se cubren las necesidades de capacitación, esto dificulta el buen desempeño de los trabajadores que necesitan cursos de superación, buscando el mejoramiento de su desempeño. En el período de 2015-2024 la mayor cantidad de acciones han estado relacionadas principalmente en los temas de SAP MM curso básico, curso pedagogía básica, curso pedagogía por competencias, curso de estadísticas, y talleres de las direcciones que componen la DVLS.

Condiciones de trabajo. Anualmente la entrega de uniforme se realiza de forma manual, aunque se han presentado dificultades atrasos desde año 2021, en le entrega de la actualización de la tallas de un año a otro lo cual atrasa el proceso, y su posterior entrega. Se provee al trabajador de un uniforme compuesto en el caso de la mujer está compuesto pantalón, blusa, zapatos medias bléiser, vestido, en el caso de los hombres está compuesto por pantalón, cinto, zapatos camisa, saco, para lo cual la empresa cuenta con un presupuesto destinado a la compra de uniforme módulo#1 y módulo#2 cuya composición es diferente condicionado por el tipo de actividad que ejecuta dentro de la empresa.

En las instalaciones de la entidad existe solo un comedor donde se sirve comida de proveedores nacionales con los cuales se viene presentando dificultades en su permanencia brindando el servicio y en la calidad del servicio que oferta, y la manipulación de los alimentos expendidos no es la mejor por parte del personal que labora en el mismo, además de tener doble función de limpieza y servicio de comida en el comedor no acorde a las normas.

La entidad cuenta con una base de ómnibus para las transportaciones de sus trabajadores desde diferentes puntos de la ciudad, para garantizan la asistencia y puntualidad del personal en todos horarios de trabajo, establecidos en la entidad. Hoy dada las condiciones actuales no existe transporte obrero.

En temporada de eventos metrológicos se activa la piquera con una planificación que permite responder a la recogida de los trabajadores implicados, y cualquier eventualidad, así como, se planifica para garantizar la alimentación de los trabajadores.

La actividad de seguridad y salud del trabajo, se realiza rectorada por el Departamento de capital humanos de la DVLS que se subordina a la Dirección Central de Capital Humanos de ETECSA (DCCH)

un especialista de seguridad y protección es la encargada de hacer cumplir lo establecido en cada una de

las áreas que componen la DVLS. Cada año se identifican en cada área y en cada puesto de trabajo los riesgos laborales, así como, lo que posibilita mantenerse sin ningún accidente laboral y tomar las medidas.

El GPI solo requiere en eventos meteorológicos como medios de protección capa y botas de agua de las que dispone 3 de sus 4 trabajadores

Las condiciones de trabajo en el GPI son de modo general buenas, se mantiene una atención al hombre de acuerdo a las posibilidades existentes, siendo el mobiliario (sillas, buró), equipos de cómputo (PC,

monitores), luminarias y su disposición, pintura, limpieza de locales y área exteriores, pantry, baños, se les garantizaba a los trabajadores almuerzo, a partir del 27 mayo del 2024 y medidas adoptadas para el ahorro energético anterior situación energética solo se da una merienda y se opta por el teletrabajo, trabajo a distancia solo pocos presenciales.

## Instrumentos

Instrumentos: durante el proceso que ejecuta el Grupo de Procesamiento de la Información no se utiliza instrumentos de medición de medición para la gestión del trabajo del GPI

## Dinero

En el GPI, las partidas de presupuesto asociadas al proceso son de gastos (materiales de oficina, alimentación ente otras), ya que no existe generación de ingresos. Por lo anterior todos los gastos del proceso son considerados gastos fijos, y no se realiza un análisis por actividades asociadas a la actividad del GPI. Cada una de estas partidas tiene un presupuesto asignado y mensualizado. La utilización de cada uno de los presupuestos debe justificar cada uno de los gastos realizados para el control efectivo del mismo

Con una frecuencia mensual se realiza la observación del comportamiento de las partidas de presupuesto de gasto asociado al proceso, con los correspondientes análisis.

Se ejecutan gastos de alimentación sean almuerzo o meriendas

Se ejecutan gastos para materiales de oficina, para lo cual se consulta en SAP el presupuesto mensual con que se dispone, con la transacción del sistema SAP S-ALR-87013611 podemos visualizar de cuanto presupuesto disponemos para solicitar Materiales Oficina entre otros gastos del GPI, también para visualizar que en los gastos de GPI no hayan sido cargados gastos ajenos a la actividad que desarrollamos por error Ej Gasto reparación de transporte si e GPI no tiene vehículo.

Con la transacción Mc.9 se pueden visualizar los recursos que hoy dispone el almacén de la DVLS en cuanto a materiales de oficina y poder realizar la solicitud al Dpto de Logística y Servicio

La empresa realiza los pagos a los proveedores a través de transacciones bancarias o cheques, en ambas monedas. El tiempo determinado para cumplir con sus obligaciones según los contratos concebidos es de 30 días, en caso que ocurra cierto retraso, en cuanto al plazo establecido se conciliaron el proveedor comprometiéndose la empresa a pagar en un tiempo pactado entre ambos.

El pago de la alimentación se descuenta por cada centro de costo de cada área, en el caso de las áreas que tengas miembros del coro los gastos por concepto de merienda por ensayo de coro van a una cuenta creada para tales efectos de la DCCH, y se planifican según Plan de ensayos y /o presentaciones del coro. FORUM tiene su cuenta de gastos, ANIR de igual manera por donde se le paga o premia a cada uno de los trabajos que resultados relevantes, destacados, y menciones en el FORUM, y que sus resultados constituyen innovación y racionalización en el caso de la ANIR, forma parte el Evento Mujer creadora, Hombre creador.

La participación en eventos culturales Festival Internacional de Coros en Santiago de Cuba, CORHABANA, Semana Música Sacra, Festival provinciales, los vestuarios de gala entregados el coro zapatos, uniformes , corren al gato del presupuesto que dispone e el coro cuyo control de gasto corre a cargo de la DCCH.

De igual manera el pago por superación en la universidad, por cursos de la actividad que ejecutan, seminarios, talleres, diplomado maestrías, doctorados, estudios en el extranjero corren al gasto del área donde labora el trabajador involucrado.

Problemas detectados

**Residuos**

s al proceso se principalmente residuos de papel, existe el consumo de electricidad debido a las computadoras, que contribuyen al consumo de energía eléctrica de la empresa, tonner gastados y cartón de las cajas de papel

Estos son recogidos en nylon y transportados para ser depositados en el centro de recolección de la DVLS en las cajas destinada a este tipo de desechos

En coordinación con la empresa de materias primas se encarga de la recogida y traslado de los desechos con la frecuencia establecida por la Dirección de Logística y Servicio de la DVLS.

**Materias primas, materiales y energía)**

Los suministros de materiales gastables son gestionados por la Dirección de Operaciones Logística, encargados de adquirir, transportar, almacenar y entregar a todas las direcciones y divisiones los mismos, con un proceso documentado para estas actividades de compra, transporte, servicios internos, recepción, despacho y distribución, fundamentalmente se realiza contratos con COPEXTEL, solo se realiza descentralizadas en caso que COPEXTEL por razones explicadas no pueda garantizarlos, en ese caso debe elaborarse una carta explicando el por qué no puede cumplir

Una vez que los materiales de oficina gastables estén en el almacén, se distribuyen al Almacén de la DVLS, que rectora el Departamento de Logística y Servicio de la DVLS, para la distribución a las diferentes las de la DVLS.

Cada área cuanta con un presupuesto anual mensualizado a partir del cual solicita los materiales de oficina, ferretería, se consulta en el SAP los materiales que existen y del interés de GPI se llena el modelo establecido y se entrega al Grupo de Logística quien es el encargado de balancear, despachar, y entregar al área solicitante, son los documentos que acreditan la entrega y correspondencia entre lo solicitado y entregado. Suministro mensual al GPI de te y café por concepto de videoconferencia de chequeo de procesos según Plan de Videoconferencia, Plan de chequeo de procesos y Plan de trabajo del GPI de cada mes.

**Etapa III: Resultados del diagnóstico de la situación actual de la UEB AICA.**

En esta etapa II se expondrán las conclusiones parciales de la segunda etapa.

**Resultados de la aplicación del MAP.**

A partir de la aplicación del MAP se identifican por cada recurso, los principales problemas que afectan a todo el proceso que se ejecuta en el GPI. A partir de los problemas identificados en cada recurso del MAP, que afectan a todo el proceso que se ejecuta en el GPI. Se elabora un diagrama paretto, que permite representar en forma ordenada el grado de importancia que tienen los diferentes problemas, tomando en consideración la frecuencia con que ocurre cada uno de dichos problemas, Identificar la prioridad en los recursos más importantes sin los cueles se hace imposible la realización del proceso, para el Grupo de Procesamiento de la Información, determinando que los elementos activos, información, conocimiento y personal son los más críticos, y son los que es necesario enfocar la solución de los problemas.

Se obtuvo por los elementos críticos los problemas relacionados con los mismos y se relacionó con la etapa de clasificación del MAP y el ciclo de gestión.
Se muestra el diagrama causa/efecto, con los aspectos susceptibles de ser mejorados, donde en cada una de las ramas aparecen los elementos del MAP con incidencia en las deficiencias detectadas.

**Etapa III. Propuesta de acciones para la mejora del proceso**

Esta etapa III tiene como objetivo una vez obtenido los resultados del diagnóstico se realizó el rediseño de los procesos de los elementos activos, personal, conocimiento, e información, se le describe el contenido de la logística con los siguientes aspectos:

- Nomenclatura
- Contenido y parámetros de calidad
- Método de suministro
- Procedimiento de aseguramiento
- Normas de existencia, consumo y explotación
- Condiciones de almacenaje y conservación
- Reservas
- Programación del aseguramiento
- Ejecutor

## 3. CONCLUSIONES

Con el estudio realizado se dio cumplimiento a los objetivos propuestos, se arribó a las siguientes conclusiones:

- A partir de la bibliografía consultada se pudo concluir que el Modelo de Aseguramiento del Proceso diseñado por Martha y Acevedo se define como la forma de asegurar dinámicamente las condiciones para el desempeño de un proceso en función del diseño realizado en el mismo.
- El estudio realizado al proceso que se ejecuta en el Grupo de Procesamiento de la Información

(GPI) permitió identificar los recursos críticos que hay que garantizar para que se desarrolle las tareas de este GPI

- Se elabora para cada uno de ellos el contenido de la logística
- Se proponen soluciones parciales a los recursos críticos (información, conocimiento, personal, activos), así como, al resto de los elementos del Modelo de Aseguramiento de Procesos

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante la investigación se considera necesario:

- Proponer soluciones al resto de los problemas identificados
- Generalizar la aplicación del Modelo de Aseguramiento del Proceso
- Continuar con las acciones previstas en el Proyecto de Mejora y analizar su estado en los Consejos de Dirección.
- Valorar la aplicación de las alternativas de mejoras propuestas en este estudio.
- Se propone realizar tesis investigativa sobre el uso de la información en el proceso de toma de decisiones

## REFERENCIAS

1. ISHIKAWA, K. (1988). Introduction to quality control. . Tokyo., ed. 3A Corporation.
2. ABRAHANTES, I. H., & ACOSTA, D. I. (2012). Tesis para optar por el título de Master en Logística y Gestión de Producción “APLICACIÓN DEL MAP EN EL PROCESO DE. La Habana.
3. Acevedo Suárez, J. a. (2012). MAP: Modelo de Aseguramiento de los Procesos Curso para Cuadros, Instituto Superior Politécnico. La Habana.
4. AGUIAR LUNA, Y. (2004). Diseño de Procesos del Sistema de Contabilidad. Ingeniería Industrial. La Habana, ISPJAE. Ingeniero Industrial. .
5. AGUIAR LUNA, Y. (2004). Trabajo de Contabilidad. Ingeniería Industrial, ISPJAE.
6. ANAYA TEJERO, J. J. (2000). Logística integral. La gestión operativa de la empresa. Madrid, España, Editorial ESIC. .
7. YUNIER RODRÍGUEZ CRUZ, T. D. (2014). Tesis Doctoral. Modelo del uso de la información en las empresas para la toma de decisiones .
8. BERNAL RODRÍGUEZ, J. "Modelo de gestión de producción, integrado con el modelo.
9. CARLSON, R. M. (1995). Manual de Ingeniería y Organización Industrial. Vol. 5. .
10. CHRISTOPHER, M. (2002). Logística, aspectos estratégicos. México, Editorial LImusa, SA de CV.
11. DOMÍNGUEZ LÓPEZ, Y. a. (2004). Diseño del Sistema de Comercialización. La Habana, ISPJAE. .
12. ERNST, W. (1987). "Corporate Profitability; Logistics (Oak Brook, III: Council of Logistics Management)." .
13. FERNÁNDEZ P., Y. (2006). "Sugerencias para el diseño de instrumentos para la.
14. FERREL O.C., H. G. (2004). Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante. M. G. Hill: 82. .
15. GUTIÉRREZ PRADERE, A. M. (2002). Gestión de Almacenes. La Habana, LOGESPRO.

**Sobre los autores**

**Zuleyka Chacón Núñez** nació el 22 Febrero de 1972 la habana Cuba. Ingeniero Industrial (1997) CUJAE 2004-2006 MsC Calidad Total 2027-2018.Diplomado Logística Empresarial 1997-2006 Esp aseguramiento calidad. Dpto de aseguramiento calidad instrumental Centro Inmunoensayo 2006-2011. Especialista Calidad Dirección de Calidad. ETECSA 2011-2015 Especialista logística Dpto de Economía Almacenes Dirección Operaciones Logísticas DVLS.ETECSA 2015-2023.Especialista Proc. de la Informacion.Grupo Proc. Información DVLS ETECSA 2023-2024.Jefe Gpo Procesamiento de la Información DVLS ETECSA E.mail: chaconzuleyka153@gmail.cu zuleyka.chacon @etecsa. cu

**Martha I. Gómez Acosta.** Nació en 1955 en USA. Ingeniera Industrial (1978) en la CUJAE, Doctora en Ciencias Técnicas (1998). Premio Nacional de Ciencia 2003 otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba. Premios en varios Forum de Ciencia y Técnica. Profesora Titular de la CUJAE. Profesor de Logística, Economía y Organización de la Producción. Coordinadora del Centro Europeo Latinoamericano de Logística y Proyectos Ecológicos (CELALE). E.mail: marthagom@tesla.cujae.edu.cu

del 25 de noviembre al 29 de noviembre de 2024
21 CONVENCIÓN CIENTÍFICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
60 ANIVERSARIO cujae

# LA CONCEPTUALIZACIÓN DE GESTIÓN DEL INVENTARIO Y EL NIVEL DE SATISFACTION DE NUESTROS CLIENTES.

**Alexis Benitez Soriano**[1*]
**Zuleyka Chacón Núñez**[2]
**Igor Lopes Martínez** [3]
**Legna Díaz Oliva** [4]
**Amanda García Marichal** [5]

Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA), Grupo de Logística Guantánamo, Cuba
[1]e-mail: alexy.benitez@etecsa.cu
[2]e-mail: zuleyka.chacon@etecsa.cu
Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Cuba
[3]e-mail: ilopes@ind.cujae.edu.cu
[4]e-mail: ilopes@ind.cujae.edu.cu
[5]e-mail: ilopes@ind.cujae.edu.cu

**RESUMEN**

La calidad, no es más que hacer las cosas bien desde la primera vez. El presente trabajo es el resultado de investigaciones realizadas en el grupo de logística de Guantánamo, perteneciente a la División Territorial de ETECSA de la misma provincia. Para el desarrollo de la misma se persiguió como objetivo fue demostrar la vinculación existente entre los conceptos aportados por varios autores sobre "gestión de inventario", y el trabajo realizado por el grupo de logística donde está presente la calidad durante todos los procesos, lo cual impacta positivamente en la satisfacción de nuestros clientes internos, influyendo inevitablemente en el estado de ánimo del pueblo.
Se realizo un recorrido bibliográfico por diferentes motores de búsqueda entre los que se encuentran Google académico y Scielo para la revisión y selección de artículos científicos y tesis, de donde fueron extraídos conceptos entre los que se encuentran logística, inventario, gestión de inventario, cadena de suministro y calidad. Se emplearon como métodos teóricos de investigación análisis-síntesis, mientras que los empíricos fueron la observación directa y el análisis bibliográfico. Como técnicas de apoyo a la investigación se utilizó el muestreo del trabajo, la observación continua individual y colectiva, los procedimientos de trabajo. Como principal resultado fue demostrar que la calidad es parte inseparable de la gestión del inventario como uno de los procesos que realiza el grupo para lograr la eficiencia en la logística, además de motivar a los trabajadores a implementar un sistema de gestión de la calidad como paso fundamental a lograr la excelencia en nuestros servicios. Por último, se logró aplicar una entrevista a los trabajadores internos que logró un índice de satisfacción de un 94.55 %, lo que repercute directamente en el bienestar de nuestro pueblo.

**PALABRAS CLAVE:** Pueblo, calidad, bienestar

.

**ABSTRACT**
Quality is nothing more than doing things right the first time. This work is the result of research carried out in the Guantánamo logistics group, belonging to the Territorial Division of ETECSA of the same province. For its development, the objective was to demonstrate the link between the concepts contributed by several authors on "inventory management", and the work carried out by the logistics group where quality is present during all processes, which It positively impacts the satisfaction of our internal customers, inevitably influencing the mood of the people.

A bibliographic tour was carried out through different search engines, including Google Academic and Scielo, for the review and selection of scientific articles and theses, from which concepts were extracted, including logistics, inventory, inventory management, supply chain. supply and quality. Analysis-synthesis was used as theoretical research methods, while direct observation and bibliographic analysis

were the empirical methods. Work sampling, continuous individual and collective observation, and work procedures were used as research support techniques. The main result was to demonstrate that quality is an inseparable part of inventory management as one of the processes carried out by the group to achieve efficiency in logistics, in addition to motivating workers to implement a quality management system as a step fundamental to achieving excellence in our services. Finally, an interview was carried out with internal workers, which achieved a satisfaction rate of 94.55%, which has a direct impact on the well-being of our people.

**KEY WORDS:** Town, quality, welfare

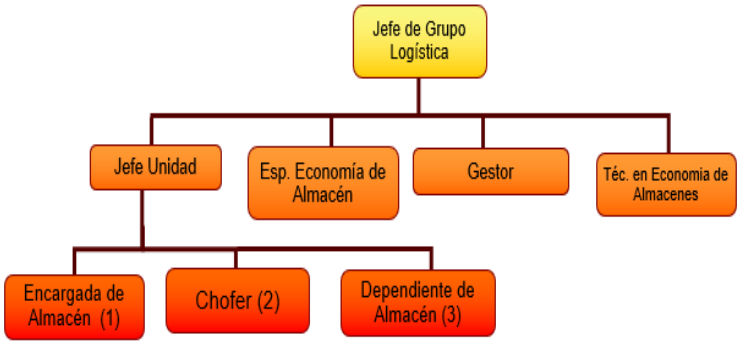
## 1. INTRODUCCIÓN

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA), surge como una necesidad de frenar el deterioro de las redes de telecomunicaciones y los problemas tecnológicos en la década de los 90 que no permitían estar a la altura de las exigencias del mundo.

Su objeto social corresponde en prestar los servicios públicos de telecomunicaciones, mediante la operación, instalación, explotación, comercialización y mantenimiento de redes públicas en todo el territorio. Los servicios prestados que incluyen su evolución tecnológica se detallan a continuación:

- Servicio Telefónico Básico.
- Servicio de Conducción de Señales.
- Servicio de Transmisión de Datos.
- Servicio Celular de comunicaciones móviles terrestres.
- Servicio de Telefonía Virtual.
- Servicio de Cabinas y Estaciones Telefónicas Públicas.
- Servicio de Acceso a Internet.
- Servicio de Radiocomunicación móvil troncalizado.
- Servicio de provisión de aplicaciones de Internet.
- Servicio de televisión por suscripción.
- Servicio de puntos de contactos.

De acuerdo con su estructura organizativo en cada provincia a excepción de La Habana existe una División Territorial. En la División Territorial de Guantánamo (DTGT) existen varios departamentos entre los que se encuentra el de Logística y Servicios. El grupo de logística perteneciente al departamento anteriormente mencionado posee la estructura (Figura 2) y misión siguiente:




**Misión del Grupo de Logística:** Optimizar y desarrollar los procesos de recepción, almacenamiento y distribución de mercancías con el objetivo de garantizar la entrega del producto, en el debido tiempo y en el lugar preciso a los usuarios internos de la empresa.

Figura: 2. Organigrama del Grupo.Fuente: Tomado de la Planeación Estratégica de la DTGT de ETECSA.

Este grupo enclavado en las afuera de provincia cuenta con 13 trabajadores, de los cuales 3 son dependientes y un encargado de almacén, el resto corresponde a administrativos, choferes, además, presta servicio al grupo 1 especialista en gestión económica y 1 auxiliar de limpieza los cuales laboran en 1 edifico administrativo y 9 almacenes.

Todo el aseguramiento material para garantizar los servicios, así como su mantenimiento está a cargo del grupo de logística de Guantánamo. Distribuidos en los 9 almacenes ubicados en las afuera de la ciudad

encuentran con un promedio de 3,523 items con un valor promedio de inventario de $ 38 millones de pesos. Esta cantidad de items está agrupado por series o grupos de artículos fragmentados por 4 actividades que la labor que realizan impacta directamente en la prestación de los servicios a la población, además 2 que su objetivo es el aseguramiento de los recursos necesarios para el buen funcionamiento, en la DTGT.

Todos los movimientos de entradas, salidas, bajas y altas de productos se procesan en un potente sistema informático SAP-RP. Con la información que brinda este sistema, se utilizada semanalmente para emitir informes por parte de la dirección del grupo de logística al Consejo de Dirección de la división sobre el comportamiento del cumplimiento de indicadores establecidos para la evaluación del desempeño.

La calidad está presente en todas las tareas que se realizan en la DTGT y el grupo de logística no escapa de su aplicación en todas las labores diarias de gestión del inventario (Figura 3).




Figura 3. Proceso para la gestión de inventario. Fuente Camacho et al. (2020)

Existe varios autores que definieron el proceso de gestión de inventario y realizaremos estos conceptos con la calidad y su relación en el grupo de logística de Guantánamo.

## 2. Materiales y métodos

Para el estudio y confección de la investigación se utilizó métodos teóricos de investigación análisis-síntesis, mientras que los empíricos son: la observación directa y el análisis bibliográfico resultado de un recorrido por diferentes motores de búsqueda entre los que se encuentran Google académico y Scielo, donde se realizó una revisión y posteriormente clasificación de artículos científicos y tesis, a través de las palabras clave: ((“gestión de inventarios”) OR (“cadena de suministro”) AND (“inventarios”) AND (“calidad”), seguidamente fueron seleccionados un total de 75 investigaciones las cuales fueron introducido en uno de los gestores de bibliografía más utilizadas, el EndNote21, así se pudo obtener los 25 trabajos de donde fueron extraídos conceptos entre los que se encuentran logística, inventario, gestión de inventario, cadena de suministro y calidad como se muestra la figura 2. Como técnicas de apoyo a la investigación empleadas se encuentran: el muestreo del trabajo, la observación continua individual y colectiva, los procedimientos de trabajo.

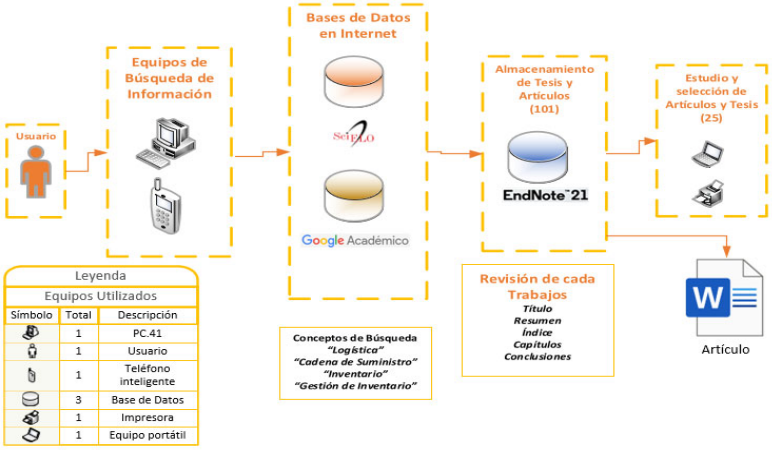



Figura: 2. Flujo de obtención de bibliografía. Fuente propia

Los repositorios más utilizados fueron:

## 3. REVISION BIBLIOGRÁFICA

**Calidad.**

Según González González (2004), la calidad es "cosa de todos", algo que ya venían diciendo desde hace décadas los pioneros maestros de la calidad y que, hasta este momento, no había empezado a ser tenido en consideración de forma práctica.

La calidad es:

- Hacerlo bien a la primera.
- Satisfacer las necesidades del cliente.
- Adelantarse a las expectativas del cliente.

Por qué es importante la CALIDAD?

- Por el elevado costo que implica hacer las cosas mal, repetir trabajos, corregir errores continuos, no evitar despilfarro, entre otros conceptos.
- Por la ventaja competitiva que produce brindar a los clientes la calidad en bienes y servicios que ellos reciben como tal.
- Por lo que significa lograr un mayor rendimiento de la inversión para hoy y siempre.

Se debe lograr una cultura de calidad en la empresa

La cultura de la calidad es: el conjunto de valores y hábitos que posee una persona, que complementados con el uso de prácticas y herramientas de calidad en el actuar diario, le permiten colaborar con su organización a afrontar los retos que se le presenten en el cumplimiento de su misión.

Se logra con tener una cultura de calidad:

- La mejora continua.
- Atención y responsabilidad en el trabajo.
- Prevención de errores.
- Hacer las cosas bien desde la primera vez.
- Planificación de sus actividades.
- Evaluación constante de su desempeño.
- Cumplimiento de los compromisos

A continuación, relacionamos varios aspectos que se deben tener en cuenta en el trabajo diario de subordinados y jefes si quieren que su trabajo sea con calidad.

CALIDAD COMO HERRAMIENTA DE MOTIVACIÓN

- Análisis en búsqueda de mejoras/ calidad.
- Profesionalismo.
- Responsabilización en trabajar con niveles elevados de calidad.
- Desarrollo del propio ego.
- Organización, agregando valor.
- Avance hacia el progreso/éxito.
- Productos/servicios más atractivos.
- Compromiso reto.

ACCIONES QUE GENERAN MOTIVACIÓN

- Aprecio.
- Sentido de permanencia.
- Participación.
- Delegación y autonomía.
- Reconocimiento.

FACTORES QUE CAUSAN DESMOTIVACIÓN

- Políticas y normas inadecuadas.
- Trato inadecuado de los jefes hacia sus colaboradores y entre compañeros.
- Salarios con falta de equidad.
- Inestabilidad laboral.
- Políticas de control inadecuadas.
- Temor y búsqueda de culpables.
- Sobrecarga de trabajo.

- Inapropiada evaluación del desempeño.
- Procesos deficientes y engorrosos innecesariamente.

RECOMENDACIONES PARA SER UN DIRIGENTE MOTIVADOR

- Facilite la comprensión de los objetivos de la organización.
- Facilite a cada persona el detalle de lo que se espera de ella.
- Espere resultados brillantes de su gente.
- Anime a su gente a marcarse objetivos y a tener criterio propio

CÓMO CONSEGUIR LA LEALTAD DE LOS TRABAJADORES

- Con una comunicación clara y real.
- Dándoles poder.
- Desarrollándolos personal y profesionalmente.
- Demostrándoles aprecio.
- Con una dirección ética e imparcial.
- Promoviendo el bienestar en el puesto de trabajo.

EQUIPO DE TRABAJO: Conjunto de personas relacionadas entre sí y con un cierto grado de independencia, que se esfuerzan por conseguir un objetivo común. "EL PRODUCTO DE TODOS ES MÁS QUE LA SUMA DE SUS PARTES"

**Servicios.**

Los servicios se crean en la medida que se suministran, generalmente su producto no es tangible. A lo largo de la historia se ha desarrollado de manera vertiginosa un aumento considerable en su demanda, por lo que cada vez surgen más empresas dedicadas a brindar diferentes tipos de servicios, para darle respuesta a la demanda de los clientes. A pesar de que muchos autores han emitido sus criterios, no coinciden totalmente en la definición del mismo.(véase a Piñeiro-Romeu, 2021)

Plantea Hernández-Herrera (2019): actividad intangible donde, mediante el proceso de interacción entre el proveedor y el cliente, se le añade valor al producto que se produce y se consume simultáneamente y en el cual el proveedor se beneficia al cumplir las expectativas del cliente, que a su vez, logra satisfacer sus necesidades, y de esta manera, lograr la mejora de la competitividad.

Para Fundara-Corrales (2019) : el servicio es un medio para entregar valor a los clientes, al facilitar los resultados que estos quieren conseguir sin asumir costes o riesgos específicos.

Uno de los mayores desafíos en la administración de inventarios para empresas de servicios radica en la capacidad para prever la demanda y las variaciones en la utilización de recursos. A diferencia de los bienes físicos, la oferta y la demanda de servicios pueden ser más impredecibles y difíciles de anticipar.

En los servicios logísticos la calidad posee algunas características.

Para Thai (2013) las características de la calidad de servicio logístico son las siguientes:

- Confianza
- Sensibilidad
- Garantía
- Empatía

De acuerdo con Limbourga et al. (2016) la calidad de servicio logístico se caracteriza por:

- Disponibilidad
- Puntualidad
- Calidad de entrega.

Existen varios conceptos que están estrechamente ligados cuando se hace referencia a los servicios logísticos, entre los que se encuentran logística, cadena de suministro, inventario y gestión de inventarios.

**Logística.**

Es durante la segunda guerra Mundial cuando el vocablo LOGISTICA irrumpe vigorosamente en la nomenclatura de la guerra, empujado por el pensamiento militar norteamericano, como consecuencia del gigantesco esfuerzo bélico-económico que los Estados Unidos de América aportaron a la lucha. (remítase a SAHID, 1987, p. 62)

En el trabajo titulado "*Concepto y evolución de la función logística",* el autor Servera (2010) realizó un acercamiento a la evolución histórica de la función logística y sus definición fue como el proceso de

planificación y gestión orientado hacia la generación de valor, del flujo físico y de información directo e inverso que transcurre desde el proveedor hasta el consumidor final.

El autor de este trabajo coincide con el aportado por Companysa and Ribasb (2015) el cual la define como el conjunto integrado de aspectos que incluyen los procesos como servicio al cliente, tráfico, medios de transporte, almacenaje, fabricación, control de inventario, procesamiento de pedidos, distribución y previsiones en todas las áreas mencionadas; todas que una empresa u organización debe tener y ser capaz de ofrecer productos y servicios a los clientes de acuerdo con sus necesidades y exigencias con el mayor grado de eficiencia posible.

Basada en el criterio de 7 autores Reyes et al. (2023) en su investigación titulado *"La Gestión logística en el contexto Cubano"*, definió la logística como el conjunto de funciones designadas para conseguir una mejor planificación en el flujo de trabajo y sinergia entre los protagonistas de la cadena de suministros; como son los proveedores y clientes, principalmente, además de la generación e implementación de sistemas de control para determinados procesos.

**Cadena de Suministro.**

En el libro titulado *"Administración de la Cadena de Suministro"* de los autores Chopra and Meindl (2013) Una cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer la petición de un cliente. La cadena de suministro incluye no sólo al fabricante y los proveedores, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (menudeo), e incluso a los clientes mismos. Dentro de cada organización, supongamos un fabricante, la cadena de suministro incluye todas las funciones implicadas en la recepción y satisfacción del pedido de un cliente. Estas funciones incluyen, sin limitarse, el desarrollo de un nuevo producto, el marketing, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente. En el mismo libro expresan que el cliente es una parte integral de la cadena de suministro. De hecho, el propósito primordial de cualquier cadena de suministro es satisfacer las necesidades del cliente y, en el proceso, generar una ganancia para sí misma. El término cadena de suministro evoca imágenes de un producto o suministro moviéndose, a lo largo de una cadena, de proveedores a fabricantes, a distribuidores, a detallistas, a clientes. Esto es ciertamente una parte de la cadena de suministro, pero también es importante visualizar los flujos de información, productos y fondos en ambas direcciones de esta cadena. El término cadena de suministro también puede implicar que sólo un actor participa en cada etapa. En realidad, un fabricante puede recibir material de varios proveedores y luego abastecer a varios distribuidores. Por consiguiente, de hecho la mayoría de las cadenas de suministro son redes. Quizá sea más preciso utilizar el término red de suministro para describir la estructura de la mayoría de las cadenas de suministro

Los autores Acevedo et al. (2001, p. 2), realizan la definición de la cadena de suministro definiéndola como una red global usada para suministrar productos y servicios desde la materia prima hasta el cliente final a través de un flujo diseñado de información, distribución física, y efectivo. La configuración de la cadena de suministro está determinada en gran medida por el servicio al cliente que se proyecte y la estrategia de tercerización y alianzas que se diseñe. El gran impacto que están teniendo las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) posibilitan la adopción de cadenas cada vez más extendidas en la geografía nacional y mundial con lo que se logra integrar a la cadena los eslabones más competitivos. A partir de la cadena se derivan una serie de eslabones los cuales deben tener un correcto equilibrio para evitar deficiencias como embotellamiento de productos, pérdida de trazabilidad, rotura o extravío de artículos, entre otros. Uno de estos eslabones es el almacén, que puede estar en varios puntos de la cadena y una gestión óptima de este es esencial como amalgama para la misma.(véase Gorguis-Rivero et al., 2023)

La cadena de suministro es la red donde se integran todas las actividades de adquisición, transformación y entrega de bienes y servicios. En la cadena de suministro, el inventario tiene la función de satisfacer la demanda del cliente, dando soporte al abasteciendo en la producción, y que, al mismo tiempo, ofrecer protección a los insumos que se emplean en la fabricación del producto. (véase a G. & Marmolejo, 2020)

Los autores Balanzategui et al. (2022) plantean que " La cadena de suministro es una red de instalaciones y medios de distribución que tiene por función la obtención de materiales, transformación de dichos

materiales en productos intermedios y productos terminados y distribución de estos productos terminados a los consumidores", así mismo concluyen también que "La cadena de suministro engloba aquellas actividades asociadas con el movimiento de bienes desde el suministro de materias primas hasta el consumidor final. Esto incluye la selección, compra, programación de producción, procesamiento de órdenes, control de inventarios, transportación almacenamiento y servicio al cliente; pero, lo más importante es que, también incluye los sistemas de información requeridos para monitorear todas estas actividades, mediante un sistema normativo y control interno que garantice la eficiencia, eficacia y economía."

**Inventarios.**

Los inventarios son activos que generan una productividad representada por resultados positivos o negativos en el balance, la posibilidad de obtener resultados positivos depende de la buena gestión y control que la empresa aplique en sus inventarios. Por consiguiente, analizar los puntos de vista de diferentes autores, permite conocer y entender el nivel de importancia de un adecuado control de los inventarios en las empresas, según se expresa en "*Modelo de gestión y control de inventarios para la determinación de los niveles óptimos en la cadena de suministros de la Empresa Modesto Casajoana Cía. Ltda.*".(véase a Juca et al., 2019)

Los autores Lopes-Martínez et al. (2012) en el artículo *"Situación de la gestión de inventarios en Cuba",* concuerdan en que los inventarios no simplemente son los productos que llegan y deben venderse, si no que las buenas decisiones gerenciales de control harán que los productos se vendan, sin que exista un porcentaje alto de productos caducados, devoluciones a los proveedores, mermas o diferencias con respecto al inventario contable que representan pérdidas económicas.

En el trabajo que lleva como título "*Propuesta de mejora en la gestión de inventarios en Fintec Soluciones* ", el autor plantea que los inventarios son la relación de los bienes que la empresa dispone, y que están clasificados por categorías y familias y por el lugar de ocupación, es necesario que los inventarios se ajusten a la realidad debido a que una sobrevaloración provoca que el valor de una empresa sea mayor, por otro lado, una infravaloración hará que los impuestos que la empresa tenga que pagar sean menores.(véase a Martínez Chicas & Antúnez Matute, 2024)

El autor de este trabajo considera con los conceptos planteados con los autores anteriores y plantea que los inventarios juntos con las cuentas por cobrar, constituyen la principal inversión dentro de los conceptos que dan origen al capital del trabajo, pues no habiendo inventarios no hay ventas y habría pérdida de mercado y no habiendo ventas no hay utilidad y esto en cierto plazo llevaría al cierre del negocio. Además, es del criterio que los excesos de inventario ocupan espacios que podrían ser ocupado por actividades productivas y generadoras de ingresos. El espacio físico vale dinero y llenarlo de bienes improductivos no ayuda a la productividad de la empresa.

Cervantes (2023, p. 26) plantea que el inventario es un registro de todos los insumos o productos que hay dentro de una empresa, este sirve para identificar si no existen pérdidas de los materiales almacenados y corregir errores en base a la demanda con el objeto de obtener bajos costos de pedido.

Los inventarios son la relación de los bienes que la empresa dispone, y que están clasificados por categorías y familias y por el lugar de ocupación, es necesario que los inventarios se ajusten a la realidad debido a que una sobrevaloración provoca que el valor de una empresa sea mayor, por otro lado, una infravaloración hará que los impuestos que la empresa tenga que pagar sean menores.(Martínez Chicas & Antúnez Matute, 2024), así mismo plantea el mismo autor que el control de inventarios es vital para mantener la estructura en el almacén y garantizar un funcionamiento sin contratiempos en las operaciones. De esta manera, la empresa puede tener un seguimiento preciso de los bienes disponibles para satisfacer la demanda de sus productos. Es esencial llevar a cabo un monitoreo regular del proceso de gestión para optimizar la utilización de los recursos disponibles. En la actualidad, la gestión de inventarios está experimentando cambios significativos gracias a la globalización, la tecnología y las preferencias de los consumidores. Actualmente, se está llevando a cabo mediante el uso de software avanzado que permite un seguimiento eficaz del inventario.

Un componente clave de cualquier empresa es el control de inventarios, dado que se reflejan las inversiones y simboliza los recursos de que dispone la organización. Un inventario bien gestionado genera incrementos rentables a lo largo del tiempo, mientras que un inventario mal gestionado puede tener efectos financieros o económicos negativos por la pérdida de ventas.(Vasquez, 2024, p. 19)

**Gestión de Inventario.**

Varios autores analizan el tema de la gestión de inventario y a continuación relacionamos varios conceptos localizados en la bibliografía a través del EndNote21.

Para Vélez and Linares (2022, p. 353) en su trabajo de investigación titulado *"Importancia de los sistemas de inventarios en las organizaciones a través de una revisión bibliográfica*", plantea que la gestión de inventarios permite fortalecer el almacén, darle mayor eficiencia a los asientos contables debido al registro realizado en las diversas tarjetas de inventarios que describen las acciones realizadas tanto en el despacho de almacén, como en el área de compras, de ventas, producción, mantenimiento y servicios de una organización. todo esto se traduce en un control interno del inventario.

Por su parte el autor Vargas (2024) plantea en su estudio *"Optimización de la getión de inventario en el área de producción: Implementación y Estrategia de control"* que La gestión de inventarios permite optimizar el uso de recursos en la producción. Al mantener un control preciso sobre los niveles de inventario de materias primas, componentes y productos terminados, las empresas pueden evitar la sobreproducción y minimizar el riesgo de escasez de materiales. Esto significa que los recursos, como el espacio de almacenamiento y la mano de obra, se utilizan de manera más eficiente, lo que a su vez reduce los costos operativos.

La gestión de inventarios es de capital importancia para que las empresas puedan lograr eficientar sus procesos logísticos, lo que redundará definitivamente en beneficio de los clientes internos y externos y obviamente de la rentabilidad de los propietarios, planteado en su investigación titulada, "*Aplicación de un modelo de inventario ABC y su influencia en la gestión de almacenes en CABZE S.R.L. CAJAMARCA, 2020.*" del autor Salazar (2020).

Así mismo Narváez and Rosero (2024) expresa en su investigación "*La gestión logística y la cadena de suministro de la ferretería Ferri Ger"* que es importante mencionar que completa todo el trabajo que ha realizado el almacenaje, puesto que monitoriza todas las existencias de materia prima y la reposición de stock, por esta razón se considera como un ahorro de coste, sin embargo, en muchos casos no se presenta mayor atención.

Para Contreras et al. (2022) en su la gestión de inventario garantiza que la organización mantenga un inventario suficiente para satisfacer las demandas de los clientes. Por lo tanto, es prudente que los gerentes de inventario se concentren en satisfacer las necesidades del cliente y garantizar que los costos asociados con el inventario se mantengan lo más bajos posible. Los costos de inventario incluyen los costos de rutina y de mantenimiento que se relacionan con los artículos que son visibles en forma de inventario, como seguros, obsolescencia e inventario inmovilizado, concepto dado en su trabajo *"Revisión de la Literatura sobre Gestión de Inventario en la Industria Textil".*

En el contexto empresarial, la gestión de inventarios desempeña un papel esencial en la planificación estratégica y la ejecución eficiente de operaciones. Enfocándose en el proceso de reaprovisionamiento y ordenación, implica tomar decisiones críticas sobre cuándo y cuánto reabastecer para mantener niveles óptimos. Este enfoque no solo requiere una gestión hábil de pedidos, sino también una coordinación efectiva con proveedores para garantizar una cadena de suministro fluida. El seguimiento y control continuo de los niveles de inventario son cruciales en un entorno empresarial dinámico para evitar escasez que afecte al servicio al cliente y exceso de existencias que genere costos adicionales de almacenamiento. Este concepto fue expresado por González (2020) en *"Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva."*

Y por último y no menos importante según Jerónimo Ramos et al. (2022) en su estudio *"Propuesta de control de inventarios en una empresa de alimentos." Declara* que la gestión de inventarios involucra el proveer y distribuir adecuadamente los materiales necesarios a la empresa colocándolos a disposición en el momento indicado, para así evitar aumentos de costos por pérdidas de los mismos, permitiendo satisfacer correctamente las necesidades reales de la empresa, a las cuales debe permanecer constantemente adaptado.

## 4. RESULTADOS

**Relación entre la Gestión de Inventario calidad.**

Seguidamente los autores de este trabajo escogieron las frases más significativas que dieron los autores mostrados en el punto anterior y fue comparado en relación a la actividad fundamental que realiza el grupo como en la administración, almacenamiento. Control económico o contabilidad transportación y por útimo será evaluado nuestro desempeño por una entrevista realizada a nuestros clientes internos.

**Conceptos de Gestión de Inventario relacionado con la Administración**

- Garantiza que la organización mantenga un inventario suficiente para satisfacer las demandas de los clientes. Contreras et al. (2022)
- Garantizar que los costos asociados con el inventario se mantengan lo más bajos posible. Contreras et al. (2022)
- Planificación estratégica y la ejecución eficiente de operaciones. Contreras et al. (2022)
- Optimizar el uso de recursos en la producción. Vargas (2024, p. 353 )
- Implica tomar decisiones críticas sobre cuándo y cuánto reabastecer para mantener niveles óptimos. Contreras et al. (2022)
- Una gestión hábil de pedidos, sino también una coordinación efectiva con proveedores para garantizar una cadena de suministro fluida. Contreras et al. (2022)
- Evitar escasez que afecte al servicio al cliente y exceso de existencias que genere costos adicionales de almacenamiento. González (2020)
- Satisfacer correctamente las necesidades reales de la empresa. Jerónimo Ramos et al. (2022)
- Permanecer constantemente adaptado. Jerónimo Ramos et al. (2022)
- Enfocándose en el proceso de reaprovisionamiento y ordenación, Contreras et al. (2022)

La calidad en la gestión de inventario en la dirección del grupo de logística es tarea diaria, se trabaja en equipo, exigiendo desde la confección de la demanda por parte de los clientes internos, a través de un asesoramiento de estudios sobre el consumo material de las áreas, para así evitar desabastecimientos futuros, se realizan análisis históricos sobre el valor de inventario para hacer proyección de niveles de inventarios posibles en el futuro. seguidamente es preparado el sistema SAP para la introducción con calidad de esta demanda, evitando posibles errores en su captación, apoyándonos en procedimiento y políticas establecidas por la empresa, además de experiencias de los trabajadores del grupo.

El plan de compra resultante de la demanda de nuestros clientes es el arma de la gestión de nuestro inventario, este plan no es rígido puede tener variaciones en el tiempo siempre de acuerdo con el valor del presupuesto aprobado y consumos de las áreas que van teniendo disminuciones o aumentos, así se corrige el tiro en la gestión con otros territorios y las compras, las cuales no escapar de la situación difícil que tiene nuestro país.

Las compras dentro de la provincia y fuera son el producto de la calidad en la revisión de las proformas de contratos con nuestro banco de proveedores, el cual está compuesto por trabajadores por cuenta propia, empresas estatales y MIPYMES, estos contratos son estudiados y evaluados en el grupo para evitar posibles enriquecimientos ilícitos y vicios ocultos que puedan provocar violaciones de la legalidad y principios éticos. La forma de pago, tiempo para efectuar el pago luego de la compra y la calidad de la mercancía, así como sus certificaciones y requerimientos que deben llevar los productos adquiridos son también temas de revisión antes de ser presentada a dictamen por el área económica y el jurídico de esta DTGT.

La adquisición de los recursos lleva un proceso de calidad en la organización de la compra, evaluando así la factibilidad del momento a efectuarse, transporte idóneo, la forma de pago al proveedor. Seguidamente llega la entrega al dependiente del almacén donde se realiza a través del cumplimiento de los procedimientos establecidos para la logística de almacenes.

**Conceptos de Gestión de Inventario relacionado el Almacenamiento**

- Fortalecer el almacén. (Vélez & Linares, 2022, p. 353)
- El espacio de almacenamiento y la mano de obra, se utilizan de manera más eficiente. Vargas (2024, p. 353 )
- Completa todo el trabajo que ha realizado el almacenaje, puesto que monitoriza todas las existencias de materia prima y la reposición de stock. Narváez and Rosero (2024)
- Los costos de inventario incluyen los costos de rutina y de mantenimiento que se relacionan con los artículos que son visibles en forma de inventario, como seguros, obsolescencia e inventario inmovilizado Contreras et al. (2022)

La calidad en la recepción es primordial en la entrada del recurso al almacén, porque es donde se puede determinar la correspondencia entre lo facturado y el recurso, la calidad de la mercancía, su envoltura, fecha de vencimiento, su paquetización entre otros datos, a partir de este acto corresponde al dependiente la responsabilidad de mantenerlo en plena calidad, velar por su integridad física, conservación, señalización.

Nuestros almacenes se encuentran en constante monitoreo, inspección y revisión sobre la correcta ubicación de nuestros productos, limpieza, organización, control de los recursos que pueden ser deteriorados o corran riesgo de deterioro. Se buscan estrategias para logra un mejor orden en los almacenes, se exige el cumplimiento de la Resolución 47 que rige la logística de almacenes.

**Conceptos de Gestión de Inventario relacionado con la Contabilidad**

- Darle mayor eficiencia a los asientos contables. (Vélez & Linares, 2022, p. 353)
- Control preciso sobre los niveles de inventario de materias primas, componentes y productos terminados. Vargas (2024, p. 353 )
- La rentabilidad de los propietarios. Vargas (2024, p. 353 )
- Evitar aumentos de costos por pérdidas de los mismos. Jerónimo Ramos et al. (2022)

La calidad en los asientos contables lo lleva a cabo la especialista en gestión económica, esta trabajadora no es parte de la estructura el grupo como medida de control establecida por la dirección nacional de ETECSA. Esta licenciada en contabilidad y finanzas en la encargada de realizar el cargo de los recursos al sistema SAP, así reflejando su correcta contabilización. Además de esto es la encargada de la realización de los cuadres diarios con calidad y con calidad también realice el 10 % y 100% de los recursos donde en unión a nuestros clientes realizan la revisión de nuestras existencias de producto mediante la revisión y conteo con calidad. También es la que asesora que los expedientes de ajustes de inventario presenten la calidad requerida.

**Conceptos de Gestión de Inventario relacionado con la Tranportación**

- Involucra el proveer y distribuir adecuadamente los materiales necesarios a la empresa. Jerónimo Ramos et al. (2022)
- Colocándolos a disposición en el momento indicado. Jerónimo Ramos et al. (2022)

La calidad del trabajo de nuestros choferes es muy grande, no tienen objeción en salir a cualquier hora y en cualquier día, en difíciles situaciones como los huracanes que han azotado a nuestra provincia. Velas

por la calidad de los mantenimientos y el cuidado de los equipos. Se preocupan por llevar el recurso a nuestros clientes en el lugar indicado y con la calidad requerida.

**Conceptos de Gestión de Inventario relacionado con el Cliente**

- Eficientar sus procesos logísticos, lo que redundará definitivamente en beneficio de los clientes internos y externos. Salazar (2020).
- Los gerentes de inventario se concentren en satisfacer las necesidades del cliente Contreras et al. (2022)

La calidad es primordial en la atención a la persona más importante "El Cliente", nuestro cliente interno posee un horario para su atención, sin embargo, es atendido a la hora que llegue a nuestra instalación o realice una llamada para orientación o aclaración. Nuestro grupo cuenta con un buzón para las quejas y sugerencias, además de contar con un libro destinado a este fin también. El cliente participa en nuestros inventarios de 10% y 100% junto con la especialista en gestión económica, oportunidad que utiliza el grupo para para mostrar la composición de los recursos, realizar una verdadera gestión en el inventario para lograr el consumo de algunos recursos que pueden quedar olvidados en el inventario, declaración de posibles recursos obsoletos o que pueden ser transferidos a otras provincias para que sean consumidos.

A este cliente se le realiza una entrevista para medir el índice de calidad percibida que posee de nuestro trabajo, aunque está establecida por nuestra dirección nacional que se realice anualmente nuestro grupo es del criterio que debe realizarse cada 4 meses para ir teniendo un norte de nuestro trabajo.

Aunque esta entrevista no recoge todos los aspectos relacionados con los conceptos dados por los autores sobre la gestión del inventario expresa como pieza el cliente, hacia que rumbo son sus necesidades y tendremos en juicio que el tiene de nuestro trabajo.

Al computarizar los coeficientes de satisfacción por aspecto, pregunta y puntuación de todas las entrevistas aplicadas 11 trabajadores de las 6 actividades que son atendidas en el Almacén.

## 5. CONCLUSIONES

1. La calidad es parte inseparable de la gestión del inventario.
2. Existe motivación de los trabajadores en el grupo.
3. Se decidió la implementación de un sistema de calidad en el grupo por parte de la División Territorial

**Bibliografía**

1. Acevedo, S. J. A., Urquiaga, R. A. J., & Gómez, A. M. I. (2001). Gestión de la Cadena de Suministro. *LOGESPRO*, 1-52.
2. BALANZATEGUI, G. R. I., VEGA, F. J. G., & LÓPEZ, N. A. L. (2022). Cadena de Suministro de Bienes y Servicios en las Empresas Industriales. *Polo del Conocimiento*, *7*(1), 978-997. https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3523
3. CAMACHO, Z. A. S., RÍOS, B. J. P., MOJICA, H. J., & ROJAS , M. R. (2020). Importancia de la gestión de inventario en empresa de Manufactura. *Boletín de Innovación, Logística y OPERACIONES (BILO)*, *2*(2). https://doi.org/10.17981/bilo.2.2.2020.05
4. CERVANTES, D. S. C. (2023). *Modelo De gestión de Inventario aplicando métodos heulísticos para la importadora PINEDA CIA. LTDA.* [Trabajo de grado previo a la obtención de título de INGENIERO INDUSTRIAL., UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14910
5. CHOPRA, S., & MEINDL, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro* (P. EDUCACIÓN, Ed.). www.pearsonenespañol.com/chopra
6. COMPANYSA, R., & RIBASB, I. (2015). Some trends and applications of operational research/management science to operations management. *International Journal of Production Management and Engineering (IJPME)*, *3*(ISSN:2340-4876), 1-12. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4995/ijpme.2015.3459

7. CONTRERAS, R. O., POLO, C. J. A., & MONTOYA, C. G. A. (2022). Revisión de la Literatura sobre Gestión de Inventario en la Industria Textil. *Revista Científica y Tecnológica QANTU YACHAY*, *2*(1). https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.19
8. FUNDARA-CORRALES, E. (2019). *Diagnóstico de la calidad de los servicios en el proceso de salida del Aeropuerto Internacional de Varadero Juan Gualberto Gómez* [Tesis a opción de grado científico de Ingeniero Industrial, Universidad de Matanzas]. https://books.google.es/books?id=9uAUDkLyDcYC
9. G., M. R., & MARMOLEJO, I. S. (2020). Gestión logística en almacenes con análisis ABC. *UAEH*, *7*(ISSN: 2007-784X), 39-46. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/issue/archive
10. GONZÁLEZ, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Revista chilena de ingeniería*, *28*(1), 133-142.
11. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, A. (2004). *Conferencia Gestion de la Calidad Total.*
12. GORGUIS-RIVERO, A., DELGADO-FERNÁNDEZ, T., & LOPES-MARTÍNEZ, I. (2023). Propuesta de automatización del almacén de tránsito de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional. *Ingeniería Industrial*, *XLIV*(1), 1-16.
13. HERNÁNDEZ-HERRERA, Y. (2019). *Diagnóstico de la calidad en la gestión de los servicios del Hotel Paradisus Varadero* [Tesis en opción al grado científico de Ingeniero Industrial Universidad de Matanzas]. https://books.google.es/books?id=9uAUDkLyDcYC
14. Jerónimo Ramos, D. I., Martínez Prats, G., & Silva Hernández, F. (2022). Propuesta de control de inventarios en una empresa de alimentos.. *Publicaciones e Investigación. Bogotá - Colombia*, *16*(1). https://doi.org/10.22490/25394088.5698
15. JUCA, C., NARVÁEZ, C., ERAZO, J., & LUNA, K. (2019). Modelo de gestión y control de inventarios para la determinación de los niveles óptimos en la cadena de suministros de la Empresa Modesto Casajoana Cía. Ltda. *Digital Publisher*, *3*(1).
16. LIMBOURGA, S., QUYNH GIANGB, H. T., & COOLSC, M. (2016). Logistics Service Quality: The Case of Da Nang City. *ScienceDirect*, 124 – 130. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.022
17. LOPES-MARTÍNEZ, I., GÓMEZ-ACOSTA, M. I., & ACEVEDO-SUÁREZ, J. A. (2012). Situación de la gestión de inventarios en Cuba. *Ingeniería Industrial*, *XXXIII*(3), /p. 317-330.
18. MARTÍNEZ CHICAS, T. J., & ANTÚNEZ MATUTE, I. D. (2024). *Propuesta de mejora en la gestión de inventarios en Fintec Soluciones* [Tesis previa investidura al título de Ingeniería en Gestión Logística., CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO CEUTEC].
19. NARVÁEZ, A. D. A., & ROSERO, M. A. P. (2024). *"La gestión logística y la cadena de suministro de la ferretería Ferri Ger"* [Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingenieras en Logística y Transporte., UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI].
20. PIÑEIRO-ROMEU, A. (2021). *PROCEDIMIENTO PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LAS NORMAS DE TRABAJO EN EL PROCESO DE RESTAURACIÓN* [Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial., Universidad de Matanzas].
21. REYES, L. Y., LORENZO, M. Y. O., HEREIRA, M. M. C., & DELGADO, C. V. R. (2023). La Gestión logística en el contexto Cubano. *Universidad de Matanzas*( ISBN:978-959-16-5074-0), 5. https://rein.umcc.cu/bitstream/handle/123456789/3111/Mon23_Yenisey.pdf?sequence=1&isAllowed=y
22. SAHID, F. (1987). Logística. *REVISTA ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS-BOGOTA*, *2*, 61-64.

Sobre los autores

Alexis Benítez Soriano nació 1969 en Guantánamo Cuba. Licenciado en Contabilidad y Finanzas (1997) Universidad de Guantánamo. 2018.Diplomado Logística Empresarial CUJAE. 2000-2024 Especialista de Economía Almacenes Grupo de Logística ETECSA Guantánamo E.mail:alexy.benitez @etecsa. cu

# 60

## ANIVERSARIO

## cujae

Ministerio de Educación Superior

### PATROCINADORES

### AUSPICIADORES